

상악 6전치부의 후방견인시 저항중심의 수직적 위치에 관한 3차원 유한요소법적 연구

이 혜 경¹⁾ · 정 규 립²⁾

이 연구는 3차원 유한요소법을 이용하여 상악 6전치부에 피질골 절단술을 시행한 경우와 시행하지 않은 경우에서 상악 6전치부를 하나의 단위로 하여 다양한 후방견인력을 가하였을 때 상악 6전치의 초기 치아이동을 통하여 저항중심의 수직적 위치를 계측, 비교하고 저항중심의 변화양상을 관찰하며, 힘의 크기변화에 따른 저항중심의 위치변화양상을 분석하기 위하여 시행되었다.

상악 6전치와 치주인대 및 치조골의 3차원 유한요소모델을 제작한 후, 상악 6전치부에 부착된 설측장치와 이 장치가 부착된 치아군을 한 개의 견고한 연결체로 가정하였다. 유한요소모델에서 사용된 전체요소의 수는 14,584 개, 전체 절점의 수는 17,292 개였고, 힘 체계의 분석을 위해 미국 Swanson Analysis System사의 범용 유한요소 프로그램인 ANSYS(Ver. 5.5A)를 사용하였다. 저항중심은 힘이 가해질 때 치아가 평행 이동될 수 있는 힘의 적용부위라 정의하고, 설측 장치에서 연장된 Extension arm의 7개의 Level에 편측당 각각 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm의 설측 후방견인력을 가하였을 때 치아의 절단면과 치근침에서의 변위를 읽어 평행이동이 일어나는 위치를 복원법으로 계산하여 저항중심의 위치를 계측, 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상악 6전치부의 초기치아이동에서 저항중심의 수직적 위치는 Level 4와 Level 5사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 6.76 mm, 44.32% 떨어진 거리에 위치하였다.
2. 피질골 절단술 시행후, 상악 6전치부의 후방 견인시 저항중심의 수직적 위치는 Level 4와 Level 5사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 7.09 mm, 46.38% 떨어진 거리에 위치하였다.
3. 후방견인력의 크기가 커짐에 따라 치아의 변위량은 커졌으나, 피질골 절단술 시행 유무에 관계없이 후방견인력의 크기변화는 저항중심의 수직적 위치에 별다른 영향을 미치지 않았다.
4. 피질골 절단술 시행시에 저항 중심의 수직적 위치는 치근단 쪽으로 이동하였고, 그 변위량은 피질골 절단술 시행시 가 컸다.

이상의 결과로 볼 때 상악 6전치부 후방견인시 저항중심의 수직적 위치는 치경부에서 치근단 쪽으로 치근길이의 44.32% 떨어진 거리에 위치하였고, 피질골 절단술 시행시에 저항중심의 수직적 위치는 치경부에서 치근단 쪽으로 치근길이의 46.38% 떨어진 거리에 위치하여 피질골 절단술 시행하지 않은 경우보다 치근단 쪽으로 이동되었으며, 후방견인력의 크기 변화에 따라 저항 중심의 수직적 위치는 변하지 않았다.

(주요 단어 : 저항 중심, 상악 6전치부 후방견인, 3차원 유한요소법, 피질골 절단술)

¹⁾ 경희대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생.

²⁾ 경희대학교 치과대학 교정학교실, 교수.

* 본 연구는 보건복지부 지원과제 (과제번호 : HMP-00-B-20507-0184)에 의해 지원되었습니다.

교신저자 : 이혜경

서울특별시 동대문구 회기동 1

경희대학교 치과대학 / 02-6215-9890

hkdentist@hanmail.net

I. 서 론

최선의 교정치료는 최적의 교정력을 치아에 가해서 최적의 치아이동을 조절하고 예측할 수 있을 때 이루어진다. 치아의 치관 부위에 교정력이 가해졌을 때 주위조직 반응은 교정력에 의한 치아주위조직에서의 응력, 방향, 기간, 작용점의 위치등과 깊은 관계가 있다.

지금까지 교정학 분야에서 교정력에 의한 치아의 이동을 분석하기 위한 생기계적 특성을 연구하는 방법에는 유한요소법(Finite element method), 장력 계측법 (Electrical resistance strain gauge method), Laser holography법, 광탄성법(Photoelasticity method) 등이 있다. 이러한 방법들을 이용하여 상악 중절치, 상악견치등 개개치아의 저항중심과 다수의 치아를 동시에 이동시킬 때의 공통적인 저항중심에 대해 많은 연구를 해왔다.

다양한 위치에서 치아에 교정력을 가할 때 특징적인 치아이동을 이해하기 위해서는 하나 또는 둘 이상의 치아군의 저항중심의 위치를 파악하는 것이 필수불가결하다. 치아는 치조골 내에 구속되어 있는 물체이기 때문에 저항중심은 자유물체(free body)의 무게중심과는 구별되어야 한다. 자유물체에서는 무게중심에 힘이 가해질 경우 평행이동이 일어나나 치아와 같이 구속된 물체에서는 저항 중심에 힘이 가해질 때 평행이동이 일어난다. 저항중심은 단일한 힘을 물체에 가할 때 그 물체가 평행이동(translation) 될 수 있는 힘의 적용 부위를 말한다.¹⁾

치아이동은 저항중심에 대한 힘의 방향 및 힘의 작용점에 의해 결정된다. 전치부의 후방견인시 저항중심에 대한 후방견인력의 작용점의 선택이 매우 중요한데 이로 인해 치아이동양상이 결정되기 때문이다. 저항중심에 직접 후방견인력이 가해질 경우 치축의 변화없이 평행이동이 일어나지만 저항 중심을 벗어난 곳에 힘이 가해질 경우에는 전치부의 후방견인이 적정한 토크(torque)를 상실한 채로 일어날 수 있다. 따라서 원하는 형태의 치아이동을 얻기 위해서는 힘에 대한 모멘트의 비율(M/F ratio)에 대한 정확한 조절이 필요하며, 이 힘에 대한 모멘트의 비율(M/F ratio)은 치아 및 치아군에 가해지는 힘(force)이 이들의 저항중심으로부터 얼마나 떨어져 있는가를 의미하는 것이다.

치아의 저항중심에 대한 지금까지의 연구로는 특정 단일 치아에 대한 연구²⁻⁸⁾ 와 다수의 치아를 동시

에 이동시킬 때의 공통적인 저항중심에 대한 연구가 있다.⁹⁻¹⁴⁾

그러나 이들 연구는 주로 이동대상 치아의 수에 따른 저항중심의 위치변화와, 치아이동시 전치의 치조골의 소실로 인한 치조골의 높이등을 고려한 저항중심의 변화에 대한 연구들이었다. 최근 설측 교정을 포함하여 성인 교정치료에 대한 수요가 증가하고 있고 성인에서 발치 치료시 성장의 종료로 인해 제한된 치아이동량과 속도, 치근흡수, 치아의 탈회, 치주 질환 등의 부작용의 가능성이 크다. 근래 교정학분야의 기술적 진보는 이러한 성인교정의 한계를 극복하고 성인환자에서 보다 용이하고 신속한 교정치료를 위해 통상적인 교정치료와 함께 다른 방법들을 병행하게 되었다. 그 중 피질골절단술^{15,16)}(Corticotomy)은 치아이동에 장애가 되는 치아를 둘러싸고 있는 치밀골의 연속성을 차단하여 치아를 포함하는 골편의 이동을 가능하게 하여 치아와 치주조직에 가해지는 교정력을 경감시키고 빠른 치아이동을 도모하는 외과적 술식으로 약교정 수술과 통상적인 교정치료의 중간 형태라 할 수 있다.

따라서 이 연구는 3차원 유한요소법¹⁷⁾을 이용하여 상악 6전치부에 피질골 절단술(corticotomy)을 시행한 경우와 시행하지 않은 경우에서, 상악 6전치부를 하나의 단위로 하여 다양한 후방견인력을 가하였을 때 상악 6전치의 초기 치아이동을 통하여 저항중심의 수직적 위치를 계측, 비교하고 저항중심의 변화양상을 관찰하며, 힘의 크기변화에 따른 저항중심의 수직적 위치변화양상을 분석하기 위하여 시행되었다.

II. 연구재료 및 방법

1. 유한요소모델의 제작

상악 6전치와 치주인대 및 치조골의 3차원 유한요소모델을 제작하였다(Fig 1). 치아의 크기와 형태는 Wheeler¹⁸⁾의 수치를 참고로 하였으며, 정상교합을 갖는 성인의 표본조사를 통해 제작된 Dentiform(일본 Trimunt사, Model i21D-400G)을 대상으로 하여 상악 중절치, 측절치, 견치를 2차원 카메라로 같은 위치에서, 각 면을 촬영하고 촬영된 사진을 digitizing하여 3차원 공간상에 모델링하여 치아의 외곽선을 얻어내었다. 치주인대는 Coolidge¹⁹⁾의 연구를 참고로 하여 나이, 부위, 개인차를 무시하고 평균 0.25 mm두께로 균일하게 2점의 8절점 3차원 선형요소로 치아의 둘레

Table 1. Mechanical properties of each materials

Material	Young's modulus(kg/mm ²)	Poisson's ratio
Tooth	2.0×10^3	0.30
PDL	6.8×10^{-2}	0.49
Alveolar Bone	1.4×10^3	0.30
Wire	21.4×10^3	0.30
Cancellus Bone	0.7×10^2	0.30

Table 2. Crown & Root length of Maxillary six anterior teeth (mm)

	Total Length	Crown	Root
Central Incisor	24.50	9.60	14.90
Lateral Incisor	22.07	8.87	13.20
Canine	27.28	9.58	17.70

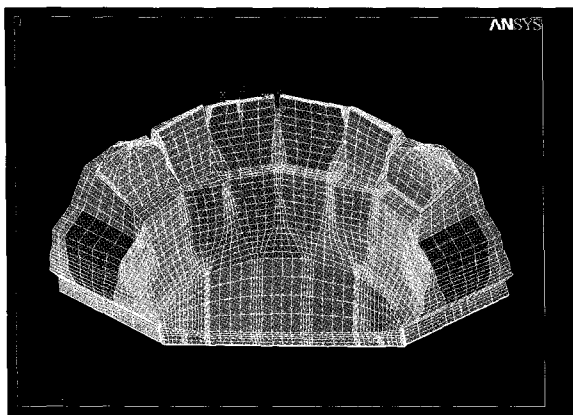


Fig. 1. 3-Dimensional Finite Element Model for Tooth-PDL-Alveolar bone system

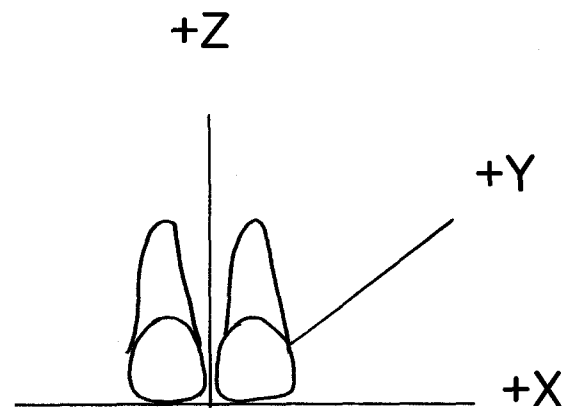


Fig. 2. Schematic representation of the 3-D Coordinate

에 연결하였다.

이 연구에서는 교정력이라는 약한 힘을 가했을 때 나타나는 치아의 이동양상을 알아보고자 하였으므로 치아와 치주인대는 등방, 등질의 선형탄성체라 가정 하였으며 구성 재료의 물성치는 Tanne, Sakuda, Buttstone²⁰⁾의 연구를 참고로 하였다(Table 1). Table 2는 이 연구에서 제작한 3차원 유한 요소모델에서의 상악 6전치 치관 및 치근 계측치이다.(Table 2)

이 연구에서 사용된 요소는 치아와 치조골에서는 6개의 자유도(degree of freedom)을 가지는 3차원 육면체요소로, 치주인대는 3차원 선형요소로, wire는 beam 요소로 분할하였다. 전체요소의 수는 14,584개, 전체 절점의 수는 17,292개였고 힘 체계(force system)의 분석을 위해 미국 Swanson Analysis System사의 범용유한요소 프로그램인 ANSYS(Ver. 5.5A)를 사용하였다.

2. 치열궁의 형태 및 치아의 배열

1) 좌표계의 설정 (Fig. 2)

양측중절치의 절단면을 이은선의 중점을 원점으로 잡고 X축을 근원심 방향, Y축을 순설측 방향, Z축을 상하방향으로 하였고, (Fig. 2에서 오른쪽 방향을 +X, 설측 방향을 +Y, 치근 방향을 +Z, XY 평면을 치아의 교합평면으로 정의하였다. 이 전체 좌표계는 각 치아의 좌표를 설정하는데 사용하였으며, 각 치아를 모델링한 후 각 치아의 좌표를 전체 좌표계의 좌표로 바꿔 전체 좌표계에 치아를 배열하였다. 해석 후의 치아의 이동과 치조골의 변형은 설정된 좌표계를 기준으로 표시하였다

2) 치열궁의 형태

치열궁의 형태는 A'Company의 Tru-arch form을 기준으로 하였으며 회귀 분석을 이용하여 치열궁 형

Table 3. Level and length of extension arm (mm)

Level	Position on Z	Length on Z	Length of extension arm
Level 1	bracket	0	0
Level 2	CEJ	4.20	4.63
Level 3	CEJ + 2.50	6.70	7.39
Level 4	CEJ + 5.00	9.20	10.15
Level 5	CEJ + 7.50	11.70	12.90
Level 6	CEJ + 10.00	14.20	15.66
Level 7	CEJ + 12.50	16.70	18.42

* CEJ(Cementoemamel junction)

태를 좌표화한 후 이에 따라 치아를 배열하였다.

3) 치축 경사도의 설정(Angulation, Inclination)

치아의 Angulation을 악골의 arch를 기준으로 법선 방향을 축으로하는 치아의 회전 즉, 각 치관의 FACC와 교합면에 대한 수직선 사이의 각도라 정의하여, 한국인 정상교합자의 평균치²¹⁾인 중절치, 측절치 견치에서 각각 1.8°, 5.4°, 6.3°를 정상적인 각도로 가정하였다. 치아의 순설축 경사도(Inclination)를 악골의 아치를 기준으로 접선을 축으로하는 치아회전 즉, 교합평면에 수직인 선과 임상치관의 FA point를 지나는 접선 사이의 각도라 정의하여, 한국인 정상교합자의 평균치²¹⁾와 Germane, Bentley, Issacson²²⁾의 연구를 참고로 하여 중절치, 측절치, 견치에서 각각 9.4°, 7.4°, -6.2°를 정상적인 각도로 가정하였다.

4) 설측장치와 extension arm의 level

상악 6전치부에 부착된 설측 장치와 이 장치가 부착된 치아군을 한 개의 견고한 연결체로 가정하였다. 이 설측 장치는 단면지름이 .036 inch(0.914 mm)인 원형 wire이고, 각 치아의 설측 중앙에 mesh로 부착된다. 이 장치의 extension arm은 양측 견치의 중앙부위에서 구개의 contour를 따라 하방으로 연장된다. Table 3의 좌측은 Z축 상에서의 위치와 Z 축상의 길이로 표시하여, 7개의 Level로 나누었다(Table 3). Level 1은 Z축 상에서 bracket위치, Level 2는 Cementoemamel junction (이하)CEJ, Level 3는 CEJ 하방 2.50 mm, Level 4는 CEJ하방 5.00 mm, Level 5는 CEJ하방 7.50 mm, Level 6은 CEJ 하방 10.00 mm, Level 7은 CEJ하방 12.50 mm이었다 Table 3.의 우측은 extension arm의 실제 길이를 표시한 것이다(Table 3).

5) 구속 조건

치아와 피질골 절단술(corticotomy)을 시행한 치조골 복합체는 후방견인력(retraction force)을 가할 경우 치주인대 및 치조골에서 변형이 일어나게 된다. 이러한 변형은 치아에서 먼 부위의 치조골에서는 거의 일어나지 않게 될 것이다.

따라서 이 연구에서는 상악 6전치에 후방견인력을 가하였으므로 양쪽 중절치, 측절치, 견치와 제1소구치 발치와를 모델링한 후 가장 영향을 적게 받는 구개골의 기저부를 구속하였고, 후방견인시의 반작용(reaction)을 무시하였고 상악 제1소구치 발치와 후방부위의 치조골을 XZ평면과 평행하게 절단하여 그 면을 구속하였다.

6) 피질골 절단술(corticotomy)

임상에서는 상악 6전치를 하나의 단위로 후방 견인하기 위해 상악 좌우측 제 1소구치를 받거한 후, 치근단 2mm 하방의 순측 전정부 피질골을 수평으로 2 mm절단하고, 발치창의 근심부에서 정중선을 가로질러 반대측 발치창 근심부까지 구개부 피질골을 절단하며, 발치창 원심부에도 동일한 골절개를 시행하여 근원심골 절단선사이의 피질골을 4mm 제거 한다.

이 연구에서는 피질골 절단술을 시행하는 부위 즉, 발치와 근원심골 절단선사이 4 mm, 순측 치근단 하방 2 mm, 상악 제1소구치부 발치부에 해면골(cancellous bone)의 물성치를 부여하였다(Table 1).

3. 조사내용 및 힘의 적용조건

이 연구에서의 상악 6전치에 대한 후방견인력의 크기는 Bulcke & Burstone^{9),10)}의 연구와 Yoshikawa²³⁾의 보고를 참고로 하여 편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm으로서 Z축상의 7개의 각 level에 힘을 가하였다. 이 연구에서 교합평면은 XY 평면이므로, 후방견인력을 각 level에 XY 평면과 평행하게 가하였다. 후방견인력을 가했을 때, 피질골 절단술을 시행한 경우와 시행하지 않은 경우의 저항중심의 수직적 위치와 치아의 변위량을 비교하였고, 힘의 크기변화에 따른 저항중심의 위치변화양상을 분석하였다.

4. 해석방법

이 연구에서 저항중심을 단일한 힘이 가해질 때 그 물체가 평행(translation)이동 될 수 있는 힘의 적용부위라 정의하고, 상악 6전치 치아의 후방견인시 치아

Table 4. Teeth displacement without/with corticotomy (retraction force 200gm) (cm)

		CI		LI		C	
		incisal	apex	incisal	apex	incisal	apex
Without Corticotomy	Level 1	1.15E-04	-3.22E-05	1.12E-04	-2.41E-05	1.17E-04	-3.64E-05
	Level 2	6.86E-05	-1.30E-05	6.71E-05	-7.94E-04	6.95E-05	-1.58E-05
	Level 3	4.85E-05	-2.98E-06	4.75E-05	6.94E-07	4.91E-05	-5.19E-06
	Level 4	2.89E-05	7.25E-06	2.86E-05	9.48E-06	2.93E-05	5.64E-06
	Cres	1.51E-05	1.51E-05	1.59E-05	1.59E-05	1.45E-05	1.45E-05
	Level 5	9.37E-06	1.85E-05	9.66E-06	1.91E-05	9.41E-06	1.75E-05
	Level 6	-8.87E-06	3.09E-05	-8.04E-06	2.98E-05	9.13E-06	3.04E-05
Level 7	-2.67E-05	4.70E-05	-2.53E-05	4.30E-05	-2.72E-05	4.69E-05	
With Corticotomy	Level 1	1.23E-04	-3.08E-05	1.20E-04	-2.21E-05	1.25E-04	-3.64E-05
	Level 2	7.54E-05	-1.18E-05	7.38E-05	-6.29E-06	7.65E-05	-1.56E-05
	Level 3	5.46E-05	-1.92E-06	5.36E-05	2.18E-06	5.54E-05	-4.94E-06
	Level 4	3.43E-05	8.22E-06	3.39E-05	1.08E-05	3.47E-05	6.04E-06
	Cres	1.68E-05	1.68E-05	1.85E-05	1.85E-05	1.67E-05	1.67E-05
	Level 5	1.39E-05	1.94E-05	1.41E-05	2.03E-05	1.39E-05	1.80E-05
	Level 6	-5.19E-06	3.17E-05	-4.43E-06	3.08E-05	-5.50E-06	3.12E-05
Level 7	-2.39E-05	4.76E-05	-2.27E-05	4.39E-05	-2.46E-05	4.79E-05	

* - means labial direction displacement

* 1.15E-04 means 1.15×10^{-4}

의 변위를 조사하기 위하여 전술한 바와 같이 편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm의 후방견인력을 Y 축 상에서 설측(+)으로 각 Level에 적용하였을 때, 각 치아의 절단면과 치근첨에서 절점을 선정하여, 이의 이동이 곧 치아의 이동으로 간주하여 평행이동이 일어나는 위치를 복원법으로 계산하였다. 표와 그림에서 CI, LI, C는 상악 중절치, 상악 측절치, 상악 견치이다.

III. 결 과

상악 6전치 후방견인시 저항중심의 수직적 위치를 계측하기 위해 설측장치의 각 Level에서 편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm의 후방견인력을 가하고 각 치아(상악 중절치, 상악 측절치, 상악 견치)를 CI, LI, C로 표시)의 절단면과 치근첨에서 이의 이동거리를 계측하였다(Table 4, 5, 6, 7). 표(Table)에서 변위

량이 (-)로 표시되는 것은 Y축에서 순측 방향이동을 의미한다. 또, 피질골 절단술을 시행한 경우 상악 6전치 후방견인시 저항중심의 수직적 위치를 계측하기 위해 설측장치의 각 Level에서 편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm의 후방견인력을 가하고 각 치아의 절단면과 치근첨에서 이의 이동거리를 계측하였다(Table 4, 5, 6, 7).

저항중심(Cres)은 절단면과 치근첨에서의 이동거리가 같아 평행이동이 일어나는 위치이므로 이를 비례식과 이원이차 방정식을 병행한 복원법으로 계산하였다. 그 결과 후방견인력에 따른 저항중심의 수직적 위치를 치근 길이를 100%로 할 때 치경부에서 치근단쪽으로 각 기준치아에 대한 비율과 치아의 평균 길이에 대한 비율을 나타내었다(Table 8).

Table 5. Teeth displacement without/with corticotomy (retraction force 250 gm) (cm)

		CI		LI		C	
		incisal	apex	incisal	apex	incisal	apex
Without Corticotomy	Level 1	1.44E-04	-4.02E-05	1.40E-04	-3.01E-05	1.46E-04	-4.55E-05
	Level 2	8.58E-05	-1.63E-05	8.39E-05	-9.93E-06	8.70E-05	-1.97E-05
	Level 3	6.06E-05	-3.73E-06	5.94E-05	8.68E-07	6.14E-05	-6.49E-06
	Level 4	3.62E-05	9.06E-06	3.58E-05	1.18E-05	3.66E-05	7.05E-06
	Cres	1.90E-05	1.90E-05	1.99E-05	1.99E-05	1.81E-05	1.81E-05
	Level 5	1.17E-05	2.31E-05	1.21E-05	2.39E-05	1.18E-05	2.18E-05
	Level 6	-1.11E-05	3.87E-05	-1.01E-05	3.73E-05	-1.14E-05	3.80E-05
With Corticotomy	Level 7	-3.33E-05	5.88E-05	-3.16E-05	5.37E-05	-3.40E-05	5.87E-05
	Level 1	1.54E-04	-3.85E-05	1.50E-04	-2.77E-05	1.56E-04	-4.55E-05
	Level 2	9.43E-05	-1.48E-05	9.23E-05	-7.86E-06	9.57E-05	-1.95E-05
	Level 3	6.83E-05	-2.40E-06	6.71E-05	2.73E-06	6.93E-05	-6.18E-06
	Level 4	4.29E-05	1.03E-05	4.24E-05	1.35E-05	4.34E-05	7.55E-06
	Cres	2.19E-05	2.19E-05	2.26E-05	2.26E-05	2.07E-05	2.07E-05
	Level 5	1.74E-05	2.43E-05	1.77E-05	2.54E-05	1.74E-05	2.25E-05
Level 6	-6.49E-06	3.97E-05	-5.54E-06	3.85E-05	-6.88E-06	3.90E-05	
Level 7	-2.99E-05	5.95E-05	-2.83E-05	5.49E-05	-3.08E-05	5.98E-05	

* - means labial direction displacement

* 1.44E-04 means 1.44×10^{-4}

Table 6. Teeth displacement without/with corticotomy (retraction force 300 gm) (cm)

		CI		LI		C	
		incisal	apex	incisal	apex	incisal	apex
Without Corticotomy	Level 1	1.73E-04	-4.83E-05	1.68E-04	-3.61E-05	1.75E-04	-5.46E-05
	Level 2	1.03E-04	-1.95E-05	1.01E-04	-1.19E-05	1.04E-04	-2.37E-05
	Level 3	7.27E-05	-4.48E-06	7.13E-05	1.04E-06	7.37E-05	-7.79E-06
	Level 4	4.34E-05	1.09E-05	4.29E-05	1.42E-05	4.40E-05	8.46E-06
	Cres	2.28E-05	2.28E-05	2.39E-05	2.39E-05	2.17E-05	2.17E-05
	Level 5	1.41E-05	2.78E-05	1.45E-05	2.87E-05	1.41E-05	2.62E-05
	Level 6	-1.33E-05	4.64E-05	-1.21E-05	4.47E-05	-1.37E-05	4.56E-05
With Corticotomy	Level 7	-4.00E-05	7.06E-05	-3.80E-05	6.45E-05	-4.08E-05	7.04E-05
	Level 1	1.85E-04	-4.62E-05	1.80E-04	-3.32E-05	1.87E-04	-5.46E-05
	Level 2	1.13E-04	-1.78E-05	1.11E-04	-9.43E-06	1.15E-04	-2.34E-05
	Level 3	8.20E-05	-2.88E-06	8.05E-05	3.27E-06	8.31E-05	-7.41E-06
	Level 4	5.15E-05	1.23E-05	5.09E-05	1.62E-05	5.21E-05	9.06E-06
	Cres	2.61E-05	2.61E-05	2.75E-05	2.75E-05	2.48E-05	2.48E-05
	Level 5	2.09E-05	2.91E-05	2.12E-05	3.05E-05	2.09E-05	2.70E-05
Level 6	-7.78E-06	4.76E-05	-6.65E-06	4.62E-05	-8.25E-06	4.68E-05	
Level 7	-3.59E-05	7.14E-05	-3.40E-05	6.58E-05	-3.69E-05	7.18E-05	

* - means labial direction displacement

* 1.73E-04 means 1.73×10^{-4}

Table 7. Teeth displacement without/with corticotomy (retraction force 350 gm) (cm)

		CI		LI		C	
		incisal	apex	incisal	apex	incisal	apex
Without Corticotomy	Level 1	2.01E-04	-5.63E-05	1.96E-04	-4.21E-05	2.04E-04	-6.37E-05
	Level 2	1.20E-04	-2.28E-05	1.17E-04	-1.39E-05	1.22E-04	-2.76E-05
	Level 3	8.48E-05	-5.22E-06	8.32E-05	1.21E-06	8.59E-05	-9.09E-06
	Level 4	5.06E-05	1.27E-05	5.01E-05	1.66E-05	5.13E-05	9.87E-06
	Cres	2.65E-05	2.65E-05	2.79E-05	2.79E-05	2.53E-05	2.53E-05
	Level 5	1.64E-05	3.24E-05	1.69E-05	3.35E-05	1.65E-05	3.05E-05
	Level 6	-1.55E-05	5.41E-05	-1.41E-05	5.22E-05	-1.60E-05	5.32E-05
With Corticotomy	Level 7	-4.67E-05	8.23E-05	-4.43E-05	7.52E-05	-4.77E-05	8.21E-05
	Level 1	2.15E-04	-5.39E-05	2.10E-04	-3.87E-05	2.18E-04	-6.37E-05
	Level 2	1.32E-04	-2.07E-05	1.29E-04	-1.10E-05	1.34E-04	-2.73E-05
	Level 3	9.56E-05	-3.36E-06	9.39E-05	3.81E-06	9.69E-05	-8.65E-06
	Level 4	6.01E-05	1.44E-05	5.93E-05	1.89E-05	6.08E-05	1.06E-05
	Cres	2.99E-05	2.99E-05	3.15E-05	3.15E-05	2.88E-05	2.88E-05
	Level 5	2.43E-05	3.39E-05	2.47E-05	3.55E-05	2.44E-05	3.15E-05
Level 6	-9.08E-06	5.55E-05	-7.75E-06	5.39E-05	-9.63E-06	5.46E-05	
Level 7	-4.19E-05	8.32E-05	-3.96E-05	7.68E-05	-4.30E-05	8.37E-05	

* - means labial direction displacement

* 2.01E-04 means 2.01×10^{-4}

Table 8. Center of resistance without/with corticotomy

			200 gm	250 gm	300 gm	350 gm
Without Corticotomy	CI	Cres	6.76 mm	6.76 mm	6.76 mm	6.76 mm
		기준치아에서	45.36%	45.36%	45.36%	45.36%
		평균길이에서	44.28%	44.28%	44.28%	44.28%
	LI	Cres	6.67 mm	6.67 mm	6.67 mm	6.67 mm
		기준치아에서	50.54%	45.36%	45.36%	45.36%
		평균길이에서	43.71%	44.28%	44.28%	44.28%
C	Cres	6.87 mm	6.87 mm	6.87 mm	6.87 mm	
	기준치아에서	38.79%	45.36%	45.36%	45.36%	
	평균길이에서	44.97%	44.28%	44.28%	44.28%	
With Corticotomy	CI	Cres	7.10 mm	7.10 mm	7.06 mm	7.10 mm
		기준치아에서	47.65%	47.65%	47.38%	47.65%
		평균길이에서	46.51%	46.51%	46.24%	46.51%
	LI	Cres	6.90 mm	7.00 mm	6.97 mm	7.00 mm
		기준치아에서	52.27%	53.03%	52.08%	53.03%
		평균길이에서	45.20%	45.85%	45.66%	45.85%
C	Cres	7.16 mm	7.20 mm	7.18 mm	7.20 mm	
	기준치아에서	40.45%	40.67%	40.56%	40.67%	
	평균길이에서	46.90%	47.16%	47.03%	47.16%	

* Without Corticotomy : 6.76 mm, 44.32%

* With Corticotomy : 7.08 mm, 46.38%

Table 9. Displacement of without/with corticotomy (cm)

			200 gm	250 gm	300 gm	350 gm
Without Corticotomy	CI	Cres	6.76E-01	6.76E-01	6.76E-01	6.76E-01
		translation	1.52E-05	1.90E-05	2.28E-05	2.65E-05
	LI	Cres	6.67E-01	6.67E-01	6.67E-01	6.67E-01
		translation	1.59E-05	1.99E-05	2.39E-05	2.79E-05
	C	Cres	6.87E-01	6.87E-01	6.87E-01	6.87E-01
		translation	1.45E-05	1.81E-05	2.17E-05	2.53E-05
With Corticotomy	CI	Cres	7.01E-01	7.01E-01	7.01E-01	7.01E-01
		translation	1.68E-05	2.19E-05	2.61E-05	2.99E-05
	LI	Cres	6.90E-01	7.00E-01	6.97E-01	7.00E-01
		translation	1.85E-05	2.26E-05	2.75E-05	3.15E-05
	C	Cres	7.16E-01	7.20E-01	7.18E-01	7.20E-01
		translation	1.67E-05	2.07E-05	2.48E-05	2.88E-05

* 1.44E-04 means 1.44×10^{-4}

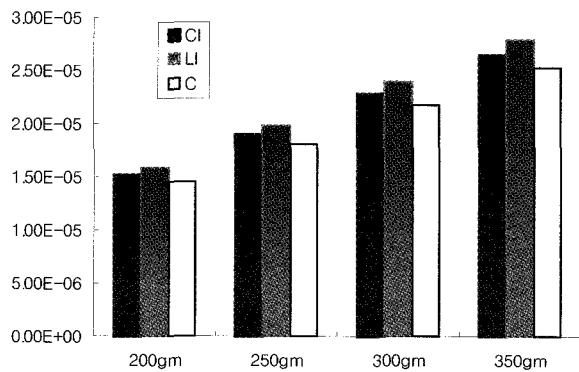


Fig. 3. Displacement of without corticotomy.

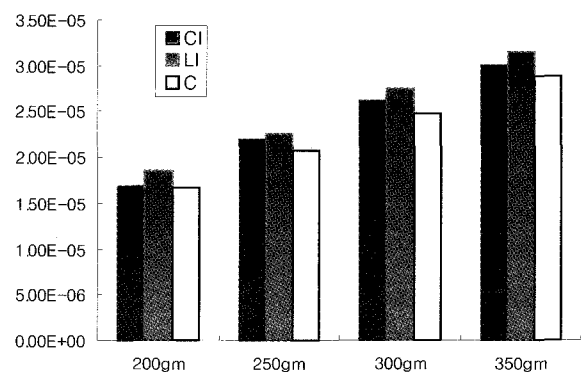


Fig. 4. Displacement of teeth with corticotomy.

또 피질골 절단술을 시행하지 않았을 경우 저항중심에 후방견인력을 가했을 때의 변위와 피질골절단술을 시행하였을 때 저항중심에 후방견인력을 가했을 때의 변위를 나타내었다(Table 9). 이 결과를 도표화하여 X축에는 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm의 후방견인력을 Y축에서는 저항중심에서의 치아별 변위량(translation)을 나타내었다. Fig. 3는 피질골 절단술을 시행하지 않은 경우이고 Fig. 4는 피질골 절단술을 시행한 경우이다.

Fig. 5, 6은 피질골 절단술을 시행하지 않은 경우와 시행한 경우에 편측당 300 gm을 Level 5에 가하기 전과 가한후의 치아이동양상을 10,000 배 확대한 그림이다.

상악 6전치에 편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm의 후방견인력을 설측장치에서 내린 extension arm의 각 Level에 가했을 때 피질골 절단술 하지 않은 경우에는 저항 중심이 Level 4와 5사이에 위치하였다. 이를 복원법으로 계산하였을 때 저항중심의

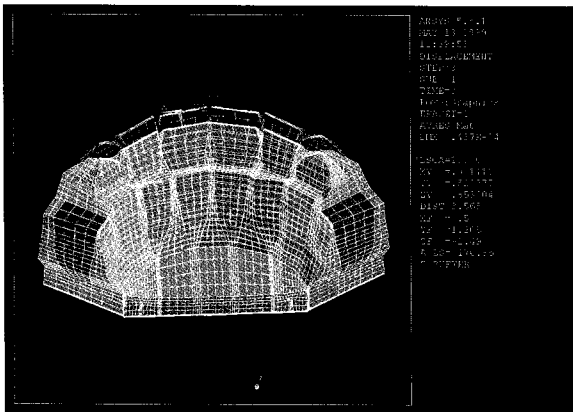


Fig. 5. Teeth displacement without corticotomy

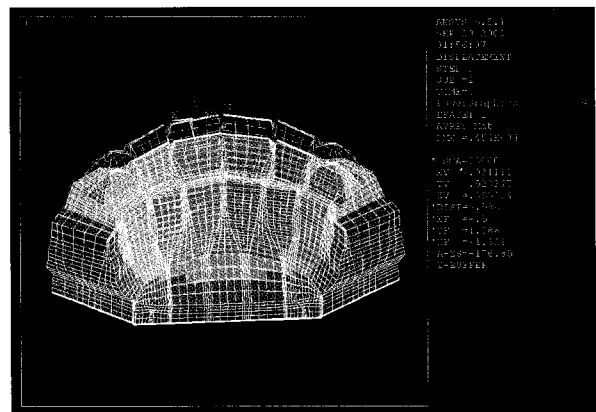


Fig. 6. Teeth displacement with corticotomy

수직적 위치가 치경부에서 치근단쪽으로 6.76 mm 거리에 위치하였고 상악 6전치 전체를 하나의 평균치아로 가정했을 경우의 평균적 치근길이의 치경부에서 치근단쪽으로 44.32% 떨어진 거리에 위치에 있었다 (Table 8). 또 피질골 절단술 시행 후, 상악 6전치부의 후방 견인시 저항중심의 수직적 위치는 Level 4와 Level 5 사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 7.08 mm, 46.38% 떨어진 거리에 위치하였다 (Table 8).

편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm 의 힘을 가했을 때 모두에서 저항중심의 수직적 위치가 피질골 절단술 시행시에 피질골 절단술을 시행하지 않은 경우보다 치근단 쪽으로 이동하였음을 알 수 있다 (Table 8, 9). 즉 피질골 절단술 시행시에 저항 중심의 수직적 위치는 치근단 쪽으로 이동하였고, 변위량도 피질골 절단술 시행시에 시행하지 않은 경우보다 크게 나타났다 (Table 8, 9), (Fig. 3, 4).

또한 후방견인력이 편측당 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350 gm 으로 증가함에 따라 치아의 변위량은 커졌으나 (Fig. 3, 4), 후방견인력 크기의 증가는 피질골 절단술 시행 유무와 관계없이 저항중심의 수직적 위치에 별다른 영향을 주지 못했다 (Table 8, 9).

IV. 총괄 및 고안

최근 심미성에 대한 사회적 관심 증가로 설측 교정을 포함하여 성인 교정치료에 대한 수요가 증가하고 있다. 근래에 들어 교정학분야의 기술적 진보를 통해 성인교정의 한계를 극복하고 신속한 치아이동을 위해 외과적 수술이 도입되었고, 그 중 악교정수술과 통

상적인 교정치료의 중간형태인 피질골절단술(Corticotomy)^{15,16)}이 있다.

피질골 절단술은 1892년 Bryan이 유럽미국치과의사회(American dental society of Europe)에서 불규칙한 치아의 외과적 교정에 대해 논한 이후, 1893년 George Cunningham은 실제로 치아를 재위치 시킨 증례와 술식에 대해 보고하였다. 1959년 Kole²⁴⁾는 피질골절단술의 개념과 술식을 널리 보급하였으며, 치아이동에 주된 저항으로 작용하는 피질골 연속성을 차단함으로써 치아이동의 속도를 증가시키고, 골의 치유과정을 통해 이동된 치아의 안정성을 증가시키며, 해면골(cancellus bone)의 보존으로 치아와 치주 조직에 가해지는 손상을 최소화할 수 있다고 하였다. 1961년 Hass가 성인에서 피질골절단술을 구개골 확장술에 활용하였고, Yoshikawa²³⁾ 등은 피질골 절단술은 교정력을 이동골편에 한정시킬 수 있어 효과적인 이동이 가능하다고 하였다.

성인 교정환자는 성장기 환자와 비교하여 치밀골이 두껍고 해면골이 부족하며 골수강이 좁아 혈류가 제한되며 치밀골의 저항력으로 인하여 치아이동이 장애를 받게 된다. 피질골 절단술에 의한 치아이동은 이러한 문제를 해결함과 동시에 치체 이동을 가능하게 한다. 성인교정치료에 있어서 피질골절단술을 이용한 교정치료가 가지는 최대의 장점은 치료기간을 단축시키고 합병증을 최소화 할 수 있으며, 교정치료의 범위를 확대할 수 있을 뿐만 아니라 치료 후 안정성을 증가시킬 수 있다는 것이다²⁶⁾. 이러한 많은 장점과 넓은 임상적용 가능성에도 불구하고 피질골 절단술은 활발히 이용되지 못하였고, 치아와 골편의 이동

양상 및 치아와 치주조직에 가해지는 손상에 대한 다양한 연구들이 시행되고 있지만, 아직까지 피질골 절단술로 얻을 수 있는 치아 이동의 범위나 한계에 대한 연구와 치아를 포함하는 골편의 저항중심등의 연구가 부족한 실정이다.

이 연구는 피질골절단술을 시행한 경우를 시행하지 않은 경우와 비교하여, 상악 제 1 소구치 발거 후 6전치 후방 견인시에 6전치의 저항중심의 수직적 위치를 파악하고자 하였다.

최선의 교정치료는 치조골내에서 치아를 이동시켜 양호한 교합을 얻는 것이며 이를 달성하기 위하여 치아를 정확하게 이동시킬 수 있는 생역학과 교정력에 대한 치아주위조직의 반응에 대한 연구가 필요하다. 1954년 Mühlemann과 Houglum²⁷⁾이 치관의 협설측으로 힘을 가해서 주위조직에서의 생체반응을 조직학적으로 연구한 이후, Parfitt²⁸⁾은 치관의 협설측 및 치아의 장축방향으로의 이동에 관한 연구를 하였으며, Fortin²⁹⁾은 치아의 치관부위에 적절한 비율의 힘(F)과 모멘트(M)가 작용될 때 치조골에 균일한 분포로 골의 흡수가 일어난다는 것을 보고함으로써 생체역학 개념의 타당성을 조직학적으로 밝힌 바 있고, 1981년 Hocevar³⁰⁾은 치아의 이동을 계획하고 조절하기 위한 교정력 System에 대해 발표하기도 하였다.

저항중심(center of resistance)이란 치아에 치체이동을 야기할 수 있는 힘의 작용점이다¹⁾. 따라서 치아 이동을 시행할 때 저항중심의 정확한 위치를 파악하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 치아이동형태를 결정하는 force system의 두 요소는 힘(F)과 모멘트(M)이다. 힘에 대한 모멘트의 비율은 치아이동의 회전중심을 변화시켜서 치아이동형태를 결정한다.^{31,32,33)} Kusy & Tulloch³³⁾는 치아이동을 translation, rotation, 이들의 조합으로 보고 힘에 대한 모멘트의 비율(M/F ratio)에 의해 치아이동을 조절할 수 있음을 밝혔으며, Christiansen과 Burstone³⁴⁾은 치주 인대 내에서 수직 또는 수평적으로 치아이동이 일어날 때의 회전 중심에 대하여 연구하였고, 치아의 평행이동은 회전 중심이 저항중심으로부터 무한히 멀어질 때 일어나고, 회전중심이 저항중심과 일치했을 때 치아는 순수 회전운동하게 된다. Hilger과 Farzin-Nia³⁵⁾는 부적당한 힘에 대한 모멘트의 비율이 가해졌을 경우 전치부 후방 견인 시 수직피개교합의 증가, 전치부 torque의 상실 및 치열골의 reverse bowing등을 가져온다고 하였다.

Davidian²⁾은 상악 중절치의 저항중심을 치근단측

으로부터 51-61%위치라 보고하였고, Nikolai³⁴⁾는 견치의 2차원적 치근모델에서 치경측 52%에 저항중심이 위치한다고 보고하였다. Burstone⁵⁾은 상악 중절치의 2차원적 치근 모델에서 저항중심이 치근길이의 치경측 40 %에 위치하고, 3차원적 치근모델에서 치근길이의 치경측 1/3되는 위치라고 보고 하였다. Smith과 Burstone¹⁾은 단근치의 저항중심은 치아의 long axis상에 있으며 치조골정상에서 치근단사이 치근길이의 1/3-1/2사이에 있고, 다근치는 furcation area에서 apex로 1-2mm하방 치근사이에 존재한다고 하였다. Dermanut는 상악 제1대구치의 저항중심이 trifurcation 으로부터 교합면 쪽으로 경미하게 떨어져 있다고 하였다.

치아군들에 대한 저항중심의 연구에서 우와 박¹²⁾은 치아군에 따라 저항중심의 위치가 변하여 치아의 수가 증가함에 따라 저항중심의 수직적 위치는 치근단 쪽으로 이동하였고, 상악 4전치군의 저항중심의 위치는 치경부에서 치근단쪽으로 4.5 mm 떨어진 거리(평균적 치근길이의 치경부에서 치근단쪽으로 37.4%)에 위치하고, 상악 6전치군은 6.5 mm 떨어진 거리(평균적 치근길이의 치경부에서 치근단쪽으로 50.3%)에 위치한다하였다. 또 민과 황¹⁴⁾은 상악 6전치군의 저항중심은 6전치 전체 평균치아의 CEJ에서 치근하방으로 약 42.4% 위치에 있다하였다.

이 연구에서는 피질골 절단술을 시행하지 않은 경우 상악 6전치 전체를 하나의 평균치아로 가정했을 경우 상악 6전치부의 후방견인시 Level 4와 Level 5 사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 6.76mm, 치근의 44.32%떨어진 거리에 힘을 가했을 경우 치체이동이 일어나며, 피질골 절단술 시행 한 경우 Level 4와 Level 5 사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 7.09mm, 치근의 46.38%떨어진 거리에 힘을 가했을 경우 치체이동을 하는 것으로 추정할 수 있다(Table 8).

이 연구에서는 동일한 힘을 가했을 때 피질골 절단술을 시행 한 경우가 그렇지 않은 경우보다 저항중심의 수직적 위치는 치근단쪽으로 이동하였고(Table 8), 그 변위량은 피질골 절단술 시행 한 경우가 그렇지 않은 경우보다 크게 나타났다(Table 9), (Fig. 3, 4). 피질골 절단술 시행 한 경우가 시행하지 않은 경우보다 저항중심의 수직적 위치가 더 치근단쪽으로 이동한 것은 상악 6전치와 치조골 복합체를 하나의 평균치아로 가정할 때, 저항이 큰 피질골을 제거하면 치아를 포함하는 소성 수질골이 block-by-block movement하게되며, 제거된 피질골로 인해 감소된 치

조골의 높이가 영향을 미친 것으로 사료된다. 이는 피질골 절단술을 시행한 경우 치아군을 이동시킬 때 같은 힘에 대하여 모멘트를 크게 함으로서 힘에 대한 모멘트의 비율(M/F ratio)을 크게 해주어야 치체이동을 시킬 수 있음을 의미한다.

이 연구에서 측정한 저항중심의 수직적 위치는 Nikolai⁴⁾가 견치의 2차원적 치근 모델에서 측정한 저항중심의 위치(치경측 52%)와 유사하였고, 우와 박¹²⁾의 상악 6전치군에서 평균적 치근길이의 치경부에서 치근단 쪽으로 50.3%와 어느 정도 차이를 보였다. 이 연구는 컴퓨터 Model을 이용한 유한 요소법의 이론적 연구로서 상악 중절치, 상악 측절치, 상악 견치 등 개개 치아의 평균적 Model을 만들어 저항중심을 구하였으나 우와 박¹²⁾의 연구는 하나의 인체 건조 두개골에서 저항중심을 Laser 반사측정법으로 측정하였고, 사용된 인체두개골의 개별적인 특성, 두개골의 S-N plane에 대한 상악 중절치의 치축, 교합평면의 경사도, 각 치아의 길이, 치조골과 치아의 형태, 인공 치주인대의 탄성도 등도 그 차이에 영향을 미쳤을 것이라 사료된다. 이 연구에서는 피질골 절단술을 시행한 경우, 그 부위를 모두 해면골(cancellous bone)으로 설정하였고, 제 1소구치 후방부위와 구개부에 구속조건을 부여하여 후방부위의 반작용은 무시하였으며, 치아이동을 해면골(cancellous bone)부위에서 치아치조골 복합체의 변위로 가정한 것등도 그 차이에 영향을 미쳤을 것이라 사료된다. 1991년 Suya¹⁵⁾는 피질골 절단술 후 교정치료(corticotomy-facilitated orthodontics)를 시행할 때 치아는 block-by-block movement를 하는 소성 수질골의 이동에 손잡이 역할을 하며 이 때의 치아 이동은 치아자체의 이동이 아닌 치아를 포함하는 골편의 이동이라 하였으나, Wilco²⁵⁾는 피질골절단술 후 교정력이 가해졌을 때 골편의 변연부에서 골흡수가 일어나는 것이 아니라 통상적인 교정치료와 마찬가지로 치근과 치조골 사이에 열개(dehiscence)를 관찰하여 피질골절단술 후 치아의 이동은 골편의 이동이 아니며, 치아이동이 가속되는 것을 국부 가속 현상(regional accelerated phenomenon)인 것으로 설명하고 있다.

이 연구에서는 피질골 절단술 후 후방견인력을 편측당 200gm, 250gm, 300gm, 350gm을 가했는데, 이 힘의 크기는 Bulcke & Burstone⁹⁾의 연구를 참고하였으며, Yoshikawa²³⁾는 원숭이에게 편측당 400gm의 총 악정형력(total orthopedic force)을 주었으며 이는 인간에서 편측당 1100gm-1400 gm에 해당하고, 6전

치 후방견인시에는 이의 반을 적용할 수 있다는 보고를 근거로 하여 설정하였다. 이 연구에 교합평면은 XY평면이므로, 각 Level에 후방견인력을 XY평면과 평행하게 가하였으므로 실제임상에서의 견인 방향과는 차이가 있다.

이 연구에서 후방견인력이 편측당 200gm, 250 gm, 300gm, 350gm 으로 증가함에 따라 치아의 변위량은 커졌으나 (Fig. 3, 4), 피질골 절단술 시행 유무와 관계없이 저항중심의 수직적 위치에 별다른 영향을 끼치지 않았는데(Table 8, 9) 이는 Bulcke와 Burstone¹⁰⁾, 우와 박¹²⁾의 연구와 일치하였다.

유한요소법은 유한의 연속체를 유한개의 요소의 집합체로 생각하고 각 요소들의 현상은 요소의 절점(nodal point)을 통하여 전달된다고 가정하고 개개 요소의 현상을 계산하여 이것을 연속시켜서 전체의 현상을 파악하는 방법이다¹⁷⁾. 유한요소법을 이용한 교정학 분야의 연구로서 정형력에 대한 상하악골내의 응력분산과 변위에 관한 분석^{36,37)}과 교정력에 대한 치아 및 치조골에서 응력분산과 변위에 관한 분석³⁸⁻⁴⁰⁾, 그리고 성장연구분석등 여러 연구가 국내외에서 진행되어 왔다.

유한요소법은 대상이 되는 물체의 형태와 역학적 특성의 재현이 가능하나 이론적 해석에만 치우칠 가능성이 크고 치근막과 치조골을 등방성질의 탄성체로 생각하는 단점이 있다. 실제로 개개인마다 치근의 크기, 형태, 치근막, 치조골등의 조직학적 특성, 환자의 연령, 환경변화에 적응하는 생체반응등이 서로 다르므로, 개개인의 저항중심은 서로차이가 있을 수 있으며, 평균적인 형태와 크기로 모델링한다고 해도 임상적으로는 환자의 저항중심과 다소 차이가 날 수밖에 없다.

이 연구에서는 Wheeler의 연구와 정상교합을 갖는 성인의 표본조사를 통해 제작된 Dentiform(일본 Trimunt사, Model i21D-400G)을 대상으로 하여 상악 중절치, 측절치, 견치를 2차원 카메라로 같은 위치에서, 각 면을 촬영하고 촬영된 사진을 digitizing하여 치아의 외곽선을 얻어내었다. 치아의 단면은 기본적으로는 타원형이나 각 단면마다 상당히 다른 형태를 보인다. 이 경우 유한요소모델이 비이상적으로 형성되거나, 유한요소가 꼭지각이 90°를 기준으로 너무 크거나($\alpha > 150^\circ$), 너무 작으면($\alpha < 30^\circ$) 해석의 정확성이 떨어지거나 해석자체가 불가능해지므로 신뢰성 있는 절점 결정방법이 필요하고, 적절한 수식으로 프로그래밍하여 모든 단면에 같이 적용되도록 요소를 분할

하였다.¹⁷⁾ 또 실제에 가깝게 모델링하기 위해서는 보다 많은 요소 분할이 필요할 것이나 이를 분석할 수 있는 고가의 software 및 hardware가 필요하고 분석에도 많은 시간을 요하므로 유의성 있는 결과가 동일하게 나오는 정도로, 전체 요소의 개수를 14,584 개, 전체 절점 의수는 17,292 개로 하였다.

이 연구에서 치근막에는 탄성복원력에 의한 순간적인 복귀를 방해하는 정성저항력이 존재하지만 이 연구에서는 치근막을 단순한 탄성체로 취급하였고, 두께도 나이와 부위, 개인차를 무시하고 평균 0.25 mm¹⁹⁾로 균일하게 2점의 8절점 3차원 선형요소를 치아의 둘레에 연결하였다.

따라서 저항중심의 보다 정밀한 유한요소분석을 위해서는 불규칙하고 복잡한 입체적인 형태를 표현할 수 있고 효율적인 모델링 방법과 치아, 치근막, 치조골 등과 기본적인 와이어의 물질상수를 연구하여 정확한 값에 대하여 앞으로 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

V. 결 론

3차원 유한요소법을 이용하여 피질골 절단술(corticotomy)을 시행 한 경우와 시행하지 않은 경우에서, 상악 6전치부 설측장치에서 연장된 extension arm의 7개의 Level에 편측당 각각 200 gm, 250 gm, 300 gm, 350gm의 후방견인력을 가하였을 때 상악 6전치부 치아의 이동을 통하여 저항중심의 수직적 위치를 측정, 비교하였다.

또 후방견인력의 크기변화에 따른 저항 중심의 수직적 위치 변화양상을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 피질골 절단술을 시행하지 않은 경우, 상악 6전치부의 후방견인시 저항중심의 수직적 위치는 Level 4와 Level 5 사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 6.76mm, 44.32% 떨어진 거리에 위치하였다
2. 피질골 절단술 시행후, 상악 6전치부의 후방 견인시 저항중심의 수직적 위치는 level 4와 level 5 사이, 즉 치경부에서 치근단 쪽으로 7.09mm, 46.38% 떨어진 거리에 위치하였다.
3. 후방 견인력의 크기가 커짐에 따라 치아의 변위량은 커졌으나, 피질골 절단술 시행 유무와 관계없이 후방견인력의 크기변화는 저항중심의 수직적 위치에 별다른 영향을 미치지 않았다.

4. 피질골 절단술 시행시에 저항 중심의 수직적 위치는 치근단 쪽으로 이동하였고, 그 변위량은 피질골 절단술 시행시에 컸다.

이상의 결과로 볼 때 상악 6전치부 후방견인시 저항중심의 수직적 위치는 치근길이의 치경부에서 치근단 쪽으로 44.32% 떨어진 거리에 위치하였고, 피질골 절단술 시행시에 저항중심의 수직적 위치는 치근길이의 치경부에서 치근단 쪽으로 46.38% 떨어진 거리에 위치하여 피질골 절단술 시행하지 않은 경우보다 치근단 방향으로 이동되었으며, 후방견인력의 크기변화에 따라 저항 중심의 수직적 위치는 변하지 않았다.

참 고 문 헌

1. Smith R J, Burstone C. J. Mechanics of tooth movement. Am J Orthod Dentofac Orthop 1984 : 85 : 294-307.
2. Davian, E. J. Use of a computer model to study the force distribution on the root of maxillary central incisor. Am J Orthod 1971 : 59 : 581-8.
3. Nikolai R. J. Periodontal ligament reaction and displacements of maxillary central incisor subjected to transverse crown loading. J Biomech 1974 : 7 : 93-9.
4. Nikolai, T. J. On optimum orthodontic force theory as applied to canine retraction. Am J Orthod 1975 : 68 : 290-302.
5. Burstone, C. J. Optimizing anterior and canine retraction. Am J Orthod 1975 : 68 : 290-302.
6. 이수룡, 손병화. 상악 전치의 저항중심에 관한 Laser Speckle interferometry와 Holographic interferometry를 이용한 실험적 연구, 연세치대 논문집 1989 : 5 : 518-37.
7. 조정현, 이기수, 박영국. 상악 제일 대구치의 저항중심에 관한 유한요소법적 분석, 대치교정지 1993 : 23 : 263-73.
8. 박기호, 손병화. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 합입시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구, 대치교정지 1993 : 23 : 619-31.
9. Vanden Bulcke MM, Burstone C. J. The center of resistance of anterior teeth during intrusion using the laser reflection technique and holographic interferometry. Am J Orthod 1986 : 90 : 211-20.
10. Vanden Bulcke MM, Burstone C. J, Sachdeva RCI, Dermaut I. R. Location of the center of resistance for anterior teeth during retraction using the laser reflection technique. Am J Orthod Dentofac Orthop 1987 : 91 : 375-84.
11. Tanne, K, Nagataki, T., Inoue, Y., Sakuda, M., Burstone, C. J. Pattern of initial tooth displacements associated with various root lengths and alveolar bone heights. Am J Orthod Dentofac Orthop 1991 : 100 : 66-71.
12. 우재영, 박영철. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부의 후방견인시 저항중심의 수직적 위치에 관한 실험적 연구, 대치교정지 1979 : 23 : 375-89.
13. 박기호, 손병화. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 합입시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구, 대치교정지 1993 : 23 : 619-31.
14. 민영규, 황충주. Laser 반사측정법을 이용한 전치부 후방견인시 치조골 높이와 치근길이 감소에 따른 저항중심의 위치변화에 관한 연구, 대치교정지 1999 : 29 : 165-81.

15. Suya H. Corticotomy in Orthodontics, in Mechanical and Biological Basics in Orthodontic Therapy. E. Hosl and A. Baldauf, Huthig Buch Verlag Heidelberg. Germany, 1991 : 207-26.
16. Gantes B, Rathbun E, Anholm M. Effects on the periodontium following corticotomy-facilitated Orthodontics. J Periodontol 1990 : 61 : 234-8
17. 주진원, 허경현, 차경석. 치아교정의 역학적 해석을 위한 유한요소 모델링 및 치아의 거동해석, 대한기계학회논문집 A권, 2000 : 24 : 907-15.
18. Wheeler R. C. A textbook of dental anatomy and physiology Philadelphia, WB Saunders. 1965 : 135-54, 172-84.
19. Coolidge ED. The thickness of the human periodontal membrane. J Am Dent Assoc Dent Cosmos 1937 : 24 : 1260-70.
20. Tanne K., Sakuda M. Burststone C. J. Three dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic force. Am J Orthod Dentofac Orthop 1987 : 92 : 499-505.
21. 장규림, 권오원, 김상철등. 대치교정학회 부정교합백서발간위원회, 한국성인 정상교합자의 석고 모형 계측연구 결과보고서 1999 : 1-18.
22. Germane N. Bentley Jr. BE, Isaacson R. J. Three biologic variables modifying faciolingual tooth angulation by straight wire appliance. Am J Orthod Dentofac Orthop 1989 : 96 : 312-19.
23. Yoshikawa Y. Effects on corticotomy on maxillary retraction induced by orthopedic force. J Matsumoto Dent Coll Soc 1987 : 13 : 292-320.
24. Kole H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. Oral Surgery. Oral Medicine and Oral Pathology 1959 : 12 : 515-29.
25. Wilco W. M. Accelerated osteogenic orthodontics™ procedure : a revolutionary approach to rapid tooth movement. as presented to the 98th annual session of the American association of orthodontists, Dallas, TX, 1998.
26. 이백수, 황혜옥, 장규림. 성인 교정치료를 위한 피질골절단술 (Corticotomy)의 임상 적용, 대약안면성형지 1999 : 21 : 303-11.
27. Mithlemann, H. R. and Houglim, M. W. The determination of the tooth rotation center. Oral Surg 1954 : 7 : 392-4.
28. Parfitt, G. J. Measurement of the physiologic mobility of individual teeth in an axial direction. J Dent Res 1960 : 39 : 608-18.
29. Fortin, J. Translation of premolars in dog by controlling the moment to force ratio. Am J Orthod 1971 : 59 : 541-51.
30. Hocevar, R. A. Understanding, planning, and managing tooth movement : Orthodontic force system theory. Am J Orthod 1981 : 80 : 457-77.
31. Burststone C. J. Pryputniewicz R. J. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. Am J Orthod Dentofac Orthop 1980 : 77 : 396-409.
32. Tanne K. Koenig HA, Burststone C. J. Moment to force ratios and the center of rotation. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988 : 94 : 426-31.
33. Kusy, R. P. and Tulloch, J. F. Analysis of movement/force ratio in the mechanics of tooth movement. Am J Orthod Dentofac Orthop 1986 : 90 : 127-31.
34. Christiansen, R. L., and Burststone, C. J. Centers of rotation within the periodontal space. Am J Orthod 1969 : 55 : 353-69.
35. Hilger, J.J., Farzin-Nia, F. The Asymmetrical "T" Arch wire. J Clin Orthod 1992 : 26 : 81-6.
36. 조호구, 이기수. 정형력에 대한 하악골내의 응력분산과 변위에 관한 유한요소법적 분석, 대치교정지 1984 : 15 : 75-91.
37. 김주영, 손병화. Reverse Headgear가 상악골에 미치는 영향에 관한 유한요소법적 분석, 대치교정지 1985 : 15 : 7-21.
38. 김영원, 손병화. 견치 원심이동시의 초기변화에 관한 유한요소법적 연구, 대치교정지 1988 : 18 : 25-53.
39. McGuinness, N., Wilson, A. N, Jones, M. Middleton, J., and Robertson, N. R. Stress induced by edgewise appliances in the periodontal ligament-a finite element study. Angle Orthod 1992 : 62 : 14-21.
40. Fotos, P. G., Spyarakos, C. C., and Bernard, D. O. Orthodontic forces generated by a simulated arch wire appliance evaluated by the Finite Element Method. Angle Orthod 1990 : 60 : 277-82

- ABSTRACT -

The vertical location of the center of resistance for maxillary six anterior teeth during retraction using three dimensional finite element analysis

Hye-Kyoung Lee, Kyu-Rhim Chung

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Graduate School, Kyung Hee University

The delivery of optimal orthodontic treatment is greatly influenced by clinician's ability to predict and control tooth movement by applying well-known force system to dentition. It is very important to determine the location of the centers of resistance of a tooth or teeth in order to have better understanding the nature of displacement characteristics under

various force levels.

In this study, three dimensional finite element analysis was used to measure the initial displacement of the consolidated teeth under loading.

The purpose of this study was to define the location of the centers of resistance at the upper six anterior segment. To observe the changes of six anterior segment, 200gm, 250gm, 300gm, and 350gm forces at right and left hand side each were imposed toward lingual direction. For this study, two cases, six anterior teeth and six anterior teeth after corticotomy, were reviewed. In addition, it was reviewed the effects of changes on the location of the center of resistance in both cases based on different degree of forces aforementioned.

The results were that :

1. The instantaneous center of resistance for the six anterior teeth was vertically located between level 4 and level 5, which is, at 6.76mm, 44.32 % apical to the cemento enamel junction level.
2. The instantaneous center of resistance for the six anterior teeth after corticotomy was located vertically between level 4 and level 5, that is, at 7.09mm, 46.38 % apical to the cemento enamel junction level.
3. Changes of force showed little effect on the location of the center of resistance in each case.
4. It was observed that the location of the instantaneous center of resistance for the six anterior teeth after corticotomy was changed more than the six anterior teeth without corticotomy to the apical part, and the displacement of the consolidated anterior teeth moved further in case of the consolidated teeth after corticotomy.

KOREA. J. ORTHOD. 2001 : 31(4) : 425-38

※ **Key words** : Center of resistance, Maxillary six anterior teeth retraction, Three dimensional finite element analysis, Corticotomy.