

Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 함입시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구

박기호¹⁾ · 손병화²⁾

I. 서 론

교정학영역에 발치치료가 확립된 이래로 치아를 이동시키는 방법에 대해 많은 관심이 모아졌고, 先學들에 의해 여러 가지 방법이 제안되어왔다.

교정치료시 원래의 치료계획에 맞게 치아를 이동시키려면—물론 성장과 발육의 영향도 고려되어야 하지만, 특히 성인교정에 있어서는—필요한 force system을 설정하고, 부작용은 최소로 하면서 이를 최대한으로 만족시킬 수 있는 appliance를 설계·사용하고, 세심한 관찰하에 원래의 예상에 맞게 진행되고 있는지 정기적인 점검을 하여 부족하거나 과도한 요소를 조절해주는 것이 필요하다. 이때 교정의가 이해하고 있어야 할 개념중의 하나가 저항중심(center of resistance)으로서, 이에 대해서는 많은 학자들에 의해 꾸준히 연구되어 오고있다.^{15,16,18)}

공간 내에 존재하는 어떤 물체를 이동시킬 때에 힘이 물체의 질량 중심을 통과하도록 가해진다면 물체의 모든 부위는 똑같은 거리만큼 움직일 것이고, 이 점을 벗어나서 힘이 가해지면 물체에는 직선상의 이동외에 회전

경향(moment)이 생긴다. 이때, 마치 물체의 질량이 그 내부의 어느 한 점에 집중되어있는 듯이 행동하는 점을 그 물체의 질량중심(center of mass)이라한다. 그러나, 치아가 치조골에 묻혀있는 것과 같이 어떤 물체가 다른 물체에 插入·制限되어 있는 경우에는 물체의 이동양상을 예측할 때에 질량중심을 적용할 수 없다. 이 경우 질량중심 대신 필요한 것이 바로 저항중심이다.

치아의 이동양상에 대해서는 크게 2가지, 즉 translation과 curvilinear movement로 대별할 수 있고, 후자는 다시 3가지로, uncontrolled tipping, controlled tipping, root movement 등으로 나뉘는데, 이는 모두 force가 저항중심으로부터 얼마나 떨어져서 작용하는가, 또는 moment/force ratio가 얼마나 되는가에 의해 결정된다. 1개의 치아에 대한 저항중심의 위치에 대해서는 여러가지 표현이 있는데, 특히 단근치에 대해서는 “치근침에서 치조정사이의 중간점이다³³⁾”, “치근침에서부터 치조정(alveolar crest)까지 거리를 6등분했을 때 치근점에서부터 3번째 分節의 치아 장축선상에 존재한다.”, 또는 “치아 장축선상에서 볼 때 치근침에서 치조정까지 거리의 약 66% 정도 치근침에서부터 떨어진 지점에 위치한다⁴¹⁾”고 하고, 다근치의 경우는 furcation area에서 1~2mm 치근침쪽으로 위치한다.^{33,37)} 고

접수일 : 1993년 9월 1일

1) : 연세대학교 치과대학 교정학교실, 전공의

2) : 연세대학교 치과대학 교정학교실, 교수

밝혀져있다. 저항중심은 치아내에 고정된 것이 아니라 치아의 형태, 크기, 치조골상태, 이웃한 치아등에 의해 변화한다²⁴⁾.

많은 case를 치료하다보면 치아 하나를 움직이는 경우도 있지만 2개, 4개 또는 6개의 치아를 동시에 이동시키는 경우가 많다. 1개의 악궁을 전치부 segment와 구치부 segment로 나누어 6전치를 동시에 움직이는 En-masse retraction을 시행할 경우도 그 대표적인一例이고^{5,6,17)}, intrusion의 경우 상악에서는 주로 견치의 단독 intrusion후 4전치 segment를 동시에 intrusion하거나¹⁹⁾, 필요에 따라서는 좌우중절치 2개만을 intrusion하기도 한다. 이렇듯 segment로 치아를 이동시키는 경우가 빈번함에도 불구하고, 1개 치아의 저항중심에 대해서는 연구가 활발했으나 여러 개의 치아로 구성된 segment의 저항중심에 대해서는 그 보고가 미비하고 학자마다 주로 경험에 근거하여 서로 다른 의견을 제시하고 있다.

수직적인 저항중심에 대해서는 또 다른 고려사항이 있겠으나, 본 연구에서는 수평적인 면에 대해 주로 다루고자 한다.

치아 이동에 관한 연구 방법으로는 탄성적인 치아모형을 제작하여 이에 고정장치를 장착하고 그 영향 및 변화를 관찰하는 방법²⁴⁾, 생체내에서 직접 연구하는 방법^{35,40)}, 두개골을 이용하는 방법¹³⁾ 등이 있었고, 연구부위는 대구치가 발거하기 어렵고 요소분석을 위한 수식을 얻기에는 상당히 복잡한 관계로 주로 전치부를 대상으로 행해져왔다.

1개의 치아 또는 segment의 저항중심을 파악하기 위한 기존의 방법으로는 김⁴⁵⁾, Masura²⁵⁾ 등의 유한요소분석법(FEM; finite element method), Caputo⁹⁾, Baeten²⁾의 광탄성분석법(photoelastic method), strain gauge를 이용하는 방법, Bulcke⁴⁾의 laser조사법(laser reflection), Pryputniewicz와 Burstone^{17,38)}, Dermaut와 Bulcke³⁾등과 이⁴⁸⁾의 hologram interferometry와 laser조사법을 조합한 방법, Nikolai³¹⁾나 Burstone^{25,26,27)} 등의 수학적 모형을 이용한 방법등이 있었다. 이들은 나름대로의

장단점이 있겠으나, 분석방법자체에 대한 전문적인 이해를 요구하며, 복잡한 수식과 난이도가 높은 기구의 조작이 필요하거나, 실험장치 설치에 경제적인 문제점이 있었음이 사실이다.

본 연구에서는 좀 더 쉽게 이해할 수 있고 비교적 간단한 방법으로 연구할 수 있게 하기 위해 laser반사법을 채택하였다. 이는 산란이 매우 적고 직진성이 우수한 단색광 laser를 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다. 이 방법으로 상악전치부를 중절치와 측절치의 4전치군과 중절치, 측절치, 견치의 6전치군으로 나누어 실험하여, 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

가. 연구재료

1. 상악 6전치가 비교적 보존이 잘되어 있고 배열이 대칭적인 human dry skull
2. 상악 6전치와 4전치를 피개하는 metal splint(2개)
3. optic mirror, half mirror, simple mirror
4. laser광원 - NEC He-Ne gas laser중력 100 mW, 파장 0.6328 μ m
5. 25g, 50g 분동
6. vibration-free table
7. screen
8. vernier caliper
9. permlastic[®](Poly-sulfide light body type III, Kerr社 제품)
10. modelling compound, 치과용 경석고, 012" S-S ligature wire

나. 연구방법

두개골의 6전치를 치조골에서 조심하여 발거하고 치조공과 치근부위를 식염수로 깨끗이 세척한 다음 인공치주조직 대체물로 Permlastic[®](Polysulfide light body type III,

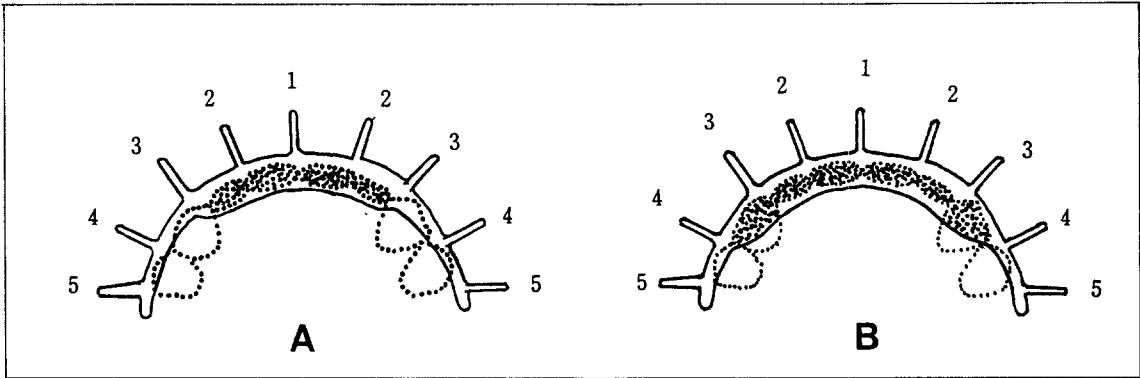


그림. 1. metal splint형태 : A-4전치용, B-6전치용

Kerr社제품. modulus of elasticity= 0.72×10^{-3} GPa. of) periodontal membrane의 modulus of elasticity= 1.18×10^{-3} GPa.)을 고르게 치근 부위에 도포한 다음 치조공에 식립한다. skull의 lateral cephalogram을 촬영하여 tracing한 뒤 상악중절치의 SN plane, palatal plane과 occlusal plane에 대한 각도를 측정한다.

metal splint 1개와 상악 중절치, 측절치, 견치의 6전치를 피개하는 metal splint 1개를 waxing-up하되, 각 치아 사이의 중점에 그림 1과 같이 분동을 걸 수 있는 bar를 위치시킨다.

구조는 Cr-Co alloy를 사용하고, splint무게의 영향을 줄이기 위해 구조된 splint에서 불필요한 부위를 모두 삭제한다. splint를 치아에 polycarboxylate cement를 부착하고 skull을 vibration-free table에 동요가 없도록 치과용 경석고, ligature wire와 modelling compound를 사용하여 단단히 고정한다. intrusive force (분동의 무게)가 가해졌을 때, 전치부 segment에만 힘이 영향을 미쳐야하고 skull전체의 동요는 없어야한다. 이를 확보하기 위해 skull의 전두부에 mirror를 접착하고, -이를 mirror A라고 부르기로 한다.- 여기에 laser광을 照射하여 screen상에 映寫시켜 분동을 걸기 전과 걸고 난 다음에 영사된 laser 광점의 위치가 변화하는지를 관찰한다. 만약 광점이 이동했다면 skull의 고정상태를 교정

하여 완전한 不動상태로 만든다. splint상에 mirror를 교합면에 수직이 되도록 접착하고 이를 mirror B라 부르기로 한다. laser광원에서 나오는 beam을 half mirror를 통과하게 하여 laser광의 반은 反射시켜 mirror A에 投射하고 반은 통과된 뒤 반사경을 이용하여 mirror B에 投射시킨다음 반사되어 나오는 laser광을 mirror로부터 3m 떨어진 screen상에 映寫시켜 생기는 광점을 광점 B라 한다. mirror A에서 반사되어 나온 광점 A는 매 실험마다 skull전체의 동요유무를 검사하는데 이용하고, mirror B에서 반사되어 나온 광점 B는 segment의 이동양상을 검사하는데 이용한다. 분동을 걸지 않은 상태-force가 0인 상태-에서 screen상에 映寫된 광점의 위치를 각각 기준점 0_a , 0_b 라고 부르기도 한다. 광점의 이동양상을 쉽게 파악하기 위해 기준점에 대해 상방으로 이동한 경우를(+), 하방으로 이동한 경우를(-)로 정한다.

intrusive force가 상악 전치부 segment의 저항중심보다 전방에서 가해졌다면 segment의 전방부는 하방으로 떨어지고(두개관이 하방으로, 두개저가 상방으로 가도록 역전시켜 고정하였으므로) 후방부는 상방으로 올라가는 moment가 생기게 된다. segment에 부착된 거울도 이때 생기는 moment와 같은 방향으로 경사지게 되므로 laser광점 B는 기준점 0_b 보다 하방으로 이동하여 映寫되어 측

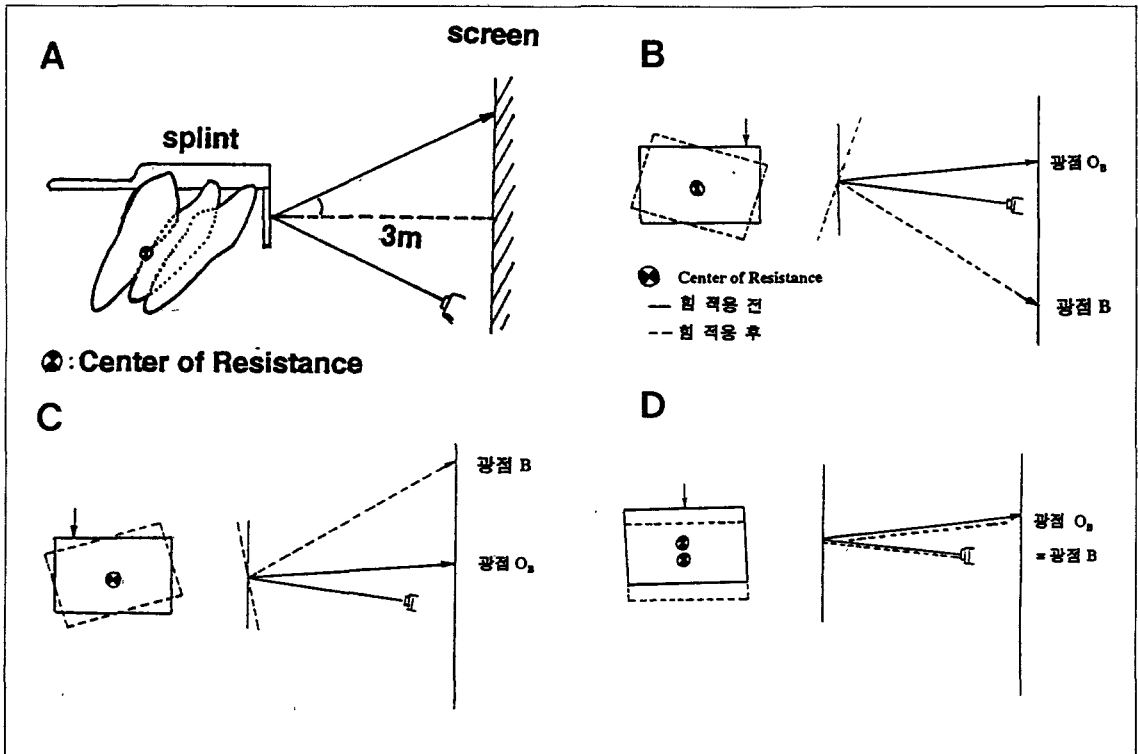


그림. 2. 상악 전치부 segment의 저항중심과 힘의 적용점과의 위치관계에 따른 segment의 반응양상
 A-intrusive force를 가하기전의 상태. 광점의 이동거리는 segment가 회전한 각도 θ 에 대해 tangent함수 관계가 있다
 B-저항중심의 전방에 intrusive force를 가한 경우
 C-저항중심의 후방에 intrusive force를 가한 경우
 D-저항중심상에 intrusive force를 가한 경우
 힘 적용전·후의 laser광의 입·반사경로를 편의상 분리하여 표시했으나 실제로는 일치한다

정치는 (-)값을 나타낼 것이다(그림 2-B). 저항중심보다 후방에서 intrusive force가 가해졌을 경우는 이와 반대로 후방부가 하방으로 내려가고 전방부가 상방으로 올라가게 되며, laser광점 B는 기준점 O_B 보다 상방으로 이동하여 映寫되어 (+)값을 나타낼 것이다(그림2-C). intrusive force가 저항중심상을 통과할 경우에는 전술한 moment는 발생하지 않으므로 거울은 경사짐이 없이 하방으로만 이동할 것이다. laser광점은 거울이 기울어지지 않으면 거울의 수직적 위치에 관계없이 어떠한 이동도 생기지 않을 것이다(그림 2-D). 이상의 과정에서 intrusive force,

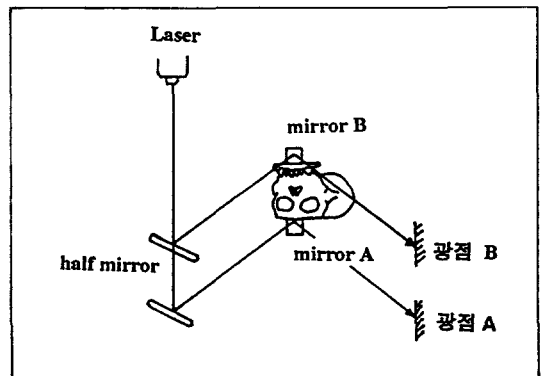


그림. 3. 실험을 위한 전체 설계도

측 분동의 무게는 편측당 25g, 50g(양측합 50g, 100g)의 2가지 경우로 설정하고 각각의 경우는 4전치와 6전치의 splint에 적용한다. 전체적인 실험장비의 배치는 그림 3과 같다.

측정횟수는 1시간 간격으로 2회 시행하고 5일 후 3회 측정하되, 1회 측정시 4번 반복 측정한 후 splint를 skull에서 제거하고 다음번 측정시 다시 cementation한다. 얻은 측정치는 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney test를 하여 광점이 최소로 움직인 힘의 적용점이 어디인지를 찾아낸다. 이 지점이 해당 segment의 수평적 저항중심이 된다.

III. 연구성적

상악 6전치의 장경을 측정한 결과 표 1과 같은 수치를 얻었는데, Ash²⁸⁾, Ingle²⁹⁾이 제시한 치아의 평균적 장경에 거의 일치하였다.

측모두부방사선 사진을 계측한 결과, 표 2와 같은 측정치를 얻었다.

교합면에 대한 각도는 상악전치의 순면측에서 측정하였다.

6전치와 4전치를 피개하는 splint에 50g과 100g의 힘을 각각 가하여 표 3와 같은 결과를 얻었다.

이를 통계학적으로 분석하기 위해 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney test로 검정하였다. 그 분석결과는 상악 6전치 segment의 경우는 4번지점에, 상악 4전치부 segment의 3번지점에 저항중심이 위치함을 신뢰할 수 있었다(표 4 p<0.01).

IV. 총괄 및 고찰

저항중심에 대해 선학들의 연구로는 Davidian³⁰⁾이 computer model을 사용하여 상악 전치부의 치아이동을 연구하였고, Nikolai는 상악 견치를 분등변사변형으로 세분한 2차원 모형으로 분석하여 치아이동상태를 연구하였다³¹⁾.

Burstone은 두개골과 holography를 이용,

표 1. 전치부 segment내의 각 치아의 장경 (단위 : mm)

| Tooth | Total length | Root length |
|-----------|--------------|-------------|
| 상악 우측 견치 | 25.2 | 14.7 |
| 상악 우측 측절치 | 21.9 | 11.8 |
| 상악 우측 중절치 | 23.4 | 12.3 |
| 상악 좌측 중절치 | 23.3 | 12.3 |
| 상악 좌측 측절치 | 21.9 | 11.7 |
| 상악 좌측 견치 | 25.3 | 14.8 |

표 2. 측모 두부 방사선 사진 계측치

| 항 목 | 측 정 치 |
|---------------------|-------|
| ⊥ to SN plane | 105° |
| ⊥ to palatal plane | 115° |
| ⊥ to occlusal plane | 125° |

하악 제 1대구치의 저항중심을 구하였고⁶⁾, Dermaut는 laser speckle interferometry를 사용하여 상악 제 1대구치의 저항중심을 찾고자하였다³⁾. 그러나, 이들은 수평적인 저항중심의 위치에 대해서는 적절한 정보를 주고 있지 않으며, segment의 그것에 대해서는 더욱 부족한 실정이다.

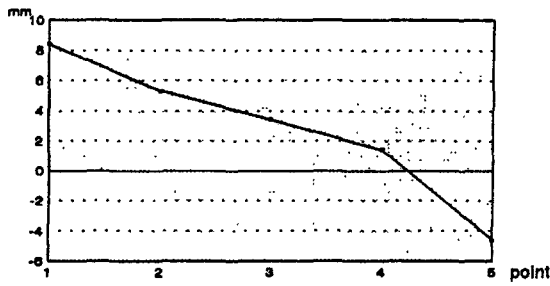
Segment의 저항중심은 두가지 평면, 즉 수직면과 수평면에서 파악할 수 있다. 수평적 저항중심의 임상적 중요성은 다음 2가지를 들 수 있다.

첫째, 전치부 segment의 intrusion시 intrusive force를 어떤 위치에 가해주느냐에 따라 intrusion양상이 달라진다. 가령, 저항중심의 전방에 intrusive force를 준다면 segment는 labioversion되면서 intrusion될 것이고, 후방에서 가하면 linguoversion 되면서 intrusion될 것이며, 저항중심상에 가하면 segment 전체가 bodily intrusion될 것이다. 어떤 방법을 선택할 것이냐는 전치의 기준평면-상악전치는 Sella-Nasion plane, 하악전치는 mandibular plane, 또는 공통 교합면-에 대한 각도에 따라 초기 치료 계획시 수립될 것이다. Class II division 1 case에서는 상악 전치부가

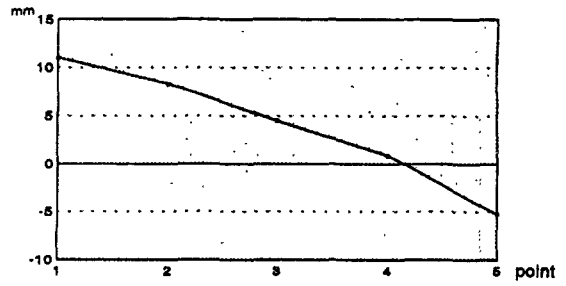
표 3. 50g과 100g의 intrusive force를 주었을 때 각 적용점에서의 광점의 이동량

(단위 : mm, 평균 ± 표준편차)

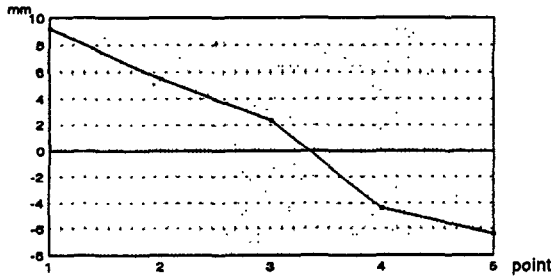
| 실험군 | 측정 횟수 | Intrusive force 부위 | 50g | | | | | 100g | | | | |
|------|-------|--------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 전치 | 1 | | 8.4 ± .11 | 5.1 ± .17 | 3.6 ± .15 | 1.2 ± .21 | -4.7 ± .14 | 10.8 ± .24 | 8.3 ± .07 | 4.5 ± .04 | 0.8 ± .14 | -5.3 ± .25 |
| | 2 | | 8.4 ± .70 | 5.4 ± .18 | 3.4 ± .37 | 1.5 ± .25 | -4.6 ± .24 | 10.8 ± .21 | 8.4 ± .23 | 4.5 ± .04 | 1.0 ± .24 | -5.3 ± .19 |
| | 3 | | 8.6 ± .15 | 5.3 ± .23 | 3.6 ± .08 | 1.5 ± .21 | -4.8 ± .05 | 11.6 ± .11 | 8.5 ± .10 | 4.5 ± .07 | 0.8 ± .08 | -5.5 ± .14 |
| | 4 | | 8.3 ± .18 | 5.1 ± .30 | 3.3 ± .11 | 1.4 ± .08 | -4.5 ± .25 | 11.0 ± .10 | 8.1 ± .67 | 4.4 ± .15 | 0.9 ± .15 | -5.4 ± .54 |
| | 5 | | 9.4 ± .23 | 5.3 ± .21 | 3.4 ± .17 | 1.4 ± .15 | -4.6 ± .12 | 11.0 ± .38 | 8.2 ± .47 | 4.3 ± .20 | 0.9 ± .20 | -5.3 ± .13 |
| 4 전치 | 1 | | 9.0 ± .30 | 5.5 ± .12 | 2.3 ± .18 | -4.5 ± .19 | -6.4 ± .26 | 10.8 ± .16 | 8.3 ± .004 | 4.5 ± 0.07 | -5.8 ± .19 | -7.3 ± .07 |
| | 2 | | 9.2 ± .10 | 5.5 ± .21 | 2.3 ± .19 | -4.1 ± .30 | -6.5 ± .25 | 10.3 ± .23 | 8.3 ± .03 | 4.5 ± .11 | -5.9 ± .12 | -7.4 ± .09 |
| | 3 | | 9.2 ± .08 | 5.5 ± .16 | 2.4 ± .19 | -4.3 ± .04 | -6.5 ± .11 | 11.3 ± .06 | 8.7 ± .09 | 4.4 ± .22 | -5.8 ± .13 | -7.3 ± .08 |
| | 4 | | 9.3 ± .08 | 5.4 ± .19 | 2.3 ± .11 | -4.6 ± .15 | -6.4 ± .19 | 10.1 ± .10 | 8.0 ± .07 | 4.5 ± .14 | -5.8 ± .10 | -7.4 ± .31 |
| | 5 | | 9.4 ± .19 | 5.4 ± .24 | 2.3 ± .67 | -4.4 ± .50 | -6.4 ± .23 | 10.8 ± .21 | 8.6 ± .22 | 4.5 ± .09 | -5.0 ± .21 | -7.4 ± .19 |



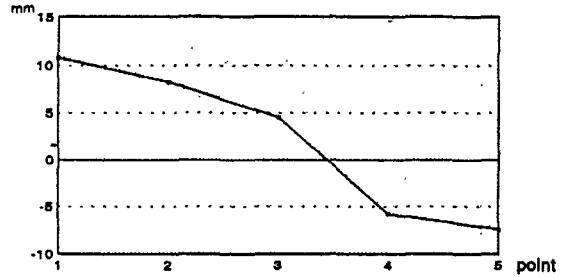
A



B



C



D

그림 4. 각 힘의 적용점과 광점이동량의 관계를 나타낸 그래프

A : 50g, 6전치, B : 50g, 6전치, C : 100g, 6전치, D : 100g, 4전치

표 4. Kruskal-Wallis법과 Mann-Whitney법에 의한 통계적 분석

| Class | 적용점 | Med. | Min. | Max. | K-W | M-W |
|-------|-----|------|------|------|-----|-----|
| A | 1 | 8.4 | 8.3 | 9.4 | + | |
| | 2 | 5.3 | 5.1 | 5.4 | | |
| | 3 | 3.4 | 3.3 | 3.5 | | |
| | 4 | 1.4 | 1.2 | 1.5 | | |
| | 5 | -4.6 | -4.5 | -4.8 | | |
| B | 1 | 9.2 | 9.0 | 9.4 | + | |
| | 2 | 5.5 | 5.4 | 5.5 | | |
| | 3 | 2.3 | 2.3 | 2.4 | | |
| | 4 | -4.4 | -4.1 | -4.6 | | |
| | 5 | -6.4 | -6.4 | -6.5 | | |
| C | 1 | 11.0 | 10.8 | 11.6 | + | |
| | 2 | 8.3 | 8.1 | 8.5 | | |
| | 3 | 4.5 | 4.3 | 4.5 | | |
| | 4 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | | |
| | 5 | -5.3 | -5.3 | -5.5 | | |
| D | 1 | 10.8 | 10.1 | 11.3 | + | |
| | 2 | 8.3 | 8.0 | 8.7 | | |
| | 3 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | | |
| | 4 | -5.8 | -5.0 | -5.9 | | |
| | 5 | -7.4 | -7.3 | -7.4 | | |

Med.=median A : 50g 6전치부
 Min.=minimum B : 50g 4전치부
 Max.=maximum C : 100g 6전치부
 K-W=Kruskal-Wallis test D : 100g 4전치부
 M-W=Mann-Whitney test

1, 2, 3, 4, 5 : 힘의 적용점의 위치로 연구방법에서 설명한 바와 동일.
 + : 가장 광점의 변위량이 작은 실험군 (by Kruskal-Wallis test, p=0.0001)
 * : statistically significant. p<0.01 (by Mann-Whitney test)

labioversion되어있는 경우가 많으므로 intrusion으로 인한 더 이상의 labioversion은 상태를 악화시킨다. Class II division 2 case에서는

상악전치의 overeruption 및 linguoversion이 흔히 관찰된다. 이 경우에는 반대의 상황을 예상할 수 있다. 임상적으로 3-piece intrusion

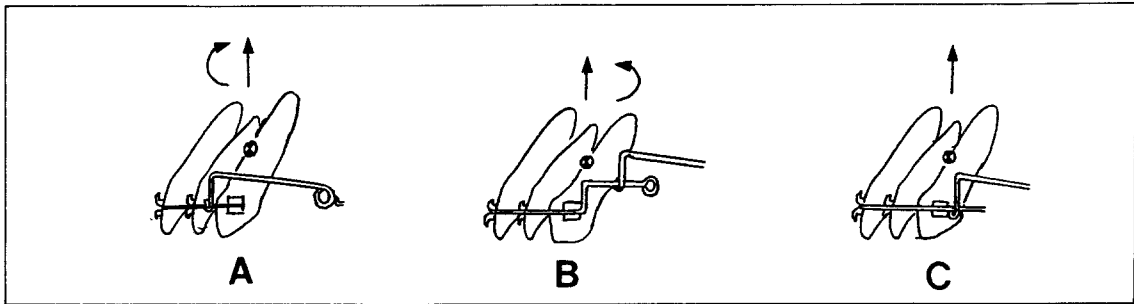


그림 5. Intrusion spring의 부착부위에 따른 moment의 발생 양상

- A-Intrusive spring의 부착점이 저항중심 전방에 위치되어 intrusive force와 함께 clockwise moment가 발생함을 볼 수 있다.
- B-Intrusion spring의 부착점이 저항중심 후방에 위치되어 intrusive force와 함께 counter-clockwise moment가 발생함을 볼 수 있다.
- C-Intrusion spring의 부착점이 저항중심 상에 위치되어 intrusive force만이 발생함을 볼 수 있다.

spring을 이용하여 전치부의 함입을 도모할 경우 그림 5와 같은 상황을 예견할 수 있다.

둘째, Segmented Arch Technique으로 T-loop을 사용하여 전치부 segment를 후방견인할 경우이다. 발치공간을 폐쇄하는데는 대략 3가지의 경우가 있는데, 편의상 전치부가 주로 후방견인되고 구치부 anchor loss는 최소인 type A, 전치부의 후방이동량과 구치부의 전방이동량이 같은 Type B, 전치부의 후방이동량이 최소이면서 구치부의 전방이동량이 최대인 type C로 나눌 수 있다. 이때 type A와 C는 각각 더 많이 움직일 쪽에 가깝게 loop이 위치해야하는 비대칭적인 loop 형태를 갖게 된다. 게다가 anchor preparation을 해야할 쪽에는 더 큰 moment를 발휘하도록 wire에 더 많은 양의 bend를 부가한다. 이 때문에 전치부와 구치부에 작용하는 moment의 양이 달라지게 되고 전치부 segment와 구치부 segment에 서로 반대방향으로의 vertical force가 발생하게 된다.

T-loop의 mesial stop이 수평적으로 전치부 segment의 어느 위치에 부착되느냐에 따라 이 vertical force가 가해지는 지점이 달라지게 되어, 전체적인 force system과는 독립적으로 전치부 segment를 labioversion 또는 linguo-version시키는 moment가 작용하게 된다.(참

고로 type B에서는 vertical force가 발생하지 않는다.) 가령, type A의 경우, 다시 말해서 전치부 segment에 intrusive force가 가해질 때 T-loop의 mesial stop이 상악 전치부 segment의 저항중심보다 전방에 부착하면 전치부를 labioversion시키는 moment가 발생하고, 후방에 부착하면 linguoversion시키는 moment가 발생하며, 저항중심상에 가하면 이러한 moment의 효과는 발생하지 않는다.(전치부 segment가 bodily하게 retraction되느냐의 여부는 이런 moment에 의해서가 아니라 T-loop자체에 부가되는 전치부 moment/force ratio에 의한다.)

이상에서 살펴본 바와같이 전치부 segment의 저항중심을 파악하고서 치료술식을 전개하는 것과 아닌 경우에는 치료 계획에 가까운 치아이동을 얻을 수 있는지, 또 치료 과정중 monitoring시 무엇이 더 필요한지를 알고 조절해 줄 수 있는지에 큰 차이가 있다.

전술한 두 가지중 이번 연구에서는 intrusion mechanics를 이용하였다. Intrusion에도 여러가지 형태가 있는데, 다음과 같이 3가지로 나눌 수 있다. 하악의 상황으로 설명하면, 첫째, 치아가 전방으로 tipping이 되어 절단면의 수평적위치가 변하면서 intrusion되는 효과를 얻는 경우이다(그림 6-A). 둘째, 치아의 장축

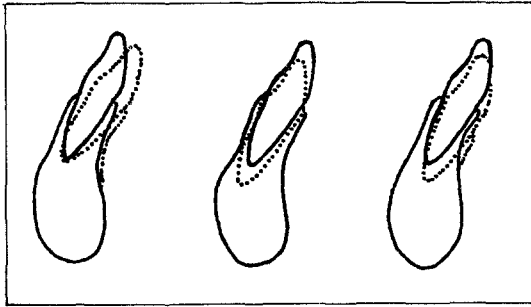


그림 6. intrusion의 형태
 A-Intrusion by tipping
 B-True intrusion along the long axis of the tooth
 C-Intrusion without change of arch length

을 따라 치아가 이동하는 진정한 의미의 intrusion으로 저항중심은 후하방으로 이동한다(그림 6-B). 셋째, 치아가 하방으로 이동하되 arch length는 변하지 않는 경우이다(그림 6-C).

Lefkowitz²²⁾가 실험적으로 成犬의 제 3소구치에 intrusion을 시도한 이후 현재까지 intrusion을 위한 여러 가지의 mechanics가 소개되어 왔다.

가철성 장치를 이용한 anterior biteblock, Tweed의 J hook과 reverse curve of Spee^{27,45)}, Ricketts의 Utility arch³¹⁾, Hocoar등의 Begg technique에서 사용되는 gable bend와 elastic의 併用⁴⁹⁾이 있었다. 대부분이 저항중심 전방에서 force를 가하여 전치의 lavioersion을 일으킨다던지, bracket내에 걸찰되어 불필요한 torque을 발생하는 등의 부작용을 일으키는 단점이 있었다. 이의 개선을 위해 Burstone과 Nanda²⁹⁾등의 base arch intrusion은 전치부 segment에 intrusion arch를 bracket내에 걸찰하지 않고 bracket하방에 단일 점점촉(single point contact)을 시켜 불필요한 torque의 발생을 막고자 했고, Burstone의 3-piece intrusion arch⁷⁾는 전치부 segment wire를 후방으로 연장시켜 전치부 segment의 저항중심상에 intrusive force를 가할 수 있게 하였다.

segment의 저항중심에 대한 여러 선학들의

연구를 살펴보면 Melsen²¹⁾등은 상악 6전치부에 대해 중절치와 측절치의 공통적인 저항중심과 견치의 저항중심사이의 어느 한 점이라고 하였으며, Dermaut⁴⁴⁾은 4전치의 경우 측절치와 견치사이에, 6전치의 경우 견치 후방에 있다고 하였으나 이들의 연구는 Begg bracket을 사용하여 치아 개개의 움직임을 허용한 단점이 있다. Marcotte은 상악 6전치의 경우 측절치와 견치사이라고 하였고, Burstone²⁹⁾은 수평적 중심이 상악 4전치 segment의 경우 견치와 제 1소구치사이에, 상악 6전치 segment는 제 1소구치 후방에 위치한다고 제시하였다. 이들중 대부분이 저항중심의 위치를 수직·수평적으로 나누어 고려하기보다는 치료전후의 cephalogram중첩등에 의한 경험적 근거에 의거하여 객관적인 증명없이 제시하였다.

연구방법에 대해서는 전술한 바가 있거니와, 최근이면서 비교적 객관적인 방법으로 laser와 holography를 이용한 방법을 들 수 있다. laser란 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(유도방출에 의한 광증폭)의 머리글자를 딴 것으로, laser beam은 可干涉性(coherence), 단색성(monochromaticity), 지향성(directionality), 그리고 휘도(brightness)의 특성이 있어 대단히 밝으면서 beam을 가늘게 또는 굵게 임의대로 폭경을 조절할 수 있고, 시간의 경과나 공간의 변화에 구애받지 않는 예측성이 있으므로 치아이동과 같은 미세한 이동의 관찰에 유용하다^{21,45)}. Mainman²³⁾이 1960년대 중반 laser의 실질적인 응용에 대해 발표하고 Prokhorov²⁴⁾와 Townes⁴³⁾가 gas laser를 개발한 이래로 치아에 직접적인 접촉이 없이도 치아의 이동에 대해서 연구가 가능하게 되었다. laser reflection technique은 1974년 Ryden, Bjekhagen과 Soder⁴⁰⁾이 최초로 치아의 동요도와 이동을 연구하는데 도입한 이후 Burstone, Pryputniewicz, Dermaut의 Bulcke등이 사용해 여러 가지 연구를 한 바 있다. 이들의 실험에서는 측정을 정확히 하기 위해 현미경을 사용하여 치아와

laser광점이 영사되는 screen간의 거리를 30 cm 정도로 하고 0.1mm 단위로 측정하였으나, 본 연구에서는 측정하기가 훨씬 쉬우면서도 정확성이 떨어지지 않는 결과를 얻기 위해 laser 광원이 반사되어 나오는 거리를 3m 정도로 상당히 연장하여 기준점으로부터의 변위량을 크게 하였다. 변위량과 반사거리를 $\tan\theta$ 의(θ 는 segment가 intrusion force에 의해 회전된 각도) 함수관계에 있다(그림 2-A). 변위량이 크면 현미경을 사용하지 않고도 vernier caliper에 의해서 충분히 정확하게 이동양상을 파악할 수 있다.

또한, 이전의 연구에서는 치아 사이의 교정력 적용점에서 힘을 가했을 때의 변위(displacement)량을 측정하고, 이를 X-Y축(가령, X축에는 변위량을, Y축에는 힘을 가하는 지점을 표시한다.)을 가진 좌표평면에 각 측정치를 표시하고 이 점들을 연결하여 X값이 0인 Y축상의 점(변위량이 0인 점)을 해당 segment의 저항중심이라 간주하였다. 이러한 Y축의 直前과 直後方に 위치하는 두 점을 연결하는 방법은 직관적으로는 알 수 있으나 linear correlation analysis을 하여 회귀방정식을 구한 것이 아니므로 두 점간의 구간에서 어떠한 양상으로 측정치가 연결될지는 확신할 수 없고 객관적인 근거가 되기 어렵다.

본 연구에서는 좀 더 객관적으로 접근하기 위해 통계학적인 검증을 하였다. 이 때에는 광점의 이동방향이 상방인지 하방인지에 관계없이 이동량을 절대값으로 계산하여 이동량이 최소인 지점인 segment의 저항중심이 위치하는 곳으로 간주하고 Kruskal-Wallis test로 검사하였다. 상악 6전치군에서는 50g, 100g에서 모두 4번의 힘적용점에서 최소의 변위량을 보였다($p < 0.01$). 4번 위치와 주위의 3, 5번지점과의 유의차를 다시 Mann-Whitney test로 검증했을 때에 유의차가 있음을 신뢰할 수 있었다($p < 0.01$). 그러므로, 상악 6전치의 저항중심은 4번 지점에 근사하게 위치한다. 이 때 고려해야 할 것이 광점이동의 방향으로,

4번 지점에서의 이동방향은(+), 5번지점에서의 이동방향은(2)이므로 4번지점, 다시 말해서 견치와 제 1소구치간의 치간부중에서도 좀 더 제 1소구치에 가깝게 위치한다고 볼 수 있다. 상악 4전치의 경우도 3번지점과 주위의 2, 4번 지점과의 유의차를 검증한 결과 99% 수준에서 유의차가 있음을 신뢰할 수 있었고, 광점의 이동방향을 고려해보면 측절치와 견치 사이의 치간부에서도 좀 더 견치에 가깝게 위치한다.

Intrusive force가 50g, 100g일 때 모두 4전치나 6전치에 저항중심의 위치는 Force의 크기에 따라 영향을 받지 않았다.

사용된 skull의 1 to SN plane angle이 105° , 1 to palatal plane angle이 115° , 1 to occlusal plane은 125° 였다. 특정 segment의 저항중심은 일정한 위치에 존재한다. 다시 말해서 segment가 labioversion 혹은 linguoversion되던 실질적인 저항중심은 현저히 변하지 않는다. 그러나, 교정의가 force를 가하는 힘의 적용점(point of force application)은 저항중심에서 어느 정도 떨어진 치관의 bracket이므로 상악 전치부 segment의 회전에 따라 저항중심의 직하방에 몇번째 bracket이 오게될지는 달라질 수 있다(그림 7).

그러므로, 여기에 사용된 skull보다 상악전치의 각도가 더 큰 경우라면 저항중심은 보다 후방 또는 후방의 치간사이 위치로, 각도가 더 작은 경우라면 보다 전방또는 전방의 치간사이 위치로 갈 것이다.

이상의 고려사항은 초기 force system에 관한 것으로, 힘이 가해진 후 어느 정도 시간이 경과하면 치아간, 또는 segment간의 위치관계(geometry)가 달라지므로 경과 관찰을 해가면서 조절을 해야할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 human dry skull상에서 상악 4전치군과 6전치군의 수평적 저항중심을 laser반사법을 이용하여 실험적으로 파악하고

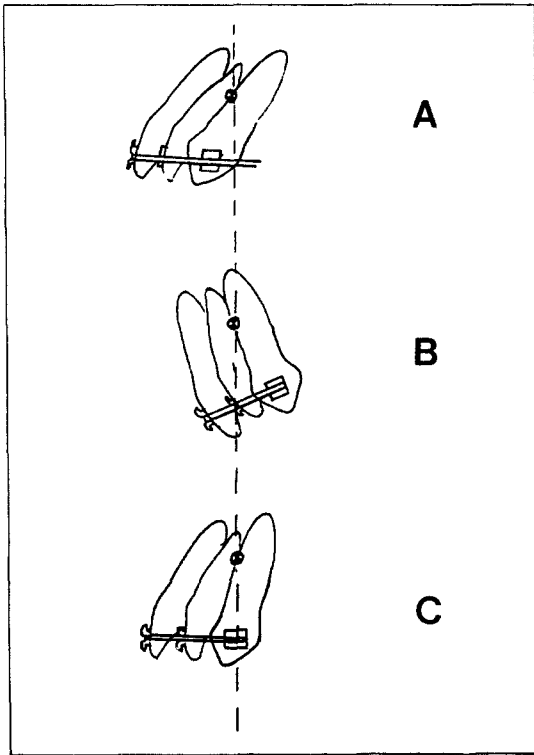


그림. 7. Segment내 치아의 경사도에 따라 치관부위에서의 저항중심의 수평적 위치는 다르게 표현될 수 있다.
 A-labioversion된 경우 3, 4번 사이에 위치함을 볼 수 있다.
 B-linguoversion된 경우 1, 2번 사이에 위치함을 볼 수 있다
 C-견치치관상에 위치함을 볼 수 있다.

자 하였다. intrusive force를 상악 4전치와 6전치부를 피개하는 splint에 각각 가하여 여기에 입사 및 반사되어 나오는 laser광점의 변화를 측정하여 이들의 이동양상을 관찰하고 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상악 4전치 segment의 수평적 저항중심은 측절치와 견치사이의 치간부를 잇는 선상에 위치하였다.

2. 상악 6전치 segment의 수평적 저항중심은 좌우 견치와 제 1소구치사이의 치간부를 잇는 선상에 위치하였다.

REFERENCES

1. Ash, M. M. : Dental anatomy, physiology, and occlusion, W. B. Saunders Co., Philadelphia, 6th edition, p. 13, 1984.
2. Baeten, M., and et al. : Canine retraction : A photoelastic study, Am. J. Orthod., 67 : 11-23, 1975.
3. Bulcke, M. M., and et al. : The center of resistance of anterior teeth during intrusion using laser reflection technique and holographic interferometry, Am. J. Orthod., 90 : 3, 1986.
4. _____ : Location of the centers of resistance for anterior teeth during retraction using the laser reflection technique, Am. J. Orthod., 91 : 375-384, 1987.
5. Burstone, C. J. : Mechanics of the segmented arch technique, Angle Orthod., 36 : 99-120, 1966.
6. _____ : Application of bioengineering to clinical orthodontics, Graber, T. M.(editor) : in Current orthodontic concepts and techniques, ed. 2 : 230-258, W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1975.
7. _____ : Deep overbite correction by intrusion, Am. J. Orthod., 72 : 1-22, 1977.
8. _____ : The segmented arch approach to space closure, Am. J. Orthod., 82 : 361-378, 1982.
9. Caputo, A. A., and et al. : Photoelastic visualization of orthodontic force during canine retraction, Am. J. Orthod., 55 : 353-369, 1969.
10. Christiansen, R. L., and Burstone, C. J. : Centers of rotation within the periodontal space, Am. J. Orthod., 65 : 353-369, 1969.
11. Davidian, E. J. : Use of a computer model to study the force distribution on the root of maxillary central incisor, Am. J. Orthod., 59 : 581-588, 1971.
12. Dellinger, E. L. : A histologic and cephalometric investigation of premolar intrusion in the Macaca speciosa monkey, Am. J. Orthod., 53 : 325-355, 1967.
13. Dermaut, L., and Beerden, L. : The effect of Class II elastic force on a dry skull measured by holographic interferometry, Am. J. Orthod., 79 : 296-304, 1981.
14. Dermaut, L., and Bulcke, M. M. : Evaluation of intrusive mechanics on a dry macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry, Am. J. Orthod., 89 : 251-263, 1986.
15. Dermaut, L., Kleutghen, J., and Clerk, H. : Experimental determination of the center of resistance of the upper first molar in a macerated, dry human skull submitted to horizontal headgear traction, Am. J. Orthod., 90 : 29-36, 1986.
16. Haack, D., and Weinstein, S. : Geometry and mechanics

- as related to tooth movement studied by means of two-dimensional model, *J. Am. Dent. Assoc.*, 66 : 156-164, 1963.
17. Hanley, K. J., and Burstone, C. J. : *Modern Edgewise Mechanics : Segmented Arch Technique*, 1st edition : Ormco, USA, 1985.
 18. Hocevar, R. A. : Understanding, planning, and managing tooth movement ; orthodontic force system theory, *Am. J. Orthod.*, 80 : 457-477, 1981.
 19. _____ : Orthodontic force system : Technical refinements for increased efficiency, *Am. J. Orthod.*, 81 : 1-11, 1982.
 20. Ingle, J. I. : *Endodontics*, 3rd edition, Lea & Febiger, Philadelphia, 119-123, 1985.
 21. Kock, W. E. : *Lasers and Holography*, 1st edition : Doubleday and Company, Inc., New York, 1966.
 22. Lefkowitz, W., and Waugh, L. M. : Experimental depression of teeth, *Am. J. Orthod. & oral Sur.*, 32 : 21-36, 1944.
 23. Mainman, T. H. : Optical and microwaveoptical experiments in ruby, *Phys. Rev. Lett.*, 11 : 564, 1960.
 24. Marcotte, K. : Prediction of tooth movement, *Am. J. Orthod.*, 80 : 144-149, 1981.
 25. Masura, T. : Mechanical study and initial changes during canine retraction, *J. Jpn. Orthod. Soc.*, 43 : 33-53, 1984.
 26. Melsen, B., Bulcke, M. M., and Burstone, C. J. : Vertical force considerations in differential space closure, *J. C. O.*, 24 : 45-50, 1990.
 27. Mulligan, T. F. : *Common sense mechanics*, *J. C. O.*, 13 : 18-21, 1979.
 28. Nagerl, H., and et al. : Basic biomechanical principles of tooth movement, 1st edition, *Am. J. Orthod.*, 70 : 551-558, 1976.
 29. Nanda, R. : The differential diagnosis and treatment of excessive overbite, *Dental Clinics of North America*, 25 : 69-83, 1981.
 30. Nikolai, R. J. : On optimum orthodontic force theory as applied to canine retraction, *Am. J. Orthod.*, 68 : 290-302, 1975.
 31. _____ : Centers of rotation for combined vertical and transverse tooth movements, *Am. J. Orthod.*, 70 : 551-558, 1976.
 32. Pedersen, K., Andersen, K., and Gjessing, P. E. : Electro-
nic determination of centers of rotation produced by orthodontic force systems, *European J. of Orthod.*, 12 : 272-280, 1990.
 33. Proffit, W. R. : *Contemporary Orthodontics*, 1st edition : 256-257, The C. V. Mosby Company, St. Louis, 1986.
 34. Prokhorov, A. M. : Molekular generaturen und Verstärker, *Natur.*, 7 : 24, 1958.
 35. Pryputniewicz, R. J., and et al. : Holographic measurement of tooth mobility in three dimensions, *J. Perio. Res.*, 13 : 283-294, 1978.
 36. Pryputniewicz, R. J., and Burstone, C. J. : Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces, *Am. J. Orthod.*, 77 : 396-409, 1980.
 37. _____ : Center of resistance of the human mandibular molars, *J. Dent. Res.*, 60 : 515, 1981.
 38. _____ : Holographic measurement of incisor extrusion, *Am. J. Orthod.*, 82 : 1-9, 1982.
 39. Ricketts, R. M., and et al. : *Bioprogressive therapy*, 1st edition ; Rocky Mountain, U. S. A., 1979.
 40. Ryden, H., Rjelkhangen, H., and Soder, P. : The use of laser beam for measuring tooth mobility and tooth movement : An in vivo study, *J. Periodontol.*, 45 : 283-287, 1974.
 41. Smith, R., and Burstone, C. J. : Mechanics of tooth movement, *Am. J. Orthod.*, 85 : 294-299, 1984.
 42. Thurrow, R. C. : *Edgewise Orthodontics*, 4th edition : 116-119, The C. V. Mosby Company, St. Louis, 1982.
 43. Townes, C. H. : *Infrared Masers. Advances in quantum electronics*, Columbia Univ. Press, E. Singer S., 3-12, 1S., 3-12, 1961.
 44. O'Brien, W. J. : *Dental Materials*, 1st edition ; 549-551, Quintessence Publishing Co., Chicago, 1989.
 45. 김영원, 손병화 : 견치 원심이동시의 초기변화에 관한 유한요소법적 연구, *대한치과교정학회지*, 18 : 25-53, 1988.
 46. 성경옥 : Tweed technique(IV)-directional forces(J-hook headgear), *치과교정학 전공의 학술발표 제1집*, 33-39, 대한치과교정학회, 서울, 1987.
 47. 오 명, 강민호 : 레이저 응용 : 청문각, 1987.
 48. 이수룡, 손병화 : 상악 견치의 저항 중심에 관한 laser speckle interferometry와 holographic interferometry를 이용한 실험적 연구, *연세치대논문집*, : 518-537, 1989.

—ABSTRACT—

THE CENTER OF RESISTANCE OF THE MAXILLARY ANTERIOR SEGMENT IN THE HORIZONTAL PLANE DURING INTRUSION BY USING LASER REFLECTION TECHNIQUE

Gee-ho Park, D.D.S., M.S.D., Byung-Wha Sohn, D.D.S., M.S.D., Ph.D

Department of Dental Science, College of Dentistry, Yonsei University

Tooth movement by segment is one of the means which are frequently used in daily orthodontic practice. When we retract or intrude a tooth or teeth, we should recognize the center of resistance of the certain tooth or teeth. There have been many studies about the center of resistance of a single tooth, not so much was about the tooth-segment.

At the present study the center of resistance of the maxillary anterior segment is experimentally investigated by using laser reflection technique and metal splints on the human dry skull. The variables of intrusive force magnitude are divided into two groups, 50g and 100g groups.

The results were as follows ;

1. The center of resistance of the maxillary anterior segment composed of the central and lateral incisors was at the mesial portion of canine crown at the coronal level.
2. The center of resistance of the maxillary anterior segment composed of the central and lateral incisors and canines is between the canine and the 1st premolar crowns at the coronal level.

KOREA J. ORTHOD 1993 ; 23(4) : 619-631.

Key words : Center of resistance, intrusion, laser reflection technique, biomechanics