

상악전치의 후방견인시 J-hook headgear의 사용이 응력분포변화에 미치는 영향에 대한 광탄성학적 연구

이 유 진¹⁾ · 박 수 병²⁾

발치 환자의 치료에서 결과의 안정성과 심미적인 요구를 만족하기 위해서는 상악 전치의 전후방 및 수직적인 위치와 순설측 경사를 올바르게 설정하여야 한다. 상악 치열에서 제 1 소구치를 발거하고 견치를 발치 공간으로 후방이동시킨 상태에서, 호선을 이용하여 전치를 후방견인시킬 때 치아의 설측 경사와 정출과 같은 부작용이 일어날 수 있으므로 이를 방지하기 위해 다양한 방법으로 힘과 모멘트의 조절을 시도하여야 한다. 치관의 한 지점에 적용되는 힘의 크기와 모멘트의 비율에 따라 치근막에 나타나는 응력분포가 변화하고 이를 알아냄으로써 치아이동 양상을 예측할 수 있다. 상악 전치부에 직접 힘을 가하게 되는 J-hook headgear는 전치부의 모멘트를 변화시키는 효과를 제공하므로, 본 연구에서는 호선의 전치부에 각각 다른 토오크를 부여하고 각 상태에서 J-hook headgear를 후상방으로 적용하였을 때 모멘트 변화에 따른 응력분포의 변화를 광탄성법으로 관찰하였다.

치조골 부위를 광탄성 레진으로 대체한 모형을 제작하고 인공 치아에 .022" slot의 standard edgewise bracket을 부착하였다. 측절치 bracket 원심 1mm지점에 높이 7mm의 vertical loop을 가지는 호선을 .020" × .025" stainless steel wire로 제작하였으며 중절치와 측절치 사이에 high pull J-hook headgear를 위한 hook을 납작하였다. 전치부에서 0°, 7°, 14°의 토오크를 각각 부여한 뒤, loop을 1mm activation하였을 때 나타나는 응력분포와 각각에 high pull J-hook headgear를 교합면에 대하여 후상방 35°방향으로 200mg의 힘을 적용했을 때의 응력분포를 비교하였어 다음과 같은 결과를 얻었다.

결 론

1. 0° 토오크에서는 치근의 치근단측 1/2부위에 응력이 분포하였으나 순측에 비해 설측이 약하고 좁게 나타났고 특히 치근단에 집중된 응력은 순, 설측 모두에서 high pull J-hook headgear의 사용으로 감소하였다.
2. 7° 토오크에서는 치근면을 따라서 응력이 분포하는데, 순측으로는 치조정에서부터 나타나는 응력이 치근면을 따라서 치근단측 1/3부위까지 점차 폭이 좁아졌고, 설측은 순측보다는 약한 응력이 치근의 치관측 1/3에서부터 치근단까지 나타났다. 치근단에서는 순측보다 설측이 더 강하게 나타났고, high pull J-hook headgear의 사용으로 전반적으로 응력의 크기와 폭의 증가가 있었다.
3. 14° 토오크의 호선에서는 7° 토오크의 호선과 분포하는 응력의 양상은 유사하지만 좀 더 강하게 나타났고, 순측에서는 치근면의 중앙부위가 폭이 가장 넓게, 설측에서는 순측에 비해 균일한 폭으로 응력이 분포하였다. 치근면을 따라서 나타나는 응력은 headgear를 사용하는 것이 사용하지 않은 경우보다 강하였고 순측보다는 설측이 더 강하였다. headgear를 사용하였을 때 치근단의 응력 집중은 순측에서보다 설측에서 더 크게 나타났다.

(주요 단어 : 후방견인, high pull J-hook headgear, 광탄성법)

I. 서 론

치열궁의 부조화가 존재하거나 상악이 전돌된 부

정교합에서 양호한 교합과 안모를 얻기 위해 교정치료를 계획할 때 제 1 소구치 발거가 선택될 수 있다. 발치한 공간은 부정교합의 특성에 따라서 전치를 원심 이동하거나, 구치를 근심 이동하거나 혹은 이들을 혼용하게 되는데, 전돌을 동반한 부정교합의 발치 증례에서는 전치를 후방 견인하는 것이 필수적인 치

¹⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실

²⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실, 조교수

료단계이고⁷⁾ 상악 전치의 후방 이동량과 바람직한 순설측 경사를 미리 결정하여 이를 후방 견인 중에 유지하는 것이²⁰⁾ 바람직한 치료 목표를 달성하고 안정된 결과를 얻는 데 매우 중요하다.

교정력은 치아의 저항 중심에서 벗어난 브라켓을 통해 적용되기 때문에 경사 이동이 발생하게 되고 공간 폐쇄의 과정에서 폐쇄용 루프를 활성화하는 힘과 경사 이동에 저항하는 모멘트의 양에 따라서 전치부의 이동 양상이 치체 이동, 치근 이동, 경사 이동으로 변하게 된다¹⁴⁾. 하지만 대부분은 회전 중심을 중심으로 치관의 설측 이동과 치근의 순측 경사를 유발하는 조절되지 못한 경사 이동(uncontrolled tipping)의 양상이기 때문에 바람직한 순설측 경사를 위해서는 치근의 설측 이동이 요구된다. 그러므로, 조절된 경사 이동이나 치체 이동을 위해서는 모멘트를 증가시키려는 시도를 하게 된다.

또한 Stagers와 Germane⁴¹⁾에 의하면 호선만으로 제공할 수 있는 모멘트 대 힘의 비율로는 치체 이동을 얻기가 어렵고, 이를 얻기 위해서는 부가적인 수단이 제공되어야 한다고 하였다. Cole¹³⁾은 호선에 추가적인 치근 설측 토오크를 부여하고 headgear를 상악 전치부에 적용함으로써 에지와이즈 장치의 토오크 효과를 증가시켜 치체 이동을 가능하게 한다고 하였다. 임상적인 증례와 분석^{23,24,26,29-31)}에 의하면, high pull 방식으로 적용한 J-hook headgear는 전치부에 함입 효과와 함께 치근 설측 경사의 효과를 제공하였다. 그러므로, 상악 전치의 후방 견인시에 발생하게 되는 부작용인 전치부의 정출과 과도한 직립을 방지하기 위하여 호선에 치근 설측 토오크를 추가하고 전치부에 보조적으로 high pull J-hook headgear를 후상방으로 적용하면 에지와이즈 장치에 부여된 토오크의 효과를 증가시켜 치측 경사도와 수직적인 위치를 개선할 수 있을 것이다.

치아에 교정력이 가해질 때 치근막과 치조골에 발생하는 응력을 분석하는 방법으로 holography법^{2,8,37,45)}, 장력계측법^{20,32-34)}, 유한요소법^{1,4,44)}, 광탄성법^{3,6,11,12,15,35)} 등이 있는데, 그 중 광탄성법은 복잡한 구조물에 생기는 기계적인 내부응력을 가시광선 형태로 전환시켜 응력 분포나 크기를 보는 방법으로서 편광판 사이에 실물과 같은 광탄성 모형을 위치시키고 하중을 가하여 발생된 공학적 복굴절 현상을 촬영하고 분석함으로써 모형 내부에 발생하는 응력 분포의 양상을 전체적으로 파악할 수 있는 방법이다. 이 방법은 1816년 David Brewster가 응력을 받고 있는 유리에 편광을

투과시키면 응력에 따라 화려한 색채모형이 나타나는 것을 발견한 이래 최근 많은 분야에서 응용되고 있다. 치과 분야에서는 1935년 Zak⁴⁶⁾이 처음으로 치조골 내에서 교정력의 영향에 대해 광탄성을 이용하여 연구하였고 그 후 다른 치과영역^{21,40)}과 교정학 분야에서 교정력^{3,6,11)}이나 악외력^{12,15,35)}을 가했을 때 나타나는 응력 분포에 관하여 보고하였다.

본 연구는 호선을 이용하여 전치를 후방 견인할 때 J-hook headgear를 상악 전치부에 직접 적용함으로써 나타나는 모멘트의 변화 양상을 살펴보기 위해 호선의 전치부에 각각 다른 토오크를 부여하고 J-hook headgear를 교합면에 대해 후상방으로 적용하여 나타나는 응력 분포의 변화를 광탄성법으로 관찰하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

상악 치아는 Wheeler⁵⁾의 기준에 맞는 크기와 형태를 가지면서 PL-3보다 경질인 레진 치아를 이용하였다. U형의 왁스 모형에 제 1 소구치를 제외한 레진 치아를 백아법랑 경계 부위까지 식립하고 표준 에지와이즈 브라켓을 치관에 부착시킨 뒤 견치를 완전히 제 2 소구치측으로 후방 이동시켜 측절치와 견치 사이에 공간이 존재하도록 하였다.

Downs 분석에 따른 정상적인 절치간 각도(135°)와 하악 전치와 교합평면이 이루는 각(+15°)으로부터 상악 전치와 교합평면이 이루는 각의 정상치(60°)를 구하였다¹⁶⁾. 전치부의 치측은 정상치와 일치되게 하고 구치부의 스피씨 만곡은 평탄하게 되도록 최대 크기의 호선을 이용하여 왁스 모형에 치아를 매식하였다. 이때 치아가 식립된 왁스 모형은 치근 부위에서 그 두께를 일정하게 하고 면이 매끈하게 되도록 하여 광탄성 응력 분포의 관찰을 용이하게 하였다. 이렇게 인공 치아가 식립된 왁스 모형을 완성한 뒤 치관에 부착된 브라켓을 제거하고, 친수성 실리콘계 인상재(Exaflex^R, GC America Inc., Japan)를 사용하여 음형을 형성하고 여기에 레진 치아를 역으로 재식립하였다. 치조골에 해당되는 부위는 교정력과 같은 약한 하중에서도 응력 양상을 비교적 잘 관찰할 수 있는 PL-3형 에폭시 레진(Measurement Group, Inc., U.S.A.)을 사용하였다. 레진과 경화제를 1 : 1.5의 무게비로 각각 용기에 담아 52 - 56°C에서 약 1시간 동안 예열한 후 혼합하여, 60°C에 도달할 때까지 천천히 30분간



Fig. 1. Photoelastic replica with retraction archwire and high pull J-hook headgear (a : anterior view, b : lateral view)

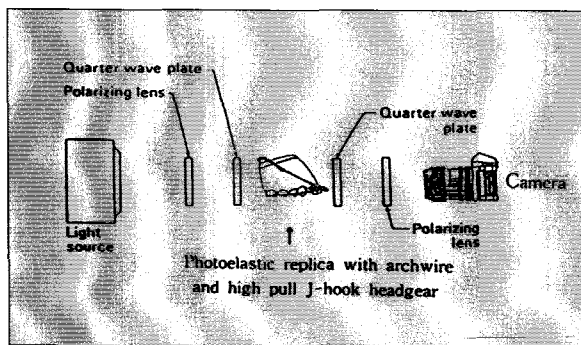


Fig. 2. Setup illustrating the transmission polariscope arrangement

Table 1. Dominant isochromatic fringe colors for fullfield interpretation

Color	Fringe Order
Black	0.0
Yellow	0.6
Red	0.9
Purple	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

저어 치아가 식립되어 있는 음형에 기포가 생기지 않게 부었다. PL-3가 완전히 경화된 후 음형에서 제거하여 광탄성 입체 모형을 완성하였다.

.022" 슬롯의 표준 에지와이즈 브라켓(Tomy Int. Inc., Japan)을 사용하였으며, 최후방 치아인 제 2 대구치에는 튜브를 no-mix형의 직접 레진인 Ortho-one™ (Bisco Co., U.S.A.)을 사용하여 인공치아에 정착시켰다.

2. 실험방법

측절치 원심 1mm 지점에 길이 7mm의 수직 루프를 가진 견인 호선을 .020" × .025" 스테인레스 스틸 선재(3M Unitek, U.S.A.)로 제작하고 중절치와 측절치 사이에 high pull J-hook headgear를 위한 후크를 납착하였다. 전치부는 0°, 7°, 14°로 각각 토오크를 다르게 부여하고 견치와 구치부에는 수동적(passive) 토오크를 부여한 3개의 호선을 제작하였고, high pull J-hook headgear는 교합면에 대해 후상방 35° 방향으로 200gm의 힘을 적용하였다(그림 1). 제작된 광탄성 모형에 3가지 토오크의 견인 호선을 삽입하여 루프를 1mm 활성화시켰을 때와 삽입된 호선에 high pull J-hook headgear를 적용하였을 때의 무늬양상을 관찰하기 위해 circular transmission polariscope (Model 080 series teaching polariscope, Measurement Group, Inc., U.S.A.)를 이용하여 나타난 응력 분포를 순실측에서 각각 촬영하였다(Nikon 120mm camera, ASA 100 Kodak film, 노출 1/8초)(그림 2). 응력 분포의 양상은 최대 주응력과 최소 주응력의 차인 전단응

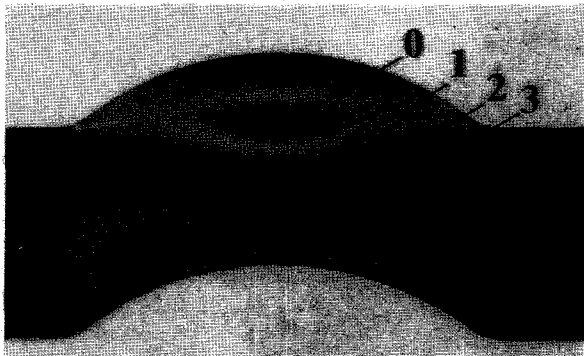


Fig. 3. Isochromatic fringe color sequence

력 성분의 크기에 따라 다색상의 반복무늬로 나타나는데 등색선을 추적하여 무늬차수를 분석하였다. 이러한 등색선은 흑색 / 황색 / 적색 / 청색-녹색 / 황색 / 적색 / 녹색 / 황색 / 적색 / 녹색 등의 반복된 순서로 나타난다. 무늬차수를 구하는 방법은 흑색이 0차, 적색과 청색-녹색 사이가 1차, 두번째 적색과녹색 사이가 2차, 세번째 적색과 녹색 사이가 3차로 점점 증가되는 응력상태를 나타낸다⁴⁷⁾(그림 3)(표 1).

III. 실험 결과

1. 0° torque archwire without high pull J-hook headgear

1) 순측 (그림 4-a, 4-b)

좌, 우 중절치 사이의 치조골 부위에 치조정에서부

터 치근단측 1/3까지 1.2차의 응력이 나타났다. 중절치의 근심과 측절치의 근원심 치근 주위로 치관측 1/3 부위에서 치근단까지 2.0차의 응력이 arc형으로 분포되었고, 치근첨에서 상방으로 향하는 응력의 분포는 없었다. 측절치와 견치 사이의 공간에서는 치조정에서부터 측절치 치근의 치근단측 1/4과 견치 치근의 치관측 2/5 사이를 연결하는 5.0차의 강한 응력이 나타났다.

2) 설측 (그림 4-c, 4-d)

좌, 우 중절치 사이의 치조골 부위에 1.2차의 응력이 치조정에서부터 치근의 치관측 1/3까지 집중되었다. 중절치와 측절치의 근심 치근면을 따라서 치근의 1/2 정도에서 치근단까지 1.0차의 응력이 관찰되었고, 치근의 원심에서는 0.6차의 약한 응력이 분포하였다. 측절치와 견치 사이에는 순측과 마찬가지로 5.0차의 강한 응력이 분포하였다.

2. 0° torque archwire with high pull J-hook headgear

1) 순측 (그림 5-a, 5-b)

좌, 우 중절치 사이의 치조골 부위는 치조정에서부터 치근단측 1/4 부위까지 1.2차의 응력이 나타났고, 측절치 치근의 원심에서는 치근 1/2에서 치근단까지 1.0차의 응력이 arc형으로 분포하였다. 중절치 치근의 근심은 치조정에서 치근 1/2까지는 1.0차의 응력이 치근면을 따라서 나타나고 치근 1/2에서 치근단까지는

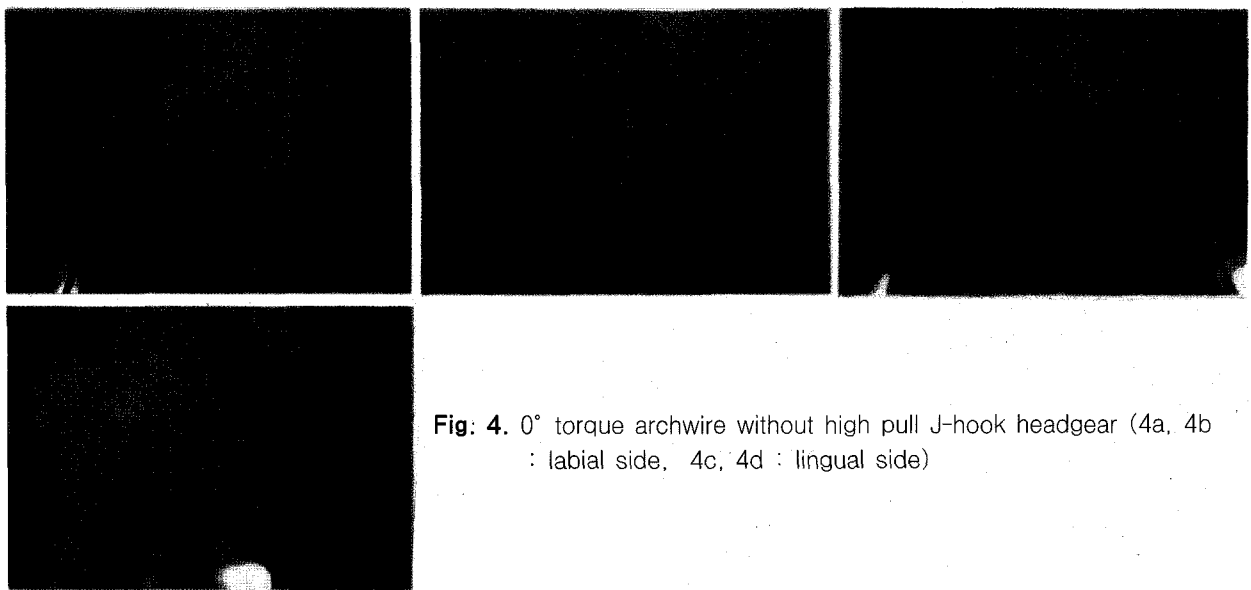


Fig. 4. 0° torque archwire without high pull J-hook headgear (4a, 4b : labial side, 4c, 4d : lingual side)

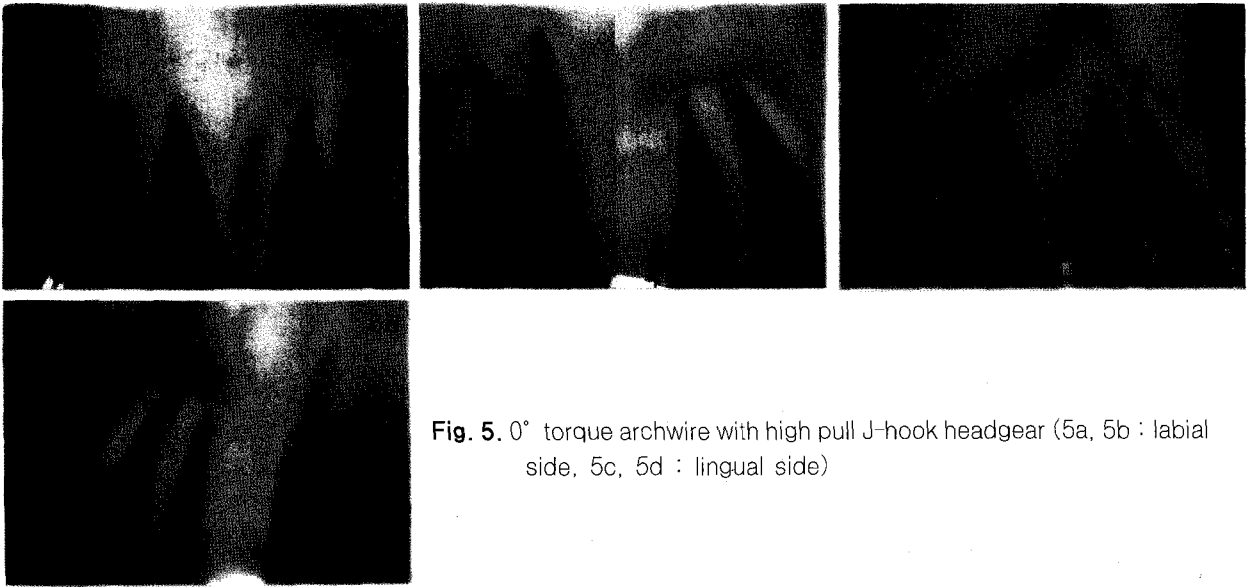


Fig. 5. 0° torque archwire with high pull J-hook headgear (5a, 5b : labial side, 5c, 5d : lingual side)

1.0차의 응력이 arc형으로 분포하였다. 측절치의 치근 근심에서는 치조정에서 치근단 1/4까지 1.0차의 응력이 치근면을 따라서 나타났다. 중절치와 측절치의 치근첨 사이는 1.0차의 응력이 연결되었다. 측절치와 견치 사이의 공간에서는 치조정에서부터 측절치 치근의 치근단측 1/5과 견치 치근의 치근 1/2 사이를 연결하는 5.0차의 강한 응력이 나타났다.

2) 설측 (그림 5-c, 5-d)

중절치 사이 치조골 부위는 치조정에서 치근의 1/2까지 1.2차의 응력이 관찰되었다. 중절치의 원심 치근면에서 2.0차의 응력이 치조정에서 치근의 1/2까지 arc형으로 분포하였다. 측절치의 원심 치근면에서 1.0차의 응력이 arc형으로 관찰되었다. 치근첨에서 상방으로 향하는 1.0차의 응력이 중절치와 측절치의 치근첨 사이에 연결되고 있었다.

3. 7° torque archwire without high pull J-hook headgear

1) 순측 (그림 6-a, 6-b)

중절치 사이 치조골 부위는 1.2차의 응력이 치조정에서 치근단측 1/3까지 분포하고, 중절치와 측절치 치근의 근심에서 치근면을 따라서 치조정에서 치근 1/2까지 1.0차의 응력이 분포하고, 중절치의 근심과 측절치의 근원심면에서 치근 1/2에서 치근단 부위까지는 2.0차의 응력이 arc형으로 분포하였다. 치근첨에서 상

방을 향하는 응력은 관찰되지 않았다. 측절치와 견치 사이 치조골에서는 역시 5.0차의 반복되는 무늬가 관찰되었고 이는 치조정에서부터 측절치 치근의 치근단측 1/5과 견치 치근의 치근 1/2까지 연결되고 있었다.

2) 설측 (그림 6-c, 6-d)

좌, 우 중절치 사이의 치조골 부위는 치조정에서부터 치근의 1/2까지 1.2차의 응력이 집중되었다. 중절치와 측절치 치근의 근심을 따라서는 치조정에서 치근 1/2까지 1.0차의 응력이 치근면을 따라서 관찰되었고, 중절치의 근심과 측절치의 근원심 치근 주위로 치근의 1/2에서 치근단까지 arc형으로 분포하는 2.0차의 응력이 관찰되었다.

4. 7° torque archwire with high pull J-hook headgear

1) 순측 (그림 7-a, 7-b)

좌, 우 중절치 사이의 치조골에는 치조정에서부터 치근단측 1/3까지 1.2차의 응력이 나타났다. 중절치의 근심 치근의 치조정에서 치근단측 2/5까지 치근면을 따라서 2.0차의 응력이 나타났고, 측절치 치근의 근심에서는 치조정에서 치근단측 1/3까지 치근면을 따라서 나타나는 2.0차의 응력이 관찰되었다. 중절치와 측절치 사이는 1.0차의 응력이 치근첨 사이로 연결되었고 측절치의 치근첨에서는 상방으로 향하는 1.0차의



Fig. 6. 7° torque archwire without high pull J-hook headgear (6a, 6b : labial side, 6c, 6d : lingual side)

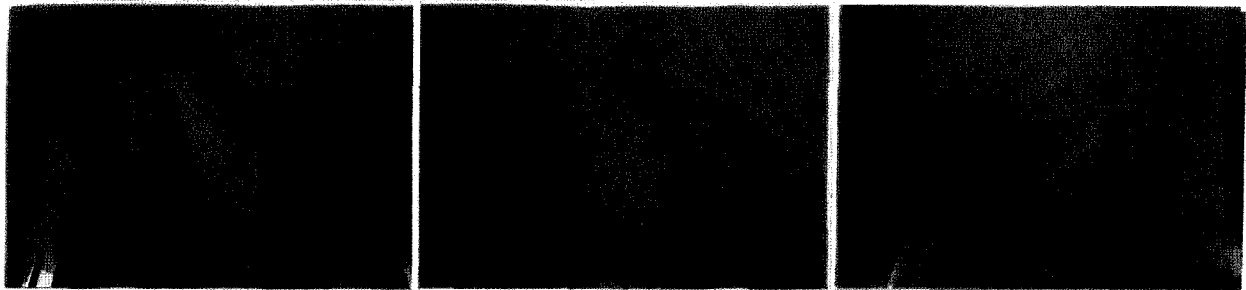
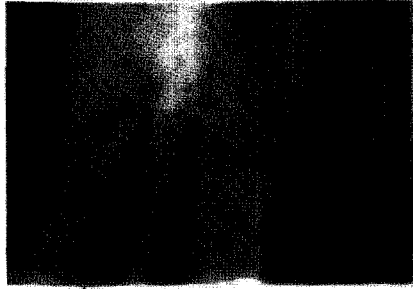


Fig. 7. 7° torque archwire with high pull J-hook headgear (7a, 7b : labial side, 7c, 7d : lingual side)

응력이 관찰되었다. 측절치와 견치 사이의 공간에서는 치조정에서부터 측절치 치근의 치근단측 1/5과 견치 치근의 치근단측 2/5 사이를 연결하는 5.0차의 강한 응력이 나타났다.

2) 설측 (그림 7-c, 7-d)

좌, 우 중절치 사이의 치조골에는 치조정에서부터 치근의 1/2까지 1.2차의 응력이 집중되었다. 중절치와 측절치의 근심 치근면을 따라서 치조정에서 치근단측 1/3까지 연장되는 1.2차의 응력이 관찰되었고, 중

절치의 원심 치근면에서는 치조정에서 치관측 1/3까지 치근면을 따라서 나타나는 1.2차의 응력이 나타났다. 치근침 사이는 1.0차의 응력이 연결되고 측절치에서는 상방으로 향하는 1.0차의 응력이 나타났다.

5. 14° torque archwire without high pull J-hook headgear

1) 순측 (그림 8-a, 8-b)

좌, 우 중절치 사이의 치조골 부위는 치조정에서부



Fig. 8. 14° torque archwire without high pull J-hook headgear (8a, 8b : labial side, 8c, 8d : lingual side)



Fig. 9. 14° torque archwire with high pull J-hook headgear (9a, 9b : labial side, 9c, 9d : lingual side)



터 치근단까지 응력이 나타났다. 중절치 치근의 근심과 측절치 치근의 근원심에서 치근면을 따라 치조정에서 치근단까지 2.0차의 응력이 연결되었다. 측절치와 견치 사이의 치조골에서는 6.0차의 강한 응력이 치조정에서부터 측절치 치근의 치근단측 1/5에서 견치 치근의 치근단측 3/5까지 연결되는 응력이 관찰되었다.

2) 설측 (그림 8-c, 8-d)

좌, 우 중절치 사이 치조골 부위는 치조정에서부터 치근단측의 1/3까지 1.2차의 응력이 나타났다. 중절치

와 측절치의 근심 치근면을 따라 1.0차의 응력이 치조정에서 치근단까지 연결되었고 측절치의 치근 원심면에서 치근 1/2에서 치근단까지 arc형으로 분포하는 1.0차의 응력이 관찰되었다.

6. 14° torque archwire with high pull J-hook headgear

1) 순측 (그림 9-a, 9-b)

중절치 사이 치조골 부위는 치조정에서 치근 1/2까지 응력이 분포되었다. headgear를 사용하지 않은 경

우보다 강하게 2.0차의 응력이 중절치와 측절치 치근의 근심에서 치근면을 따라서 치조정에서 치근단까지 연결되었다. 중절치와 측절치의 치근침 사이는 다른 토오크의 경우보다 더 상방으로 연장되는 1.0차의 응력이 연결되었다. 측절치와 견치 사이 치조골에서는 6.0차의 응력이 치조정에서부터 측절치 치근의 치근단측 1/4에서 견치 치근의 치근단측 2/3까지 관찰되었다.

2) 설측 (그림 9-c, 9-d)

좌, 우 중절치 사이 치조골 부위는 치조정에서부터 치근 1/2까지 1.2차의 응력이 분포하였다. 중절치와 측절치 치근의 근심에서 치조정에서 치근의 1/2까지 1.0차의 응력이 치근면을 따라서 나타났고, 측절치의 원심 치근면에서는 치관측 1/3에서 치근단까지 arc형으로 연결되는 1.0차의 응력이 관찰되었다. 중절치와 측절치의 치근침 사이에는 1.0차의 응력이 상방으로 연결되었다.

IV. 총괄 및 고안

일단 발치를 하여 총생을 해소시키고 난 후 남은 공간을 폐쇄하기 위해서는 부정교합의 특성에 따라서 전치를 원심 이동하거나, 구치를 근심 이동하거나 혹은 이 둘을 혼용하게 되는데, 어떤 경우에도 견인 역학(retraction mechanics)의 기본 원리가 적용된다⁴¹⁾. 양악 전치를 가지는 환자는 치료 결과의 안정성과 심미적인 이유로 상악 전치를 최대한 후방으로 견인하는 것이 요구된다. 후방 견인의 양과 전치의 치축 경사는 치료 결과에 결정적인 역할을 담당하므로 올바른 치축 경사를 제공하기 위한 치근의 이동이 중요하고⁴²⁾, 전치의 후방 이동량이 클수록 전치 치근의 토오크 조절양도 커지게 된다²⁶⁾.

치아의 이동은 브라켓에 가해지는 힘의 절대적인 크기보다 모멘트 대 힘의 비율에 의해 일어난다¹⁰⁾. 따라서, 상악 전치의 치축 경사를 바람직하게 유지하면서 후방 견인을 도모하기 위해서는 폐쇄용 루프에 의해 제공되는 설측 방향의 힘을 상쇄하기 위한 상쇄-모멘트를 견인 호선 상에 부여하여야 한다.

견인 역학은 선재를 따라 치아를 이동하는 마찰을 허용하는 방법(frictional system)과 선재에 공간 폐쇄용 루프를 형성하여 마찰없이 치아를 이동하는 방법(nonfrictional system)으로 구분된다. 마찰없이 치

아를 이동하는 방법에서는 루프의 형태를 다양화하거나 게이블 굴곡(gable bend)을 부여하고, 모멘트 대 힘의 비율에 대한 다양한 시도를 하여 조절된 치아 이동을 도모하고 있다. 그러나 치열을 전후방으로 연결시켜주는 연속 호선이 없기 때문에 견인 루프를 이용할 때의 미세한 오류가 치아 이동에 있어서 큰 오차를 유발할 수 있고 교합면과 악궁 형태의 조절이 어렵게 되는 단점이 있다^{22,41)}. 마찰을 허용하는 방법에서는 선재와 브라켓의 상호작용으로 모멘트와 마찰력이 발생하므로 치아 이동에 유용한 힘의 크기가 감소하게 된다. 이 방법을 이용하면, 치아가 견인될수록 그 힘은 감소하고 모멘트 대 힘의 비율은 증가하므로 적절한 치아 이동을 얻기 위해서는 치근 이동이 일어날 수 있는 시간이 필요하다. 단순히 힘의 크기만을 크게 유지한다면 모멘트 대 힘의 비율은 낮아져서 경사 이동을 유발하고, 치근막의 과도한 초차양 변성이 진행되어 직접 골 흡수(direct bone resorption)를 방해한다. 전치부 치조골에서는 초차양 변성이 발생되고 구치부에서는 직접 골 흡수가 진행되면 고정이 상실된다. 따라서, 마찰을 허용하는 방법이 마찰없이 치아를 이동하는 방법에 비해 안전하지만 사용할 때에는 마찰력의 감소와 모멘트에 대해 고려해야 한다. Hilgers와 Farzin-Nia²⁵⁾는 매우 단단한 호선을 사용하지 않으면 폐쇄용 루프는 수직피개교합의 증가, 전치부 토오크의 상실 및 치열궁의 reverse bowing 등을 가져온다고 하였다. 이와 관련하여 민 등¹⁾은 다양한 폐쇄용 루프에서의 변위 양상에 관하여 연구한 바, 수직피개가 깊어지는 것을 방지하기 위해서는 전치부의 합입을 유도하는 기전을 삽입하는 것이 바람직하며 토오크의 증가에 따라 모멘트가 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 마찰을 허용하는 방법에서 이용하고 있는 공간 폐쇄용 호선의 기본적인 형태인 bull 루프에서 전치부의 토오크 조절과 headgear의 적용으로 나타나는 모멘트의 변화 효과를 알아보고자 하였기에, 브라켓은 .022" 슬롯의 표준 에지와이스 스테인레스 스틸 브라켓을 이용하였고 호선은 전치부의 토오크 조절에 보다 유리한 .020" × .025" 스테인레스 스틸 선재를 이용하였다.

Kusy와 Camilla Tulloch²⁷⁾에 의하면, 교정적 치아 이동은 회전 중심과 모멘트 대 힘의 비율의 개념을 통해서 분석되는데, 치체 이동은 저항 중심으로부터 회전 중심이 무한대에 위치한다. 순수한 회전은 회전 중심이 저항 중심과 일치될 때 발생하고 그 외 모든 경우의 회전 중심은 치체 이동과 회전의 복합적인 양

상으로 일어나며, 일반적으로 경사 이동 또는 토오킹(torquing)에 해당한다고 하였다³⁸⁾. Burstone⁸⁾, Burstone과 Koenig⁹⁾, Tanne 등⁴³⁾은 상악 중절치의 저항 중심은 변연골에서부터 30-40% 거리에 위치하고, 단근치의 저항 중심은 치아 장축 상에서 치관측 1/3과 1/2 사이에 위치한다고 하였다. 그러므로, 상악 전치는 모멘트 대 힘의 비율이 9.5mm이어야 치근의 이동이 가능하고, 8.4mm에서 치체 이동이, 6.5mm에서 치근단을 중심으로 조절된 경사 이동이 가능하다. 모멘트 대 힘의 비율이 5-6mm보다 작은 힘 체계는 비조절성 경사 이동을 제공하며, 부분적으로 전치의 심한 정출과 같은 원하지 않는 부작용도 발생시킨다. Faulkner 등¹⁸⁾에 의하면, 힘이 단순히 브라켓 위치에 가해지면 이때의 회전 중심은 저항 중심과 거의 일치하거나 약간 치근단측으로 위치하여 조절되지 못한 경사 이동을 유발하고, 치근의 이동을 조절하기 위하여는 회전 중심을 보다 치근단측으로 이동시킬 수 있는 모멘트를 제공해야 한다고 하였다. 또한 수직 루프는 치아 이동에 충분한 힘은 쉽게 제공하지만 모멘트 대 힘의 비율이 낮기 때문에 결과적인 치아 이동은 조절되지 못한 경사 이동이다. 모멘트가 적절히 부여되지 못하면 치근 이동이 조절되지 못하여 치근막의 초자양 변성이 증가하고³⁹⁾ 이를 보상하기 위해서 상쇄-모멘트가 필요하다²²⁾. 저항 중심과 브라켓 사이에는 약 8-10mm의 거리가 있기 때문에 치체 이동을 위하여는 브라켓에서의 모멘트 대 힘의 비율은 8에서 10mm이어야만 한다.

치관에 부착된 브라켓의 위치에 따라 힘이 제공되는 위치가 결정되고 이는 저항 중심과의 거리에 영향을 미치게 된다. 또한 치근의 형태나 치조골에 의해 지지받고 있는 치근의 길이 또한 저항 중심의 위치에 영향을 주어 모멘트 대 힘의 비율에도 변화를 주게 되고 결과적으로 나타나는 치아 이동 형태도 달라지게 된다^{8,19)}. 그러므로, 상악 전치를 한 단위로 후방 견인할 때에는 하나의 치아에 힘을 적용할 때와는 저항 중심의 위치가 달라질 것이다. Vanden Bulcke 등⁴⁵⁾은 전치부의 다수의 치아들을 한 단위로 이동할 때의 저항 중심에 대해 레이저 반사법을 이용하여 연구한 결과, 2개나 4개의 치아를 한 단위로 이동할 경우에는 모멘트 대 힘의 비율에 크게 차이가 없고 그 저항 중심은 중절치 사이 치조정에서 치근단측으로 5mm 정도에 위치하지만, 6전치를 한 단위로 견인하는 경우에는 치체 이동을 위해서는 보다 높은 값의 모멘트 대 힘의 비율이 필요하고 그 저항 중심도 보다 치근

단측으로 치우쳐져 있다고 하였다. 또한 치아군의 저항 중심을 지나도록 힘을 적용하면 그 분절(segment)의 회전 이동은 일어나지 않고 적용한 힘의 절대적인 크기는 저항 중심의 위치와는 관련이 거의 없다고 하였다.

치근 주위에서 나타나는 응력은 일정 부위의 치근면을 따라서 나타나는 것과 arc를 이루면서 나타나는 두가지 양상으로 관찰되었다. 치근면을 따라서 비교적 일정한 폭을 가지면서 나타나는 응력은 신장력에 의한 것으로 해석되며, arc형으로 나타나는 응력은 압축력에 의한 것으로 해석된다. 응력 양상의 변화는 회전 중심을 기준으로 나타나는 것으로 간주된다. 0° 토오크의 호선에서는 순측에서 관찰하였을 때 수직 루프를 활성화시킨 힘과 치관 설측 토오크의 설측 방향 힘에 의해 치근의 치관측 1/3을 회전 중심으로 하는 조절되지 못한 경사 이동이 되어 상방에서 치근이 순측을 향하는 압축력이 발생한 것으로 생각된다. 0° 토오크의 폐쇄용 호선에 의해서 발생하는 모멘트를 보상하기 위한 상쇄-모멘트로 치근 설측 토오크를 증가시킨 7° 토오크에서는, 0°에서 관찰할 수 없었던 중절치와 측절치의 근심 치근면을 따라서 신장력이라 생각되는 응력이 치조정에서부터 치근 1/2까지 순측에서 나타났고 압축력으로 생각되는 응력이 치근 1/2에서 치근단까지 관찰되므로 치근의 1/2 부위가 회전 중심으로 제공되는 것 같다. 7° 치근 설측 토오크는 치아에 수동적 토오크이지만 브라켓과 선재 사이에 간극(clearance)을 가지고 있고 폐쇄용 호선에 의해 발생하는 설측 방향의 힘은 그대로 존재하기 때문에, 설측 방향으로 발생하는 모멘트를 완전히 상쇄할 수 없어서 회전 중심은 0°에 비해 상방으로 이동되었지만 마찬가지로 조절되지 못한 경사 이동 양상이 나타난 것으로 짐작된다. 치근 설측 토오크를 더 증가시킨 14° 토오크 호선의 순측에서는 치조정에서 치근단까지 치근면을 따라서 신장력으로 생각되는 응력이 나타났고, 설측에서는 치근면을 따라서 다소 약한 차수이지만 압축력이 관찰되어 이는 치체이동으로 짐작된다. 전반적으로 측절치 원심에서 강하게 관찰되는 응력은 Murphy 등³²⁾이 압축 유틸리티 호선에서 관찰한 결과와 일치하였다.

구외력은 교정적인 효과와 악정형력을 제공하기 위해 사용되고, 그 효과는 적용하는 힘과 저항 중심 사이의 상대적인 벡터와 힘을 적용한 시간과 양에 따라 달라진다. 상악골의 저항 중심은 제 1 대구치의 치근단 상방 6 내지 8mm에 위치하고²⁸⁾, 힘이 여기를 지

나도록 구외력을 적용한다면 성장억제의 효과를 기대할 수 있다. J-hook headgear는 간단한 장치로 원하는 이동 방향에 따라 적절한 위치에 후크를 부착시킬 수 있고 회전 중심의 위치와 힘 벡터의 관계를 관찰할 수 있는 장점이 있다. Perez 등³⁵⁾은 상악 견치를 J-hook headgear로 견인하는 것에 관하여 광탄성학적으로 연구하여 high pull 방식이 상악 견치를 치체 이동시키고 약간의 합입도 도모하며 안면구조물의 심부까지 그 응력이 전달되어 상악의 일차 봉합부, 즉 익상구개 봉합부, 관골상악 봉합부, 전두상악 봉합부에 압축 작용을 가함으로써 상악의 전하방 성장을 억제할 수 있음을 보고하였다. Jarabak과 Fizzell²⁶⁾은 중절치 중심보다 순측에서 적용시킨 high pull 방식이 상악 전치부에 치근 설측 경사와 합입을 제공하고 이때의 효과적인 견인력은 편측당 195gm 정도, 양측으로 390gm을 이용함을 설명하였다. 합입을 도모하는 힘을 치아의 저항 중심에 적용하게 된다면 치아의 순설측 회전은 일어나지 않고 합입만이 일어나게 되지만 대부분은 저항 중심보다 순측을 지나게 되므로 치관에는 순측으로, 치근에는 설측으로 이동하는 힘을 제공하게 된다. Farrant¹⁷⁾은 하악 견치의 견인에는 straight pull 방식을 이용하고 상악 견치의 견인에는 high pull 방식을 사용하는 것이 견치의 저항 중심을 지나도록 힘을 제공하여 치체 이동을 도모한다고 하였다. Poulton³⁶⁾은 headgear의 견인 방향은 상악의 수직적, 수평적 이동을 조정하는 데 매우 중요하고, headgear 후크를 중절치와 측절치 사이에서 치은측으로 위치시켜 headgear의 힘을 적용하는 위치를 전치의 저항 중심과 보다 많이 근접시키면 호선의 토오크 조절을 증가시켜서 치체 이동을 가능하게 한다고 하였다. Hickham^{23,24)}은 여러가지 경우에 있어서 J-hook headgear의 힘 벡터에 대해 연구한 바, II급 부정교합 환자에서 전치의 후방 견인과 상악 성장 억제에 high pull 방식을 이용하였고, Merrifield와 Cross²⁹⁾는 Kloehn형의 facebow는 구치부 정출을 야기하여 하악을 후하방으로 회전시키고 후퇴시키는 경향이 있으므로 하악 열성장 환자의 고정 보강을 위해서는 바람직하지 않다고 하여 J-hook headgear를 전치부 호선에 직접 적용하였다. Merrifield^{30,31)}는 high pull 방식으로 적용한 J-hook headgear의 전치부 합입 효과와 치근 설측 경사의 효과를 Tweed 역학에 도입하여 치료 과정의 전 단계에서 힘의 방향을 조절하는 유용한 도구로 사용하고 있다. 본 연구에서도 각 토오크마다 headgear의 사용으로 응력 분포의 변화를 관

찰할 수 있었다. 0°와 7° 토오크에서는 경사 이동 양상이 관찰되었는데, 0°토오크의 호선에서는 high pull J-hook headgear의 사용에 의해 회전 중심의 위치가 치근의 치관측 1/3에서 1/2 정도로 이동되었고 순측에서 관찰되는 압축력도 감소되었다. 7°토오크에서는 치근 1/2 정도에서 치근단측 1/3로 회전 중심이 이동되었다. 14° 토오크의 호선의 순측에서는 headgear를 사용하지 않은 경우보다 강하게 신장력으로 보이는 응력이 치근단까지 나타났고 설측에서는 압축력으로 보이는 응력이 관찰되었다. 이는 치체 이동에서 설측 치근 이동으로 그 이동 양상이 변화된 것으로 짐작된다. 그러므로 3가지 모두에서 headgear의 사용으로 치근 설측 모멘트가 제공됨을 알 수 있었고, 치근점에서 상방으로 연결되는 응력도 관찰되어 headgear의 합입의 효과를 알 수 있었다. 측절치와 견치 사이를 연결하는 응력은 headgear를 사용하지 않은 경우보다 더 치근단측으로 이동되어 나타났다.

이상의 결과에서 토오크의 증가가 모멘트를 증가시킨다는 민 등¹⁾이 유한요소법으로 분석한 결과와 일치됨을 알 수 있었고, high pull J-hook headgear를 전치의 전방에서 적용하면 치근의 설측 토오크를 증가시켜주는 효과와 합입 효과를 제공함을 알 수 있었다.

치아 이동을 위해 기계적인 장치로 교정력을 제공하여 바람직한 치료 결과를 얻으려면 교정장치가 치아와 치아 주위 조직에 미치는 생물학적 이해와 발생시키는 응력에 관한 역학적인 분석이 필요하게 된다. 발생된 응력을 분석하는 방법은 유한요소법과 레이저 holography를 이용한 연구, 장력계측법, 광탄성법 등이 있다. 유한요소법은 형상이 복잡하고 균일하지 않은 구조물에 발생하는 응력을 분석하는 경우에 매우 유용하게 쓰이며, 전반적인 영역에 걸친 응력의 분포와 측정이 가능하고 변위 전후의 상태를 동시에 비교하여 볼 수가 있는 반면 치아 및 주위 구조물에 대한 수학적 모형으로부터 이론적으로 계산한 것이기에 그에 따른 한계점들을 가진다^{1,4,44)}. 레이저 holography를 이용한 연구는 단색광이면서 같은 방향의 고주파수 광원의 간섭 현상을 이용하는 것으로써 미세한 움직임도 알 수 있는 장점이 있지만 실험 조건이 까다롭고 오로지 물체 표면에서만만의 응력을 분석할 수 있는 한계가 있다^{2,8,37,45)}. 장력계측법은 생체나 모형의 어느 곳이나 장력계측기를 부착하면 부착된 표면의 한 부위에 대한 응력과 변위를 동시에 가장 정확히 계측할 수 있으나 장치가 부착되지 않은 부위의

응력 분석은 불가능할 뿐만 아니라 장치의 크기 때문에 미세한 부분에는 부착이 곤란하고 연속적인 세부 계측과 내부 응력 측정이 불가능하며 실험이 복잡하다^{20,32,33,34}. 광탄성법은 제작된 광탄성 모형에 하중을 가했을 때 물체의 전 표면에서의 응력 분포를 계측할 수 있고 모형 전체에 퍼지는 응력을 관찰하여 응력이 집중되는 부분의 위치 및 양을 결정하기가 쉽다. 그러나 가정에 의해 균일하게 만들어진 모형을 이용해야 하고 절대적인 응력의 크기보다는 인접 부위와의 상대적인 응력 차이만이 관찰되고, 모형제작 및 실험조건이 쉽지 않은 단점이 있다^{3,6,11,12,15,35}. 광탄성법의 종류에는 투과식과 반사식이 있는데 투과식은 분석하고자 하는 물체와 똑같은 모형을 광탄성 재료를 사용하여 제작하고 하중을 가하여 무늬를 관찰하는 것으로 비교적 간단한 모형에 이용되고 높은 차수의 무늬를 얻을 수 있으며 반사식은 실제 물체에 광탄성 재료를 입힌 다음 반사된 빛을 이용하여 분석하는 방법으로 비교적 복잡한 모형에 이용되며 물체 표면의 변형율을 측정하는데 유리하다. 악외력을 이용한 효과를 연구한 많은 경우에는 전체 두개골을 광탄성 물질로 덧입혀서 반사식으로 연구하였지만^{12,15,35}, 교정력에 의해 치아 주위 조직에 나타나는 현상을 관찰하는 많은 경우에는 모형을 2차원적인 평판으로 제작하여 연구하였다^{3,11}. 2차원적인 평판의 모형에서는 응력의 관찰이 보다 쉽고 도식적이지만 실제의 악궁이 가지는 3차원적 요소를 무시하였기에 본 연구에서는 3차원적인 악궁의 형태를 유지하면서 응력 관찰에 보다 접근이 용이하도록 상악만 단순화시킨 입체 모형을 제작하였다. 이는 응력 분포를 관찰하기는 비교적 용이하였지만 순설측에서만 관찰이 가능하였기에 보다 정확한 응력의 분포도를 설명하기 위해서는 근원심으로의 응력도 관찰하여 3차원적 해석을 시도한다면 효과적일 것으로 생각되었다.

V. 결 론

상악 치열에서 제 1 소구치를 발거하고 견치를 발치 공간으로 후방 이동시킨 상태에서, 호선을 이용하여 전치를 후방 견인할 때 J-hook headgear를 상악 전치부에 직접 적용하여 나타나는 모멘트의 변화 양상을 살펴보기 위해 전치부에 각각 다른 토크를 부여한 호선에 J-hook headgear를 적용하여 나타나는 응력 분포의 변화를 광탄성법으로 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 0° 토크에서는 중절치와 측절치의 치근 주위로 치관측 1/3부터 치근단까지 arc형의 응력이 분포하였다. High pull J-hookheadgear의 사용으로 치근 주위의 arc형의 응력은 치근 1/2에서부터 치근단까지 분포하였고 치조정에서 치근 1/2까지 치근면을 따라서 응력이 나타났고 중절치와 측절치의 치근점 사이를 연결하는 응력도 관찰되었다.
2. 7° 토크에서 중절치의 근심과 측절치의 근원심에서 치근면을 따라서 치조정에서부터 치근단측 1/2까지 응력이 나타났고 치근 주위로 치근 1/2에서 치근단까지 연결되는 arc형의 응력이 나타났다. High pull J-hookheadgear의 사용으로 치근면을 따라서 분포하는 응력이 보다 치근단측으로 연장되어 치근점 사이를 연결하는 응력이 나타났다.
3. 14° 토크에서는 순측에서 중절치의 근심과 측절치의 근원심 치근면을 따라서 응력이 치조정에서 치근단까지 연장되어 나타났고 설측에서는 중절치와 측절치의 근심 치근면을 따라서 치조정에서 치근단까지 응력이 나타났다. J-hook headgear의 사용으로 순측에서는 보다 강한 응력이 나타났고 설측에서는 치근면을 따라서 나타나는 응력은 치조정에서 치근의 1/2까지 분포하였고 측절치의 원심에서는 치관측 1/3에서 치근단까지 arc형의 응력이 관찰되었다. 치근점 사이에 연결되는 응력도 관찰되었다.

참 고 문 헌

1. 민상홍, 윤영주, 김광원. Space closing loop에 의해 야기되는 상악 절치부 이동양상에 관한 역학적 연구. 대치교정지 1995 : 25 : 143-52.
2. 박기호, 손병화. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 함입 시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구. 대치교정지 1993 : 23 : 619-631.
3. 염정배, 이병태. Multiloop Edgewise Arch Wire가 야기하는 응력분포에 관한 광탄성학적 연구. 대치교정지 1990 : 20 : 357-72.
4. 천옥진, 김태우, 서정훈. 상악 4절치의 후방견인시 나타나는 현상에 관한 유한요소법적 분석. 대치교정지 1995 : 25 : 525-41.
5. Ash MM. Wheeler's dental anatomy, physiology and occlusion. 6th ed. Philadelphia : WB Saunders, 1984 : 118-275.
6. Brodsky JF, Caputo AA, Furstman LL. Root tipping : A photoelastic-histopathologic correlation. Am J Orthod 1975 : 67 : 1-10.
7. Buchner HJ. Closing spaces in orthodontic cases. Angle Orthod 1953 : 23 : 158-65.
8. Burstone CJ, Pryputinewiz RJ. Holographic determination of

- center of rotation produced by orthodontic forces. *Am J Orthod* 1980 : 77 : 396-409.
9. Burstone CJ, Koenig HA. Creative wire bending. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988 : 93 : 59-67.
 10. Burstone CJ. Application of bioengineering to clinical orthodontics. In *Orthodontics, current principles and techniques*, 2nd ed. St. Louis : CV Mosby, 1994 : 235-367.
 11. Caputo AA, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod* 1974 : 65 : 250-59.
 12. Chaconas SJ, Caputo AA, Davis JC. The effect of orthopedic forces on the craniofacial complex utilizing cervical and headgear appliances. *Am J Orthod* 1976 : 69 : 527-39.
 13. Cole HJ. Bodily retraction of maxillary incisors in extraction cases. *Angle Orthod* 1965 : 35 : 121-25.
 14. Davidian EJ. Use of a computer model study the force distribution on the root of maxillary central incisor. *Am J Orthod* 1971 : 59 : 581-88.
 15. De Alba JA, Chaconas SJ, Caputo AA. Orthopedic effect of the extraoral chin cup appliance on the mandible. *Am J Orthod* 1976 : 69 : 29-41.
 16. Downs WB. Variation in facial relationships : Their significance in treatments and prognosis. *Am J Orthod* 1948 : 34 : 812-40.
 17. Farrant SD. An evaluation of different methods of canine retraction. *Br J Orthod* 1977 : 4 : 5-15.
 18. Faulkner MG, Lipsett AW, El-royes K, Javerstock DL. On the use of vertical loops in retraction systems. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1991 : 99 : 328-36.
 19. Gjessing P. Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine retraction spring. *Am J Orthod* 1985 : 87 : 353-62.
 20. Gjessing P. Controlled retraction of maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992 : 101 : 120-31.
 21. Glickman I, Roeber FW, Brion M, Panejjer JHN. Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces. *J Periodontol* 1970 : 41 : 30-35.
 22. Haskell BS, Spencer WA, Day M. Auxiliary springs in continuous arch treatment : Part 2. Appliance use and case reports. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990 : 98 : 488-98.
 23. Hickham JH. Directional edgewise orthodontic appliance. *J Clin Orthod* 1974 : 8 : 617-33, 679-708, 1975 : 9 : 42-55, 86-100, 143-54, 229-35, 297-304.
 24. Hickham JH. Directional forces revisited. *J Clin Orthod* 1986 : 9 : 626-37.
 25. Hilgers JJ, Farzin-Nia F. Asymmetrical "T" archwire. *J Clin Orthod* 1992 : 26 : 81-86.
 26. Jarabak JR, Fizzell JA. Technique and treatment with the light wire edgewise appliance. 2nd ed. St. Louis : CV Mosby, 1972 : 369-79.
 27. Kusy RP, Camilla Tulloch JF. Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1986 : 90 : 127-31.
 28. Marcotte MR. Biomechanics in orthodontics. BC Decker : Toronto, 1990 : 83-97.
 29. Merrifield LL, Cross JJ. Directional forces. *Am J Orthod* 1970 : 57 : 435-64.
 30. Merrifield LL. The system of directional forces. *J of the CH Tweed International Foundation* 1982 : 13-29.
 31. Merrifield LL. Edgewise sequential directional force technology. *J of the CH Tweed International Foundation* 1986 : 22-37.
 32. Murphy NC, De Alba JA, Chaconas SJ, Caputo AA. Experimental force analysis of the contraction utility arch wire. *Am J Orthod* 1982 : 82 : 411-17.
 33. Pedersen E, Andersen K, Gjessing PE. Electronic determination of centers of rotation produced by orthodontic force systems. *Eur J Orthod* 1990 : 12 : 272-80.
 34. Pedersen E, Andersen K, Melsen B. Tooth displacement analysed on human autopsy material by means of a strain gauge technique. *Eur J Orthod* 1991 : 13 : 65-74.
 35. Perez CA, De Alba JA, Caputo AA, Chaconas SJ. Canine retraction with J-hook headgear. *Am J Orthod* 1980 : 78 : 538-47.
 36. Poulton DR. A three-year survey of Class II malocclusions with and without headgear therapy. *Angle Orthod* 1964 : 34 : 181-93.
 37. Pryputiniewicz RJ, Burstone CJ, Bowley WW. Determination of arbitrary tooth displacements. *J Dent Res* 1978 : 57 : 663-74.
 38. Smith RH, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod* 1984 : 85 : 294-307.
 39. Sleichter CG. A clinical assessment of light and heavy forces in the closure of extraction spaces. *Angle Orthod* 1971 : 41 : 66-75.
 40. Standlee JP, Collard EW, Caputo AA. Dentinal defects caused by some twist drills and pins. *J Prosthet Dent* 1970 : 42 : 185-92.
 41. Stagers JA, Germane N. Clinical considerations in the use of retraction mechanics. *J Clin Orthod* 1991 : 25 : 364-39.
 42. Strang RH. Axial inclination of teeth in extraction cases. *Angle Orthod* 1957 : 27 : 11-13.
 43. Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ. Moment to force ratios and the center of rotation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988 : 94 : 426-31.
 44. Tanne K, Hiraga J, Sakuda M. Biomechanical effect of anteriorly directed extraoral forces on the craniofacial complex : a study using the finite element method. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989 : 95 : 200-07.
 45. Vanden Bulcke MM, Burstone CJ, Sachdeva RCL, Dermaut LR. Location of the centers of resistance for anterior teeth during retraction using the laser reflection technique. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1987 : 91 : 375-84.

46. Zak B. Photoelastische analyse in der orthodontischen
mechnik. Oesterr Z Stomatol 1935 : 33 : 22-37.

47. 080 series teaching polariscope user's manual. North
Carolina : Measurement Group, 1983 : 1-22.

-ABSTRACT-

A PHOTOELASTIC STUDY ON THE STRESS DISTRIBUTION OF THE UPPER ANTERIOR TEETH WHEN RETRACT WITH HIGH PULL J-HOOK HEADGEAR

You-Jin Lee, D.D.S., M.S.D., Soo-Byung Park, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry, Graduate School, Pusan National University

This study was designed to investigate the stress intensity and distribution produced by Imm activation of retraction archwire with 0°, 7°, 14° torque and application of high pull J-hook headgear during retraction of four maxillary incisors using the photoelastic stress analysis. The photoelastic model was made with a PL-3 type epoxy resin which was substituted by alveolar bone portion. Each retraction archwire was fabricated from .020" X .025" stainless steel wire which had vertical loops in 7mm height and hooks for high pull J-hook headgear between central and lateral incisors. The high pull J-hook headgear was applied 35 degree backward and upward to occlusal plane with 200gm per each side.

The findings of this study were as follows:

1. In case of 0° torque, the stress was distributed from cervical 1/3 to apex of roots of central and lateral incisors which were the forms of arc mode. When the high pull J-hook headgear was applied, the stress distributed by arc mode was presented from cervical 1/2 to apex of roots of central and lateral incisors. And the stress distributed by following the root surface was presented from alveolar crest to cervical 1/2 of roots of central and lateral incisors. The stress between species of central and lateral incisors was presented also.
2. In case of 7° torque, the stress distributed by arc mode was presented from cervical 1/2 to apex of roots of central and lateral incisors. And the stress distributed by following the root surface was presented from alveolar crest to cervical 1/2 of roots of central and lateral incisors. When the high pull J-hook headgear was applied, the stress distributed by following the root surface was presented more apically than without headgear. The stress between species of central and lateral incisors was presented also.
3. In case of 14° torque, the stress distributed by following the root surface was presented from alveolar crest to apex of roots of central and lateral incisors. When the high pull J-hook headgear was applied, the stress distributed by following the root surface was presented stronger than without headgear. The stress between species of central and lateral incisors was presented also.

KOREA. J. ORTHOD. 1997 ; 27 : 697-709

※ **Key words** : Retraction, High pull J-hook headgear, Photoelastic analysis