

## 헤드기어를 이용한 상악 제1대구치의 후방이동 시 응력분포에 관한 광탄성법적 연구

송세은<sup>1)</sup> · 임성훈<sup>2)</sup> · 윤영주<sup>3)</sup> · 김광원<sup>4)</sup>

이 연구의 목적은 세 가지 형태의 헤드기어를 이용하여 상악 제1대구치의 후방이동 시 치아 주위 조직에 나타나는 응력분포를 광탄성법을 이용하여 관찰하는 것이다. 광탄성 상악모형에 장착한 헤드기어에 high-pull, straight-pull, cervical-pull의 세 가지 방향에서, face bow의 inner bow와 outer bow를 평행하게 한 상태에서 outer bow의 길이를 세 가지로 다르게 하여 적용시킨 다음 원편광기를 이용하여 응력분포를 분석하였다. 사진기를 이용하여 응력분포를 기록하고, 등색선상의 무늬차수를 이용, 응력분포를 분석하여 이차원적인 광탄성 응력분석을 시행하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. high-pull 헤드기어의 경우, 중간 길이의 outer bow일 때 치체이동에 유리한 응력 분포가 나타났다.
2. straight-pull 헤드기어의 경우, 긴 길이의 outer bow일 때 좁은 치체이동에 유리한 응력 분포가 나타났으나, outer bow의 길이에 따른 응력분포의 변화는 적었다.
3. cervical-pull 헤드기어의 경우, 긴 길이의 outer bow일 때 치체이동에 유리한 응력 분포가 나타났다.

임상에서 헤드기어를 이용하여 상악 제1대구치를 후방으로 치체이동시키기 위해서는 facebow outer bow의 높이를 조정하지 않는 경우에는 high-pull 헤드기어에서는 outer bow와 inner bow를 같은 길이로, straight-pull 및 cervical-pull 헤드기어에서는 outer bow를 더 길게 하여 사용하는 것이 추천된다.

( 주요 단어 : 헤드기어, 광탄성, 대구치 후방이동 )

### I. 서 론

헤드기어는 상악 제2대구치가 맹출하지 않은 총생 환자나 II급 대구치 관계를 보이는 환자에서 상악 구치를 후방이동시켜 전치를 배열할 공간을 마련하고, I급 대구치관계로 개선하며, 정상적인 수평피개를 얻기 위해 사용된다.

개방형 코일 스프링 등의 구내장치만으로 상악 구치를 후방이동 시키는 경우, 순수한 구치의 후방이동 뿐만 아니라, 고정원이 되는 전치의 전방이동이 발생한다. 이러한 고정원 상실을 방지하고자 할 경우 헤드

<sup>1)</sup> 조선대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생.

<sup>2)</sup> 조선대학교 치과대학 교정학교실, 전임강사.

<sup>3)</sup> 조선대학교 치과대학 교정학교실, 부교수.

<sup>4)</sup> 조선대학교 치과대학 교정학교실, 교수.

교신저자 : 김광원

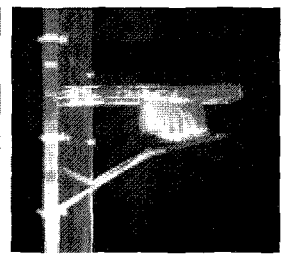
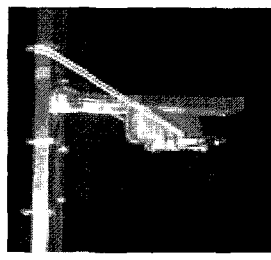
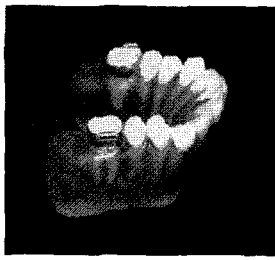
광주광역시 동구 서석동 375

조선대학교 치과대학 교정학교실 / 062-220-3870

kwkim@chosun.ac.kr

원고접수일 : 2003년 7월 7일 / 심사통과일 : 2003년 9월 3일

\* 본 연구는 2000년 조선대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임



High-pull

Straight-pull

Cervical-pull

Fig. 1. Maxillary photoelastic model.

Fig. 2. Three directions of headgear pull.

기어를 이용하여 상악구치를 후방이동 시키는 것이 바람직하다<sup>1)</sup>.

치아에 교정력이 가해질 때 치근막과 치조골에 발생하는 응력을 분석하는 방법의 하나인 광탄성법은 복잡한 구조물에 생기는 기계적인 내부응력을 가시광선 형태로 전환시켜 모형에 형성되는 등색선을 통해 응력의 분포양상과 크기를 시각적으로 볼 수 있는 효과적인 방법으로서, 편광판 사이에 실물과 같은 광탄성 모형을 위치시키고 하중을 가하여 발생된 공학적 복굴절 현상을 촬영하고 분석함으로써 모형 내부에 발생하는 응력분포의 양상을 전체적으로 파악할 수 있는 방법이다. 치의학 분야에서는 1935년 Zak<sup>2)</sup>가 치조골내에서의 교정력의 영향에 대해 광탄성법으로 연구하였으며, 그후 광탄성법을 이용한 많은 연구들이 교정학 분야에서 보고되기 시작하였다.<sup>3-8)</sup>

헤드기어의 응력분포에 대한 국내연구는 김<sup>9)</sup>과 이<sup>10)</sup>의 연구가 있다. 그러나 이들의 연구는 헤드기어의 적용 시 치아보다는 두개안면골과 봉합선, 또는 상악 골에 나타나는 응력을 분석한 것이었다. 따라서 본 연구에서는 이전의 연구에서 미흡했던 부분인 치아와 그 주위골에서의 응력분포를 중점적으로 관찰하였고, 이전의 모형에서와는 달리 상악 제2대구치를 발거한 상태에서 제1대구치를 후방이동시킬 때의 응력분포를 관찰하기 위해 제2대구치를 제외하고 실험하였다. 광탄성법에는 투과식과 반사식 두가지 방법이 많이 사용되는데, 투과식은 분석하고자 하는 물체와 똑같은 모형을 광탄성 재료를 사용하여 제작하고 하중을 가하여 관찰하는 것으로써 비교적 간단한 모형에 사용되며, 반사식은 실제 물체에 광탄성 재료를 입힌 다음 반사된 빛을 이용하여 분석하는 방법으로 비교적 복잡한 모형에 사용되며 물체 표면의 변형율을 측정하는데 유리하다. 치아 및 치조골에서의 응력은 반사식으로는 관찰이 어려우므로 기존의 연구<sup>9)</sup>에서는 투과

형 광탄성법을 이용하여 관찰하였으나, 일반적인 투과형 광탄성법을 이용하는 경우에는 상악 구개면에 광원이나 카메라를 설치하는 것이 불가능하므로 상악 모형 좌우측을 분리하여 편측만의 응력을 관찰하는 것이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 상악 편측의 광탄성물질을 투과한 빛이 구개면에 도포된 반사면에 반사된 후 다시 반대방향으로 투과하여 나오는 방식의 투과식 광탄성법을 사용하여 상악 모형의 우측만을 관찰하였다.

본 연구의 목적은 세 가지 형태의 헤드기어를 이용하여 상악 제1대구치의 후방이동 시 치아 주위 조직에 나타나는 응력분포를 광탄성법을 이용하여 관찰하는 것이었다.

## II. 연구대상 및 방법

### 가. 연구재료

#### 1. 광탄성 모형의 제작

제2대구치가 없는 광탄성 상악 모형을 제작하기 위해서 상악 좌우 제1대구치의 근심협측 교두정간을 연결한 구치부 폭경이 박<sup>11)</sup>이 보고한 한국인 평균치인 50mm가 되는 정상모형을 선택하여 알지네이트 인상을 채득한 다음, Wheeler<sup>12)</sup>의 기준에 맞는 크기와 형태를 가지면서 PL-3보다 경질인 레진치아를 인상 음형에 식립하고, 끓여서 녹인 파라핀 왁스를 인상체 내에 주입하여 모형치아가 매식된 왁스 모형을 제작하였다.

제1대구치에는 .045" 헤드기어 튜브가 부착된 combination double buccal tube(Tomy<sup>®</sup>, Japan)를 용접한 band를 접착하였다. 광탄성모형의 음형을 위한 형틀을 만들기 위해서 boxing 왁스를 이용하여 균일한 5-7 mm의 공간을 갖도록 boxing한 후에 공업용 실리콘을 부어 경화시키고 열을 가하여 왁스를

Table 1. Isochromatic fringe characteristics

Color	Approximate Fringe Order
Black	0
Yellow	0.6
Red	0.9
Purple (Tint of Passage)	1.0
Blue-Green	1.2
Yellow	1.5
Red	1.75
Red/Green transition	2.0
Green	2.2
Yellow	2.5
Red	2.8
Red/Green Transition	3.0
Green	3.2

제거하였다. PL-3 수지와 경화제를 125°F-135°F(52°C-57°C)에서 50분간 예열하고 resin과 hardener를 1:1.5의 비율로 혼합하여, 150°F에 도달할 때까지 천천히 30분간 저어 기포가 생기지 않도록 하여 치아가 식립되어 있는 실리콘 음형에 부었다. PL-3가 경화된 후 실리콘 음형을 제거하여 광탄성 모형을 얻었다.

광탄성 모형을 완성한 후 구개측에 은색의 페인트를 일정한 두께로 도포하였다.

## 2. 견인틀의 제작

세 가지 방향의 헤드기어의 견인을 위해서 아크릴 레진으로 30 X 30 X 17 cm<sup>3</sup>의 견인틀을 제작하였다. high-pull 헤드기어의 경우 교합면 상방 30°로, straight-pull 헤드기어의 경우 교합면과 평행한 방향으로, cervical-pull 헤드기어의 경우 교합면 하방 23°로 견인되도록 미리 나사를 형성하였다.<sup>10)</sup>

## 나. 연구방법

High-pull, straight-pull, cervical-pull의 3가지 방향으로, outer bow 역시 각각의 경우에 long, medium, short의 3가지 길이로 조정하여 모두 9가지 경

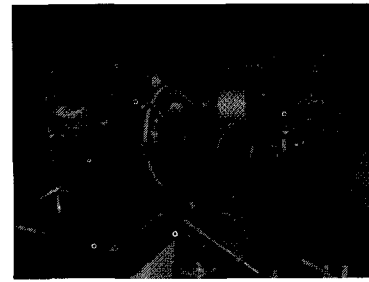


Fig. 3. Circular polariscope.

우로 실험을 하였다. facebow는 Dentarum®(Germany)의 No. 3 크기를 사용하였다. facebow의 outer bow의 길이가 제조 당시의 길이일 때, 즉 inner bow의 loop stop 원심부로부터 18 mm 후방에 outer bow의 끝이 위치하는 경우를 long outer bow로, outer bow의 끝이 inner bow의 loop stop 원심부에 위치하는 경우를 medium outer bow로, outer bow의 끝이 inner bow의 loop stop 근심부에 위치하는 경우를 short outer bow로 구분하였다.

Inner bow는 환자에 적용할 때처럼, 상악 제1대구치의 후방이동에 따른 구치부 반대교합을 막기 위해 협측으로 약 2.0mm 확장하여 tube에 삽입 후 150-200gm/side의 견인력을 모든 경우에 동일하게 적용하였다. 광탄성 모형에 견인력을 적용 후 광탄성 응력해석장치를 이용하여 카메라로 촬영하였다. 응력분포 양상은 최대 주응력과 최소 주응력의 차인 전단응력 성분의 크기에 따라 다색상의 반복무늬로 나타나는데 등색선을 추적하여 무늬차수를 분석하였다.

무늬 차수를 Table 1에 근거하여 평가하였다. 투과형 원편광기를 사용하기 위해서 Fig. 3과 같이 위치시킨 후 model 031 null-balance compensator로 감광자가 검정색(0차 무늬차수)이 나타나도록 조절하였다.

## III. 연구성적

### 1. High-pull headgear의 경우

#### 1. Short outer bow

제1대구치의 근심협측 치근의 근심면에 떠상의 응력(0.9차)이 관찰되었고, 원심협측 치근의 원심면에 더 넓은 응력(1.0차)이 보였으며 부채꼴 모양으로 후



Fig. 4a. Short outer bow in high-pull headgear.



Fig. 5a. Short outer bow in straight-pull headgear.

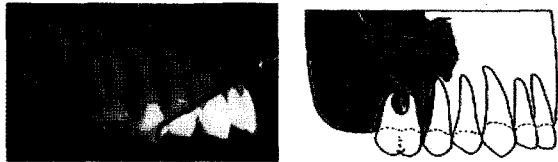


Fig. 4b. Medium outer bow in high-pull headgear.



Fig. 5b. Medium outer bow in straight-pull headgear.



Fig. 4c. Long outer bow in high-pull headgear.

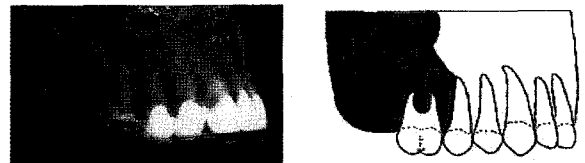


Fig. 5c. Long outer bow in straight-pull headgear.

상방의 상악결절을 향하였다(1.75차). 제2소구치의 근심면에 0.9차의 인장응력이 보였고 제1대구치의 근심협측 치근침과 제2소구치의 치근침에 1.0차의 응력이 원형으로 관찰되었다(Fig. 4a).

## 2. Medium outer bow

Short outer bow와 비슷한 양상이었으나, 상악결절을 향하는 부채꼴 모양의 응력(1.75차)이 좀더 하방으로 내려왔다. 제1대구치의 근심협측 치근면에 형성된 응력(0.9차)의 띠가 좀더 가늘었고, 원심협측 치근면의 응력선이 좀더 분명하였으나 범위가 좁아졌다(Fig. 4b).

## 3. Long outer bow

상악 결절을 향하는 응력분포가 좀더 하방으로 내려왔고 약해졌다(1.2차)(Fig. 4c).

## 2. Straight-pull headgear의 경우

### 1. Short outer bow

제1대구치의 원심협측 치근침에 원형의 응력(1.2

차)이 집중되어 보였고 근심협측 치근에 떠상의 응력(1.2차)이 분포되었는데, 치관을 향할수록 두터워졌다. 제2소구치의 근심 치근면은 0.9차의 인장응력이, 원심 치근면은 0.9차의 압축응력이 주로 치관부에 가깝게 관찰되었다. High-pull 헤드기어에서의 상악결절을 향하는 응력의 분포는 많이 후방으로 내려왔고 약해졌다(1.75차) (Fig. 5a).

## 2. Medium outer bow

제1대구치의 원심협측 치근침에 있던 응력이 약화되었고 치관쪽으로 내려와 치관부에 있는 응력과 합쳐졌다(1.2차) 제 2소구치의 원심면에 형성되었던 0.9차의 압축응력은 short outer bow에 비해 고르게 분포되었다(Fig. 5b).

## 3. Long outer bow

제 1대구치의 원심협측 치근침의 응력이 사라졌고 치관부위의 응력과 합쳐져 두터운 응력분포대(1.75차)가 형성되었다(Fig. 5c).

그러나 outer bow의 길이에 따른 응력분포의 변화는 뚜렷하지 않았다.



Fig. 6a. Short outer bow in cervical-pull headgear.



Fig. 6b. Medium outer bow in cervical-pull headgear.



Fig. 6c. Long outer bow in cervical-pull headgear.

### 3. Cervical-pull headgear의 경우

#### 1. Short outer bow

제1대구치의 원심협측 치근의 원심면에 응력(1.2차)이 치관에 가까이 분포되었고 근심협측 치근첨 가까이 응력(1.2차)이 형성되었고 제2소구치의 치근첨 가까이에도 응력(0.9차)이 형성되었다(Fig. 6a).

#### 2. Medium outer bow

제1대구치의 원심협측 치근 원심면에 치관부에 가까이 위치하던 응력(0.9차)이 치근쪽으로 약간 이동되었다(Fig. 6b).

#### 3. Long outer bow

제1대구치의 원심협측 치근의 원심면에 응력(1.2차)이 떠상으로 위치하였으며 치근첨에 두껍게 형성되었다. 근심협측 치근의 근심면의 치관부 1/3과 중간 1/3에 응력이 집중되었다(Fig. 6c).

## IV. 총괄 및 고찰

교정치료 시 치아에 지속적인 힘을 가했을 때 치아 주위 골의 지속적인 개조에 의해 치아의 이동이 일어나는데, 압축력을 받는 부위에서는 흡수가, 인장력을 받는 부위에서는 골 침착이 일어나며, 이것은 치주인대를 매개로 하기 때문에 치아이동은 곧 치주인대의 현상이라고 할 수 있다. 그러므로 치아의 이동은 치근막에서의 응력 변화로부터 시작된다고 할 수 있다.

치아에 교정력이 가해질 때 치근막과 치조골에 발생하는 응력을 분석하는 방법으로는 strain gauge를 이용하는 방법, holography를 이용하는 방법, 광탄성법, 유한요소법 등이 응용되어 왔다. strain gauge를 이용하는 방법은 생체나 모형에 직접 strain gauge를 부착하면 그 부위에 대한 가장 정확한 응력과 변위를 알 수 있으나 경계 부위에서는 측정이 곤란하고 장치의 크기 때문에 미세한 부위에서의 부착이 힘들어 내부 응력 분석과 연속적인 세부 계측이 불가능하며 조각이 복잡하다<sup>13,14,15</sup>.

Holography를 이용하는 방법은 단색광이면서 같은 방향의 고주파수 광원의 간섭현상을 이용하는 것으로 인체 형상 물체의 전체적인 변형이 한 장의 사진에 나타나며 고정점의 설치문제를 해소할 수 있고 물체의 표면이 조면이 아니어도 측정할 수 있으나 공기의 흔들림과 파동이 없어야 하며 오직 물체 표면에서의 응력만을 분석할 수 있다<sup>11,16</sup>.

유한요소법은 형태가 복잡하고 균일하지 않은 구조물에 발생하는 응력을 분석하는 경우에 매우 용이하고, 전반적인 응력의 분포와 측정이 가능하며 변위 전후의 상태의 비교분석이 가능하며 작은 요소로 분할함으로써 정밀한 내부 응력 계측이 가능하나, 고정점 설치의 문제가 있고 치아와 그 주위 구조물의 수학적 모형으로부터 이론적으로 계산하였기 때문에 그 한계가 있다<sup>17,18</sup>.

광탄성법은 광탄성 모형에 하중을 가했을 때 편광기를 이용하여 물체 속의 응력분산을 분석하는 방법으로 응력이 집중되는 부분의 위치 및 양을 결정하기는 쉬우나, 두께가 불균일한 물체에서는 두께 방향으로의 응력 변화가 각 지점마다 달라지는 문제가 있는데, 균일한 모형을 만들기 어렵고 모형의 절단 시 또다른 응력이 개입될 수 있으며<sup>10</sup>, 절대적인 응력의 크기보다는 인접부위와 상대적인 응력만 관찰할 수 있고<sup>19</sup>, 힘의 크기와 모멘트의 비율이 점차 변하는 것에 따른 응력의 변화는 관찰할 수 없으며, 가장 큰 힘

만의 응력을 보여준다는 단점과 함께 광탄성 물질이 인체의 골과는 특성이 다르다는 문제가 있다<sup>20)</sup>.

광탄성법은 투과식과 반사식이 있는데 악외력을 두개골에 가한 후의 효과를 연구한 경우에는 반사식이 많이 이용되며, 교정력을 이용한 치아 주위의 반응을 관찰하고자 하는 경우에는 투과식이 많이 이용된다. 그러나 투과식을 사용하는 경우에는 상악 좌우측을 분리하여 관찰하기 위해서 광원이나 카메라가 구개면에 위치해야만 하는데, 모형의 크기가 작으므로 구개면에 이러한 장비를 설치하는 것이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 광원으로 부터 나온 빛이 상악 모형의 편측의 협면을 투과하여 구개면에 도달한 후, 구개면에 도포된 은색의 페인트에 반사되어 다시 협면으로 나온 빛을 사진기로 관찰하였다. 이러한 방법을 사용하는 경우에는 광원과 사진기가 구개측의 반사면에 거의 직각으로 설치되지 않는다면 빛이 협면을 두 번 통과하는 과정에서 서로 다른 지점의 응력을 겹쳐서 보여주는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 광원과 사진기를 가능한 서로 평행하게 설치하여 관찰하였다. 또한 이러한 실험방법에서는 반사면이 균일하지 않은 경우 빛이 산란되어 상이 흐려질 수도 있다는 문제점도 있었다.

치아에 교정력을 가하면 교정력이 치조골에 전달되어 생물학적 변화가 일어나 치아의 이동이 일어나게 된다. 이때 치조골에 의해 운동이 제한된 치아의 한 지점에 힘을 가했을 때 회전운동 없이 직선운동이 일어나는 점을 저항중심이라 한다. 치아의 저항 중심을 찾기 위한 노력은 1970년대 초부터 현재까지 지속되어 왔다<sup>22,23)</sup>. 치아의 저항중심은 단근치인 경우 치아 장축상에 있으며 치조정에서 치근단쪽으로 치근길이의 1/3 - 1/2 사이에 위치하고 있다<sup>16,24,25)</sup>. 힘의 작용점과 저항중심 간의 관계에 따라 치아이동은 일반적으로 치체이동, 회전 그리고 회전과 치체이동이 혼합되는 세 가지 형태 중 하나로 나타날 수 있다<sup>26)</sup>.

상악 구치의 후방이동 시 치체 이동을 얻기 위해서는 교정력의 작용선이 상악 구치의 저항중심을 통과해야 하는데, Fish<sup>27)</sup>, Burstone<sup>28)</sup>, Dijkman<sup>29)</sup> 등은 상악 구치 각 치아의 저항중심이 치근의 trifurcation 부근에 위치한다고 하였으며, Oosthuizen 등<sup>30)</sup>은 정형력이 치아의 저항중심을 지나지 않은 경우 치아의 tipping이 일어난다고 하였다. 상악 제1대구치의 치체 이동을 얻기 위해서는 헤드기어에 의한 교정력의 작용선이 상악 제1대구치의 저항중심을 지나야만 한다. 헤드기어의 견인 방향이나, outer bow의 길이 및 경

사로 조절을 통해 견인력이 상악 제1대구치의 저항중심을 지나가게 조절할 수 있다.

이<sup>10)</sup>는 유한요소법을 이용한 연구에서 치체이동을 위해서 high-pull 헤드기어에서는 견인력이 교합면에 대해 30° 상방으로 경사져야 하며 inner bow보다 outer bow가 짧아야 하며, straight-pull 헤드기어에서는 견인력이 교합면에 평행하고 outer bow가 길어야 하며, cervical-pull 헤드기어에서는 견인력이 교합면에 대해 23° 하방으로 경사져야 하며 outer bow가 길어야 한다고 보고하였다. 이러한 보고는 본 연구의 straight-pull 헤드기어와 cervical-pull 헤드기어에서의 결과와 유사한 것이다.

김<sup>9)</sup>과 Chaconas<sup>31)</sup>가 cervical-pull 헤드기어 사용 시 제1대구치의 근심협측 치근의 중간 1/3과 원심협측 치근단, 제2소구치의 치근단에 응력이 강하게 나타난다고 보고한 것과는 달리, 원심협측에는 치근단에 국한되지 않은 비교적 고른 응력이 나타났으며, 근심협측에서도 중간 1/3과 치관 1/3에서 거의 차이가 없었다.

환자의 vertical pattern에 따라서도 헤드기어의 적용이 다른데 장안모의 환자에서는 high-pull 헤드기어를 사용하여 구치의 압하와 후방이동을 얻고<sup>32)</sup>, 단안모의 환자에서는 cervical-pull 헤드기어를 사용하여 구치의 정출<sup>33,34,35)</sup>과 후방이동을 얻는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 상악 광탄성 모형에 3가지 다른 방향(high-pull, straight-pull, cervical-pull)으로 3가지 길이(long, medium, short)의 facebow를 적용하여 150-200 gm/side의 힘으로 견인하여 치아와 그 주위 조직에 나타나는 응력 변화를 관찰하였다. 힘의 크기는 Graber 등<sup>36)</sup>과 Proffit<sup>37)</sup>을 따랐다.

High-pull 헤드기어의 경우, 치근부위의 응력이 제1대구치에서 가장 크게 나타났고, 제2소구치, 제1소구치 순으로 크게 나타났다. 압축응력이 후방 상악결절 부위로 후상방으로 제1대구치의 원심협측 치근에서 부채살 모양으로 퍼져나가는 fringe pattern을 보였는데, short outer bow일 때 더 크게 나타났고(1.75차) 범위도 더 넓게 나타나 상악 제1대구치에 후상방의 견인력을 가하는 것으로 나타났다. short outer bow일 때 원심협측 치근면 전체에 고르게 압축응력을 보였으나 지나치게 수직성분이 크게 나타났으며, 근심협측 치근면 전체에는 비교적 고른 인장응력을 보였다(1.2차). medium, long outer bow에서는 압축응력이 하방으로 내려와 치관부위에 크게 나타났다. 제1

대구치 뿐만 아니라 제2소구치의 근심면에는 인장응력이(1.2차), 원심면에는 압축응력(1.2차)이 함께 발생하였다. 중간 길이의 outer bow일 때 제1대구치 근심면의 응력이 최소화되어 치체이동에 보다 유리한 응력분포를 나타내는 것으로 나타났다. High-pull 헤드기어의 경우 짧은 outer bow를 쓸 때 힘의 작용선이 상악 제1대구치의 저항중심을 지날 가능성이 커지며, 작용선이 보다 수평적으로 적용될 수 있는데, 본 연구에서는 짧은 outer bow에서 오히려 수직력이 크고 제1대구치 치근 근심면에서의 응력을 많이 일으켜서 치체 이동에 바람직하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나온 이유로는 힘의 작용 방향에 따라 치아의 저항중심이 변화될 수 있기 때문으로 추정된다. 저항중심은 물체를 구속하고 있는 구속체의 물성에 따라 변화한다. 치아를 둘러싸고 있는 조직의 물성이 부위에 따라 균일하지 않다면 힘의 작용 방향에 따라 저항중심이 변할 수 있다. 만약 high-pull 헤드기어에 의한 후상방의 힘을 가할 때, 상악 제1대구치의 저항중심이 치근분지부 근처에서 좀더 치관측으로 이동한다면 본 실험에서와 같은 결과를 설명할 수도 있을 것으로 생각된다. 이러한 현상은 치근단측의 저항이 치관측의 저항에 비해서 약한 경우에 일어날 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 광탄성모형은 이러한 저항력 차이를 형성하기 어려우므로 이러한 부분은 추가적인 연구를 통해서 밝혀져야 한다고 생각된다.

Straight-pull 헤드기어에서는 치근부위의 응력은 제1대구치와 제2소구치에서 비슷한 크기를 보였으며 제1소구치에서는 적게 나타났다. high-pull 헤드기어에서 보였던 상악결절을 향한 후상방의 부채꼴 모양의 fringe pattern이 약화되었고 좀더 하방으로 위치하였다. Long outer bow의 경우에는 원심협축 치근면 전체에 고르게 압축응력을 보였고, 근심협축 치근면 전체에는 고른 인장응력을 보여, short outer bow에 비해 치체 이동양상을 보였다. 그러나 straight-pull 헤드기어에서는 다른 헤드기어에서와는 달리 outer bow의 길이변화에 따른 상악 제1대구치 주변의 응력 분포의 변화가 뚜렷하지 않았는데, 이는 헤드기어에 의해 발생하는 힘의 작용선과 상악 제1대구치의 저항중심 사이의 관계가 outer bow의 변화에 무관하게, 비교적 일정하게 유지될 수 있었기 때문으로 생각된다.

Cervical-pull 헤드기어에서 치근부위의 응력은 제1대구치, 제2소구치, 제1소구치 순으로 크게 나타났으며, short outer bow의 경우 오히려 제2소구치의 치근

단에 응력이 집중되어 나타났다. high-pull 헤드기어에 비해 상악결절을 향한 부채꼴 모양의 응력의 크기가 감소하였고(1.75차→1.2차) 하방으로 향하였다. Long outer bow의 경우에는 원심협축 치근면 전체에 고르게 압축응력을 보였고, 치근단 부위에 약간의 응력이 집중되는 양상을 나타냈다. 근심협축 치근면 전체에 고른 인장응력을 보였으며 또한 중간 1/3에서 다소 크게 나타났다. 이러한 결과는 long outer bow 사용 시 힘의 작용선이 상악 제1대구치의 저항중심에 가깝게 될 것이라는 이론적 예측과 일치하는 것이다. 소구치 부위의 응력은 high-pull과 straight-pull에 비해 같은 힘에서도 크게 나타났다.

outer bow의 길이가 동일한 경우들을 비교할 때에는, 같은 힘을 적용할 때 치관부위에 나타나는 응력이 cervical-pull, straight-pull, high-pull 헤드기어의 순으로 크게 나타났다. 이는 cervical-pull 헤드기어가 경사이동을 일으킬 가능성이 좀더 크다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 가능한 실물의 모양과 크기에 가깝게 광탄성 모형을 제작하다보니 균일한 모형을 얻기 어려워 fringe pattern의 해석이 용이치 않았으며, 반사면을 이용한 투과식 광탄성법에 따른 광탄성 이미지의 낮은 해상도 등의 문제점이 있었다. 또한 광탄성 재료와 치조골의 탄성계수는 비슷하긴 하나 동일하지는 않다는 광탄성법의 근원적인 문제가 있었다. 향후 인간의 악골구조와 동일한 탄성계수를 가지는 재료의 개발과 함께 삼차원적인 관찰방법을 이용하는 연구가 필요하며, outer bow의 높이를 다르게 하여 관찰하는 것 또한 필요하다고 생각된다.

## V. 결 론

헤드기어를 이용한 상악 제1대구치의 후방이동 시 발생하는 응력분포를 알아보기 위해 face bow의 inner bow와 outer bow를 평행하게 한 상태에서 outer bow의 길이에 따라 3가지 형태로, 견인력의 방향에 따라 high-pull, straight-pull, cervical-pull로 구분하여 광탄성법을 이용하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. High-pull 헤드기어의 경우, 중간 길이의(medium) outer bow일 때 치체이동에 유리한 응력분포가 나타났다. 치근단의 응력분포는 제1대구치, 제2소구치, 제1소구치 순이며 각각의 차이는 거의 없었다.

2. Straight-pull 헤드기어의 경우, 긴 길이의 outer bow일 때 좀더 치체이동에 유리한 응력 분포가 나타났으나, outer bow의 길이에 따른 응력분포의 변화는 적었다.
3. Cervical-pull 헤드기어의 경우에도 긴 길이의 outer bow일 때 치체이동에 유리한 응력분포가 나타났다. 3가지 헤드기어 중 소구치 부위에서의 치근단 응력이 가장 컸고, 특히 짧은 길이의 outer bow에서 제2소구치의 치근단 응력이 가장 컸다.
4. 같은 힘을 적용 시 치관부위에 나타나는 응력은 outer bow의 길이가 동일한 경우에는 cervical-pull, straight-pull, high-pull 헤드기어의 순으로 크게 나타났다. 이는 cervical-pull 헤드기어가 경사이동을 일으킬 가능성이 좀더 크다는 것을 의미한다.

따라서 헤드기어를 이용한 상악 제1대구치의 후방 이동 시 facebow의 outer bow의 높이를 조정하지 않는 경우에는 위의 결론에 따라 헤드기어를 적용하는 것이 치체이동을 얻는 데 보다 유리할 것이다.

참 고 문 헌

1. Kurol J, Bjerklind K. Treatment of children with ectopic eruption of maxillary first permanent molar by cervical traction. *Am J Orthod* 1984 ; 86 : 483-92.
2. Zak B. Photoelastic analysis in der orthodontischen mechanik. *Oesterr Z Stomatol* 1935 ; 33 : 22-37.
3. Chaconas SJ. Effects of wire size, loop configuration, and gagbling on canine retraction spring. *Am J Orthod* 1974 ; 65 : 58-71.
4. Caputo AA, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod* 1974 ; 65 : 250-9.
5. Baeten LR. Canine retraction : A photoelastic study. *Am J Orthod* 1975 ; 67 : 11-23.
6. Brodsky JF, Caputo AA, Farstman LL. Root tipping : A photoelastic Histopathologic correlation. *Am J Orthod* 1975 ; 67 : 1-10.
7. Ayala, Ayala Perez C, de Alha JA, Caputo AA, Chaconas SJ. Canine retraction with J hook headgear. *Am J Orthod* 1980 ; 538-47.
8. Itoh T, Chaconas SJ, Caputo AA, Matya SJ. Photoelastic effects of maxillary protraction on the craniofacial complex. *Am J Orthod* 1985 ; 117-24.
9. 김광호. 각종의 headgear를 이용한 정형력이 두개안면골에 미치는 영향에 관한 광탄성학적 연구. *대치교정지* 1986 ; 16 : 71-81.
10. 이인수. Headgear가 상악골에 미치는 영향에 관한 유한요소법적 분석. *대치교정지* 1985 ; 15 : 211-27.
11. 박기호, 손병화. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 함입시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구. *대치교정지* 1995 ; 23 : 619-31.
12. Wheeler RC. *Dental anatomy, physiology and occlusion*, 6th ed. Philadelphia 1984
13. Gjessing P. Controlled retraction of maxillary incisors. *Am J orthod.*

- Dentofac orthop* 1992 ; 101 : 120-31.
14. Murphy NC, De Alba JA, Chaconas SJ, Caputo AA. Experimental force analysis of the contraction utility arch wire. *Am J Orthod* 1982 ; 82 : 411-7.
15. Pederson E, Anderson K, Melson B. Tooth displacement analyses on human autopsy material by means of strain gauge technique. *Eur J orthod* 1991 ; 13 : 65-74.
16. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. Holographic determination of center of rotation produced by orthodontic forces. *Am J Orthod* 1980 ; 77 : 396-409.
17. 천옥진, 손병화, 서정훈. 상악 4절치의 후방견인시 나타나는 현상에 관한 유한요소법적 분석. *대치교정지* 1995 ; 25 : 525-41.
18. Tanne K, Hiraga J, Kakiuchi K, Yamagata, Sakuda M. biomechanical effect of anterior directed extraoral forces on the craniofacial complex. a study using the finite element method. *Am J orthod Dentofac orthop* 1989 ; 95 : 200-7.
19. 이승호, 김정기. MEAW의 응력분포에 관한 광탄성학적 연구. *대치교정지* 1994 ; 24 : 969-82.
20. Evans FG. *Stress and strain in bones*. In : Charles C Thomas. Springfield Illinois publisher, 1957
21. 이유진, 박수병. 상악전치의 후방견인시 J-hook headgear의 사용이 응력 분포변화에 미치는 영향에 관한 광탄성학적 연구. *대치교정지* 1997 ; 27 : 697-709.
22. Bowley WW, Burstone CJ, Koenig HA, Siatkowski Re. Prediction of tooth displacement using laser holography and finite element technique. In Heron RE, eds. *Biostereometrics* 74, 1974 : 241-73.
23. Pedersen E, Andersen K, Melsen B. Tooth displacement analyzed on human autopsy material by means of a strain gage technique. *Eur J Orthod* 1991 ; 13 : 65-74.
24. 교정학교수협의회. *치과교정학*, 서울 : 지성출판사, 1999 : 364- 382.
25. Matsui S, Caputo AA, Chaconas SJ, Kyomura H, Shigeyuki M, Caputo AA. Center of resistance of anterior arch segment. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2000 ; 118 : 171-8.
26. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod* 1984 ; 85 : 294-307.
27. Fish GD. Some engineering principles of possible interest to orthodontist. *Dental Cosmos* 1917 ; 59 : 881-9.
28. Burstone CJ, The Mechanics of tooth movement. In : Kraus BS, Riedel RA, Lea, Febiger. eds. *Vitas in Orthodontics*. 1962 : 197-213.
29. Dijkman JFP. *Krachten verdelingen bij orthodontische behandeling*. Doctoral thesis Nijmegen 1969
30. Oosthuizen L, Dijkman JF, Evans WG. A mechniacal appraisal of the kloehnextraoral Assembly. *Angle Orthod* 1973 ; 43 : 221-232.
31. Chaconas SJ, Caputo AA, Bavis JC. The effect of orthopedic forces on cranifacial complex utilizing cervical and headgear appliance. *Am J Orthod* 1976 ; 69 : 527-39.
32. Armstrong MM. Controlling the maginitude, direction and Duration of extraoral force. *Am J Orthod* 1971 ; 59 : 217-43.
33. Newcombe MR. Some observation of extraoral treatment. *Angle Orthod* 1968 ; 28 : 131-48.
34. Proffit WR. *Contemporary orthodontics*. St. Louis : CV Mosby, 2000 : 491-2.
35. Wieslander L. The effect of orthodontic treatment on the concurrent development of the craniofacial complex. *Am J Orthod* 1963 ; 49 : 15-27.
36. Thomas M Graber, Robert L Vanarsdall Jr. eds. *Orthodontics, Current principles and techniques*. St. Louis : CV Mosby 3rd edition : 455.
37. Proffit WR. *Contemporary orthodontics*. St. Louis : CV Mosby, 3rd edition : 445.



- ABSTRACT -

## A photoelastic evaluation of stress distribution during distal movement of upper molar

Sae-Eun Song, Sung-Hoon Lim, Young-Joon Yoon, Kwang-Won, Kim

*Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chosun University*

The purpose of this study was to photoelastically visualize the distribution of forces transmitted to the alveolus and surrounding structures using three different types of headgear for the distal movement of the upper molars. A photoelastic maxillary model was made and three different directional forces applied, which were high-pull, straight-pull, and cervical-pull.

Stress distribution was recorded through circular polariscope, and two-dimensional photoelastic stress analysis was performed according to isochromatic fringe characteristics.

The results were as follows:

1. In the case of high-pull headgear, bodily movement occurred in the medium-length outer bow, stress distribution in the apical region was 1st molar, 2nd premolar, 1st premolar in sequence and there was no apparent difference.
2. In the case of straight-pull headgear, bodily movement occurred in the long outer bow and stress distribution in the apical region was heavy in the 1st molar, 2nd premolar, 1st premolar in sequence. But, there were no apparent differences according to the length of the outer bow.
3. In the case of cervical-pull headgear, bodily movement also occurred in the long outer bow, and apical stress of the premolar region was heaviest among other cases and apical stress of the 2nd premolar was heaviest in the short outer bow.

In clinical situations, to achieve bodily movement of the upper 1st molars without modifying outer bow height, applying an outer bow length as long as the inner bow length in high-pull headgear and applying an outer bow length longer than the inner bow length in straight-pull, cervical-pull headgear are recommended.

KOREA. J. ORTHOD. 2004 : 34(2) : 121-29

※ **Key words** : Headgear, Photoelastic, Molar distalization