

분절호선법으로 상하악 절치부 압하 시 순측경사도가 미치는 영향에 관한 3차원 유한요소법적 연구

김동우¹⁾ · 양훈철²⁾ · 김기태³⁾ · 김성식⁴⁾ · 손우성⁵⁾

본 연구는 상하악 절치부의 압하를 도모하기 위한 장치의 하나인 분절호선장치를 사용하여 절치부의 순측경사에 따른 저항중심의 위치와 변화양상, 그리고 치측경사 개선과 압하를 동시에 이루기 위해 필요한 최소 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 알아보기 위하여 3차원 유한요소법을 이용하여 시행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치측 경사도의 변화에 따른 상악 절치부 저항중심은
 - 1) 정상 치측경사를 가진 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 6mm에 위치하였다.
 - 2) 순측경사가 10° 증가된 경우에서 측절치 브라켓의 원심면 후방 9mm에 위치하였다.
 - 3) 순측경사가 20° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 12mm에 위치하였다.
 - 4) 순측경사가 30° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 16mm에 위치하였다.
2. 치측 경사도의 변화에 따른 하악 절치부 저항중심은
 - 1) 정상 치측경사를 가진 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 10mm에 위치하였다.
 - 2) 순측경사가 10° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 13mm에 위치하였다.
 - 3) 순측경사가 20° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 15mm에 위치하였다.
 - 4) 순측경사가 30° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 18mm에 위치하였다.
3. 응력분포 양상은
 - 1) 각 저항중심에서 압하력을 가한 경우에 치주인대에 균일한 압축응력을 나타내었다.
 - 2) 후방 견인력을 동시에 적용한 경우에 순측경사가 증가할수록 응력분포 양상이 복잡해지는 양상을 보였다.
4. 상하악 절치부가 20°까지 순측경사된 경우에서 pure intrusion을 위하여 필요한 후방 견인력의 크기도 증가하였다.

(주요 단어 : 과개교합, 절치부 압하, 저항중심, 3차원 유한요소법)

I . 서 론

전치부 과개교합은 치과교정 영역에서 흔하게 관찰되는 부정교합의 한 종류로서 이의 개선을 위한 다양한 형태의 연구와 치료가 시도되어져 왔으며 Burstone¹⁾은 치료 후 교합평면의 위치, 예상되는 하악의 성장량, 그리고 치료 후에 예상되는 바람직한 수직고 경 등을 미리 고려하여 적절한 개선 방법을 선택하여야 한다고 하였다.

¹⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생.

²⁾ 포항공과대학교 기계공학과, 대학원생.

³⁾ 포항공과대학교 기계공학과, 교수.

⁴⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실, 전임강사.

⁵⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실, 교수

교신저자 : 손우성

부산광역시 서구 아미동 1가 10

부산대학교 치과대학 교정학교실 / 051-240-7445

wsson@pusan.ac.kr

원고접수일 : 2003년 2월 5일 심사통과일 : 2003년 6월 24일

일반적으로 과개교합의 개선을 위하여 연속호선이 나 분절호선을 사용하는 방법을 사용할 수 있다. 선학들의 많은 연구에 의하면, 절치부의 압하를 목적으로 연속호선을 사용하는 경우에는 전치부 호선이 브라켓 slot 내로 직접 삽입됨에 따라 전치부 치축경사 변화와 구치부 정출 등의 바람직하지 못한 부작용이 동시에 발생하게 되어 절치부의 순수한 압하를 이루기는 어렵다고 하였다.¹⁻⁶⁾ Burstone은 이에 대한 대안으로 분절호선의 사용을 통한 절치부 압하방법을 제시하였으며,^{7,8)} 이후의 연구들을 통해 역학적인 장점이 언급되어진 바 있다.⁹⁻¹¹⁾

분절호선을 사용하여 절치부의 압하를 도모하는 경우에서 압하하려고 하는 치아 또는 치아군의 저항 중심의 위치를 파악하는 것이 발생할 치아이동 양상에 대한 정보를 미리 얻기 위해 중요하다고 할 수 있다. 현재까지 연구의 주된 경향은 상악에서 2절치나 4절치 또는 6전치의 압하를 시도하는 경우에서의 저항 중심의 위치를 알아내려는 것이었다.¹²⁻¹⁷⁾ 이들 연구의 대부분은 상악 전치부가 정상적인 치축경사를 가지는 경우에 대해서 시행되어졌고 임상에서 흔히 관찰되는 양상이라고 할 수 있는 다양한 순축경사를 보이는 경우에서 절치부 압하를 위한 저항 중심의 위치를 찾으려는 시도는 현재까지 거의 없는 실정이다.

절치부의 순축경사를 동반한 과개교합을 대상으로 하여 Burstone이 제안한 three-piece intrusion arch appliance를 응용하여 절치의 압하와 순축경사된 치축의 개선을 동시에 도모하는 방법을 제시하였는데,^{9,18)} 압하력의 전후방 적용부위를 변화시키고 후방 견인력을 적절히 부여함으로써 이를 동시에 달성할 수 있다고 하였다. 하지만 절치부의 순축경사에 따라 필요한 후방 견인력의 변화양상에 대한 구체적인 정보를 제시하지는 않았다.

또한 절치부 압하를 통하여 과개교합을 개선하고자 할 때 상악 전치부가 주된 치료 및 연구의 대상이 되어 왔지만 선학들은 다양한 임상적 상황에 따라 하악 전치부 압하가 필요한 경우에 대해서도 언급하였으며,^{1,6,10,19)} 안면 연조직의 증명변화를 고려하였을 때 상악 절치부보다 하악 절치부의 압하가 더 바람직한 경우도 있음을 강조하기도 하였다.²⁰⁾ 상악에서와 마찬가지로 하악 절치부 압하를 도모하는 경우에 있어서도 중요한 고려사항이 된다고 할 수 있는 저항 중심의 위치 등에 대한 연구는 드문 실정이다.

이에 본 연구는 Burstone이 제안한 three-piece intrusion arch appliance를 이용하여 압하를 도모하

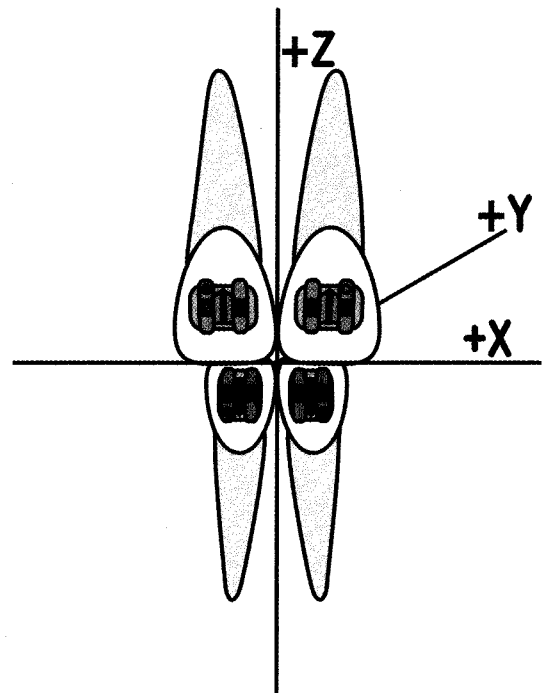


Fig. 1. Determination of the three dimensional reference system.

는 경우에서 상악 4절치의 순축경사에 따른 저항 중심의 위치 및 변화양상과, pure intrusion을 도모하기 위하여 필요한 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 3차원 유한요소법을 이용하여 알아내어 다양한 순축경사를 동반하는 전치부 과개교합 환자의 치료에 도움을 주고자 시행되었다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 치열궁 형태 및 치아 배열

가. 좌표계의 설정

양측 중절치의 절단면을 지나는 근원심 선을 X축으로 정하고 접촉점에서 수선을 내려 X축과 만나는 점을 원점으로 선정하였다. 이를 정점으로 순설측으로 이어지는 선을 Y축, 그리고 상하로 이어지는 선을 Z축으로 정의하였으며 좌측, 설측, 그리고 치근단측 방향을 양(+)의 수치로 표시하였다(Fig. 1).

나. 치열궁의 형태와 치축경사의 부여

전방부 치열궁의 형태는 한국인 정상교합자 석고 모형의 3차원 분석에 관한 연구²¹⁾를 기초로 설정하였

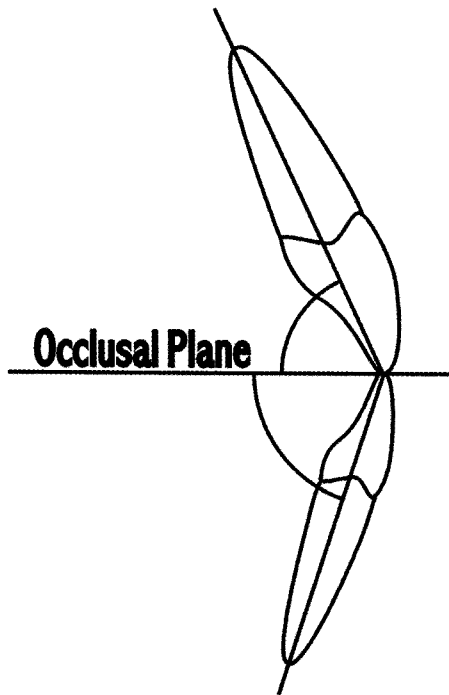


Fig. 2. Definition of the labiolingual inclination of maxillary and mandibular incisors.

으며 개개 치아의 정상 치축경사는 치아장축과 교합 평면이 이루는 각으로 정의하여(Fig. 2) 상악 중절치, 상악 측절치, 그리고 하악 4절치에서 각각 65°, 70°, 75°로 설정하였으며, 근원심으로는 상악 중절치, 상악 측절치, 그리고 하악 4절치에서 5°, 9°, 2°의 근심 경사를 부여하였다.²²⁾

다. 호선 및 장치

상하악 절치부에 Burstone의 분절호선법에 사용되는 전방부 호선을 .0215" × .028" stainless steel wire로 설계하였다. 치아에 결찰되는 부분과 치은측에 위치하는 후방 연장부를 연결하는 수직부위 호선의 높이는 5mm로 고정하였다(Fig. 3).

분절호선을 사용하는 경우에도 실제적으로는 삽입되는 호선과 브라켓 slot 사이에 어느 정도의 유격이 존재하지만 본 연구에서는 절치부 치아와 장착된 호선을 하나의 견고한 연결체로 가정하여 호선이 브라켓에 고정되어 있는 것으로 간주하였다. 장치는 Korean smart bracket (Daesung Co., Seoul, Korea)을 사용하였으며 Andrews' plane을 기준으로 하여 치관의 FACC point에 브라켓 slot이 위치하도록 개개 치아에 부착하였다.²²⁾

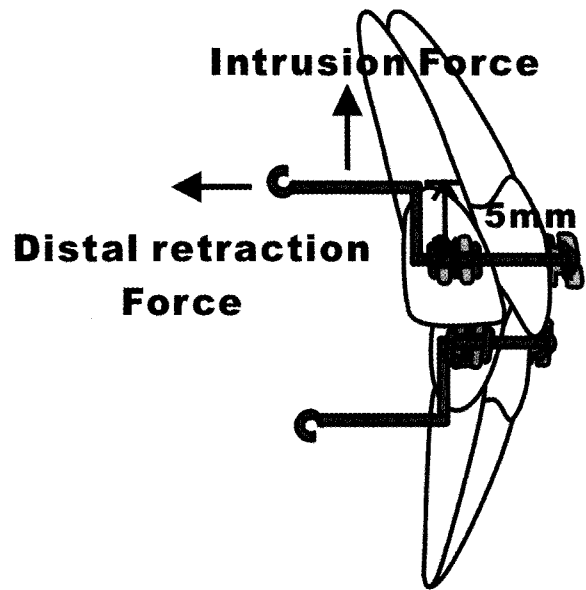


Fig. 3. Anterior wire component of three-piece intrusion arch appliance used in this study.

2. 유한요소 모델링

상하악 4절치와 치주인대를 대상으로 3차원 유한요소모델을 제작하였다(Fig. 4). 치아의 크기와 형태는 Wheeler²³⁾의 저서와 치아모형을 참조하였으며 치주인대의 두께는 Coolidge²⁴⁾의 연구를 기초로 하여 0.25mm로 균일하게 설정하였다. 치조골은 정상적인 상태로 가정하였다.

치아와 그 주위조직은 등방, 등질의 선형 탄성체가 가정하였으며 개개 물성치는 Tanne 등²⁵⁾의 연구를 참고로 하였다(Table 1). 모델링에 사용된 요소의 형태를 살펴보면 치아는 4개의 노드로 이루어진 3차원 사면체(4-node quadratic tetrahedron)이고(Fig. 5), 호선과 브라켓은 2개의 노드를 가진 선(2-node linear link)과 3개의 노드를 가진 삼각형(3-node triangular facet) 강체요소로 구성되었다. 전체 요소 수는 상악에서 77,628개, 하악에서 56,307개였고 절점 수는 상악에서 17,235개, 그리고 하악에서 12,908개였다.

변위분석을 위한 워크스테이션은 HP J5600(Hewlett Peckard Co., USA)을 사용하였으며 치아 및 치주인대의 모델링을 위하여 I-DEAS 8.0(EDS Inc., 2001, USA)을, 그리고 유한요소 해석을 위한 프로그램은 ABAQUS 6.2(Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc., 2002, USA)를 이용하였다.

Table 1. Mechanical properties for the structural elements

Material	Young's Modulus(kg/mm ²)	Poisson's ratio
Tooth	2.0×10^4	0.3
Periodontal ligament	6.8×10^{-2}	0.49
Bracket	21.4×10^3	0.3
Wire	21.4×10^3	0.3

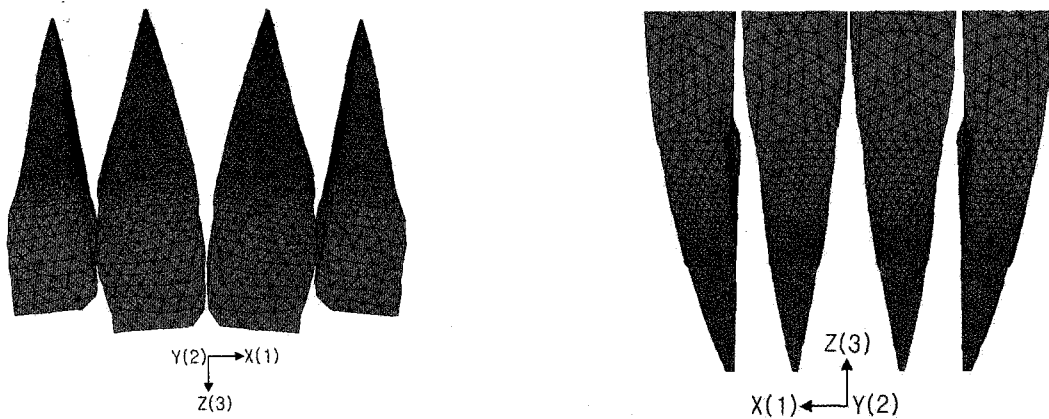


Fig. 4. Three dimensional finite element models for the maxillary and mandibular incisors.

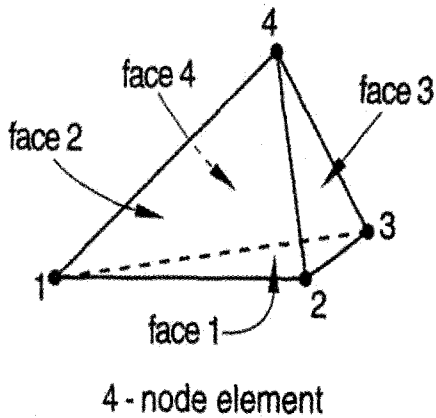


Fig. 5. 4-node element used in the modeling of teeth.

가. 경계조건(Boundary condition)

압하력 및 후방 견인력을 부여하는 경우에서 응력 분포와 치아 변위양상을 알아보기 위하여 상하악 절치부의 치주인대 부위에 다음과 같은 경계조건을 부

여하였다.

- ① 유한요소 해석 시 z축을 중심으로 좌우대칭을 이루는 것으로 가정하였다.
- ② 치주인대의 외각표면은 치조골에 완전 접합된 구조로 가정하였으며 모든 자유도가 구속되었다.
- ③ 호선 및 브라켓은 변형이 없는 강체로 간주하였다.

3. 하중 부여 방법

치아의 압하양상은 크게 저항중심에서 압하력을 가하여 치축 경사를 유지한 채 수직적으로 이동시키는 genuine intrusion과 치아 장축방향으로 이동시키는 pure intrusion으로 분류할 수 있으며 pure intrusion을 위해서는 압하력과 함께 후방 견인력의 적용이 필요하게 된다(Fig. 6).

먼저 상하악 절치부를 일정한 각도로 순측경사시키면서 그에 따른 저항중심의 및 변화양상을 알아낸 후,

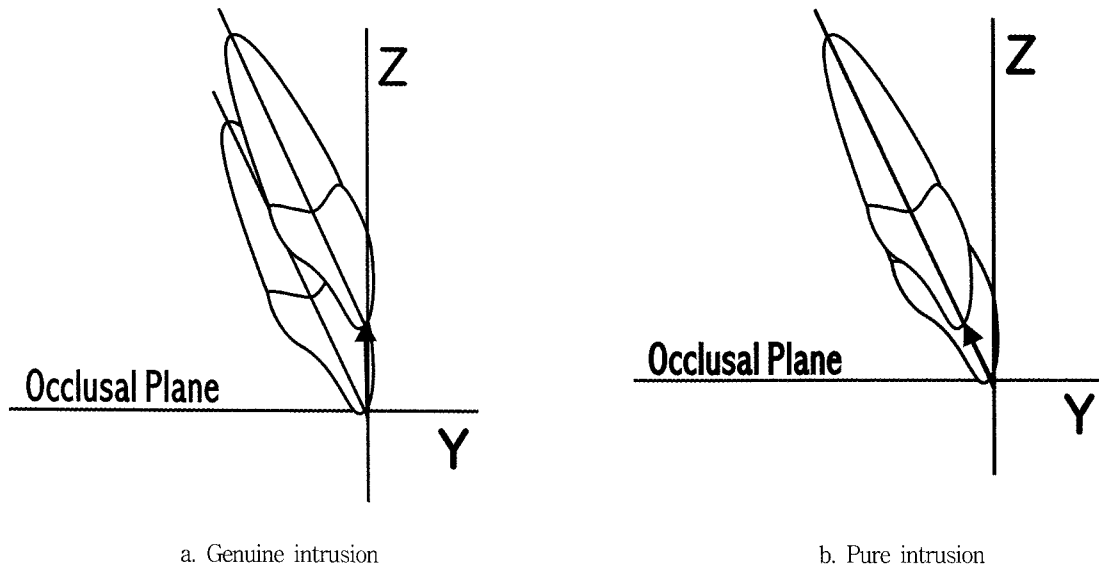


Fig. 6. Types of the intrusion used in this study.

각각의 경우에서 압하력의 적용부위를 앞에서 결정되어진 저항중심에 대해 일정하게 전방으로 이동시켰을 때 pure intrusion을 이루기 위해 필요한 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 찾아내는 방법을 사용하였다.

가. 치축 경사도의 변화

먼저 상하악 절치부를 정상적인 치축경사를 이룬 상태로 배열한 다음 10°, 20°, 30° 순측으로 경사시켰다. 이 과정에서 절치부의 근원심 경사도는 초기에 부여한 정상치를 그대로 유지하였다.

서로 다른 치축경사를 가지는 여러 실험모형을 아래와 같이 분류하였다.

- MxN : 정상 치축경사를 가지는 상악 절치군
- Mx10 : 10° 순측경사시킨 상악 절치군
- Mx20 : 20° 순측경사시킨 상악 절치군
- Mx30 : 30° 순측경사시킨 상악 절치군
- MnN : 정상 치축경사를 가지는 하악 절치군
- Mn10 : 10° 순측경사시킨 하악 절치군
- Mn20 : 20° 순측경사시킨 하악 절치군
- Mn30 : 30° 순측경사시킨 하악 절치군

나. 치축 경사도에 따른 저항중심의 위치결정

일반적으로 상악 절치부의 압하를 도모하는 경우에 요구되는 적절한 교정력에 대하여 Burstone¹⁾은 상악 2절치에서는 50g, 상악 4절치에서는 100g, 그리고

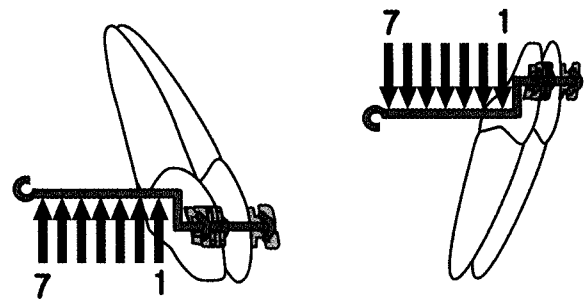


Fig. 7. Application point of the intrusion force in the upper and lower incisors.
Number 1 means the point 2mm behind the distal surface of the upper and lower lateral incisor brackets.

상악 6절치에서는 200g을 제시하였으며 치근의 상대적인 크기나 길이를 고려한 조정이 필요하다고 하였다. 하악 4절치에 대해서는 일반적으로 40~60g의 힘이 추천되어지는데,^{1,26)} 본 연구에서는 상악 4절치에 100g, 하악 4절치에는 60g의 압하력을 적용하였다.

상하악 4절치의 순측경사에 따른 저항중심의 위치를 찾기 위하여 측절치 브라켓 원심면 2mm 후방 지점에서 시작하여 1mm 간격으로 후방으로 연속되는 하중점을 선정하였으며 순차적으로 압하력을 부여하였다(Fig. 7). 이후 치아모델에서 절단연의 중점과 치근단에 위치하는 절점을 선정하여 가해진 압하력에 대해 두 절점의 수직변위량 차이가 최소화되는 하중점을 저

항중심의 위치로 선정하였으며 순측 경사도 변화에 따른 저항중심의 위치변화 양상을 알아보았다.

다. 후방 견인력의 적용

부여된 치측 경사도에서 저항중심의 위치를 결정한 후에 압하력의 적용위치를 전방으로 이동하였을 때 pure intrusion을 위해 필요한 후방 견인력을 찾자 하였다. 저항중심으로 결정된 하중점의 2mm 전방에서 압하력을 부여하고 후방 견인력을 5g 단위로 순차적으로 증가시키면서 적용하여 치측 경사도의 변화가 최소화되는 후방 견인력의 크기를 구하고, 순측 경사도 증가에 따른 후방 견인력의 변화양상을 알아보았다. 후방 견인력은 치은측에 위치한 호선의 후방 연장부위에서 교합평면과 평행하게 후방으로 가해지는 것으로 가정하였다.

4. 해석방법

가. 순측경사에 따른 각 치아군의 저항중심 결정

저항중심의 위치는 각 하중점에서 압하력을 적용하였을 때 4절치 절단면의 중점과 치근침에 존재하는 절점의 수직 변위량 차이가 가장 작게 나타나는 지점으로 결정하였다.

절치부를 구성하는 개개 치아에 대하여 절단면의 중점과 치근침에 존재하는 절점을 선택한 후 가해진 압하력에 대한 두 절점의 수직변위 정도를 C값으로 정의하였다. C값을 구하기 위하여 하 등¹⁶⁾의 연구에서 제시한 해석방법을 적용하였는데, 각 하중점에서 아래의 수식(1)을 적용하여 C값을 구한 후, 최소값을 보이는 하중점을 저항중심으로 결정하였다.

$$C = 2 \times \sqrt{(E1 - A1)^2 + (E2 - A2)^2} \quad (1)$$

- E1 : 상하악 중절치 절단면 중심 하중점의 수직변위량
- E2 : 상하악 측절치 절단면 중심 하중점의 수직변위량
- A1 : 상하악 중절치 치근침 하중점의 수직변위량
- A2 : 상하악 측절치 치근침 하중점의 수직변위량

나. Pure intrusion을 위한 후방 견인력의 결정

압하력과 후방 견인력의 적용에 의해 절치부가 pure intrusion되기 위해서는 치아가 장축 방향으로 이동해야 하므로 개개 치아의 절단면 중심점과 치근침에 위치하는 절점의 변위각도(θ)가 장축방향과 일치하여야 한다. 하지만 다수의 치아를 대상으로 하여

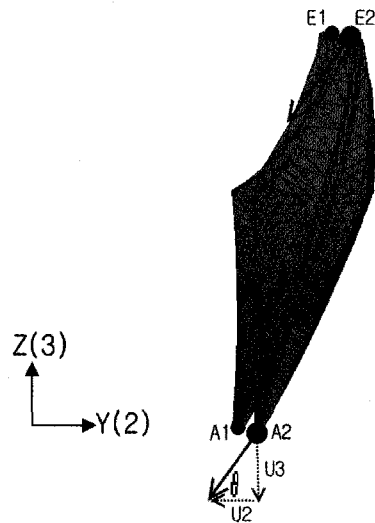


Fig. 8. Determination of the displacement angle(θ).

U2 : displacement in Y-axis

U3:displacement in Z-axis

$$\theta = \tan^{-1}(U3/U2)$$

이러한 이론적인 이동양상의 완벽한 재현은 불가능하기 때문에 절치부를 구성하는 개개 치아의 모든 변위 각도가 각각의 장축방향과 가장 근접하게 되는 상황을 pure intrusion으로 판단할 수 있을 것이다(Fig. 8).

따라서, 아래의 수식(2)을 고안하여 값을 구하였는데, 여기에서 F값은 이동되는 4절치의 변위각도와 원래의 장축각도 사이의 차이로 정의할 수 있으며 값이 커질수록 원래의 치측경사에서 벗어나는 치아이동을 의미한다. 그러므로 최소 F값을 나타내는 힘을 pure intrusion에 필요한 후방 견인력으로 결정하였다.

$$F = \sqrt{(\theta_{r1} - \theta_{A1})^2 + (\theta_{r1} - \theta_{E1})^2 + (\theta_{r2} - \theta_{A2})^2 + (\theta_{r2} - \theta_{E2})^2} \quad (2)$$

- θ_{r1}: 상하악 중절치의 장축각도
- θ_{r2}: 상하악 측절치의 장축각도
- θ_{E1}: 상하악 중절치 절단면 중점의 변위각도
- θ_{E2}: 상하악 측절치 절단면 중점의 변위각도
- θ_{A1}: 상하악 중절치 치근침의 변위각도
- θ_{A2}: 상하악 측절치 치근침의 변위각도

다. 초기 응력분포 양상의 분석

각 실험모형에서 저항중심에 압하력을 가한 경우와 pure intrusion을 위한 후방 견인력을 동시에 가하였을 때 치주인대에서의 초기 응력분포 양상을 비교 분석하였다.

Table 2. C values on each loading locations in the maxillary experimental groups

Loading locations	Experimental groups			
	MxN	Mx10	Mx20	Mx30
1	0.0721	0.3024	0.6390	1.0526
2	0.0464	0.2539	0.5718	0.9708
3	0.0235	0.2055	0.5047	0.8890
4	0.0200	0.1575	0.4376	0.8072
5	0.0413	0.1102	0.3705	0.7252
6	0.0669	0.0658	0.3035	0.6432
7	0.0933	0.0366	0.2369	0.5613
8	0.1199	0.0564	0.1710	0.4793
9	0.1467	0.0993	0.1073	0.3975
10	0.1736	0.1461	0.0539	0.3158
11	0.2005	0.1941	0.0586	0.2344
12	0.2274	0.2426	0.1145	0.1538
13	0.2543	0.2913	0.1786	0.0762
14	0.2813	0.3401	0.2446	0.0382
15	0.3082	0.3890	0.3113	0.1029

* C value means the difference of vertical displacement of the root apex and midpoint of the incisal edge(μm)

III. 연구성적

분절호선장치를 사용하여 절치부 압하를 도모하는 경우에서 상하악 절치부를 정상 치축경사로부터 일정하게 순측경사시킨 여러 개의 3차원 유한요소모델을 제작한 후에, 먼저 각 치아군에서 저항중심의 위치 및 변화양상을 C값을 기초로 하여 구하였으며 이후에 pure intrusion을 이루기 위해 필요한 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 F값을 기초로 하여 구하였다.

가. 개개 치축 경사도에서 저항중심의 위치(Table 2,3)

1. 정상 치축 경사도를 가진 경우에서 상악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 6mm에서, 하악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 10mm에서 최소 C값을 나타내었다.
2. 순측경사가 10° 증가된 경우에서 상악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 9mm에서, 하악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 13mm에서 최소 C값을 나타내었다.
3. 순측경사가 20° 증가된 경우에서 상악 절치부에서

는 측절치 브라켓 후방 12mm에서, 하악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 15mm에서 최소 C값을 나타내었다.

4. 순측경사가 30° 증가된 경우에서 상악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 16mm에서, 하악 절치부에서는 측절치 브라켓 후방 18mm에서 최소 C값을 나타내었다.

나. 개개 치축 경사도에서 pure intrusion을 위한 후방 견인력의 크기(Table 4,5)

앞에서 결정된 저항중심의 2mm 전방부위에 압하력을 가한 경우에 pure intrusion을 위하여 요구되는 후방 견인력의 크기를 구하였다.

1. 정상 치축 경사도를 가진 경우에 상악에서는 40g, 하악에서는 10g에서 최소 F값을 나타내었다.
2. 순측경사가 10° 증가된 경우에 상악에서는 150g, 하악에서는 25g에서 최소 F값을 나타내었다.
3. 순측경사가 20° 증가된 경우에 상악에서는 225g, 하악에서는 85g에서 최소 F값을 나타내었다.
4. 순측경사가 30° 증가된 경우에는 상하악 모두에서 최소 F값을 결정할 수 없었다.

Table 3. C values on each loading locations in the mandibular experimental groups

Loading locations	Experimental groups			
	MnN	Mn10	Mn20	Mn30
1	0.3086	0.7199	102371	1.8069
2	0.2702	0.6556	1.1505	1.7018
3	0.2307	0.5895	1.0616	1.5937
4	0.1901	0.5218	0.9702	1.4826
5	0.1484	0.4522	0.8763	1.3686
6	0.1057	0.3810	0.7802	1.2517
7	0.0620	0.3083	0.6817	1.1319
8	0.0184	0.2343	0.5810	1.0094
9	0.0301	0.1599	0.4781	0.8841
10	0.0763	0.0882	0.3731	0.7562
11	0.1240	0.0481	0.2662	0.6256
12	0.1727	0.0998	0.1584	0.4926
13	0.2223	0.1774	0.0563	0.3573
14	0.2729	0.2600	0.0810	0.2198
15	0.3244	0.3452	0.1913	0.0835
16	0.3767	0.4322	0.3078	0.0745
17	0.4299	0.5209	0.4269	0.2147

Table 4. F values on each distal forces in the maxillary experimental groups

Distal force(g)	Experimental groups		
	MxN	Mx10	Mx20
20	9.9070		
30	8.8821		
40	8.5550		
50	8.8454		
60			
80			
100		8.3062	
120		7.6905	
140		7.4417	
150		7.4108	
160		7.4208	
180			0.15375
200			0.07621
220			16.141
225			16.140
230			16.150

Table 5. F values on each distal forces in the mandibular experimental groups

Distal force(g)	Experimental groups		
	MnN	Mn10	Mn20
5	9.3272		
10	8.7560		
15	9.4204	10.3220	
20	10.3830	10.0120	
25	12.0220	9.9411	
30		10.1410	
35		10.5200	
40			
60			
75			13.1000
80			12.9830
85			12.9430
90			12.9800
95			13.0940

* F value means the difference of displacement angle of the root apex and midpoint of the incisal edge(°)

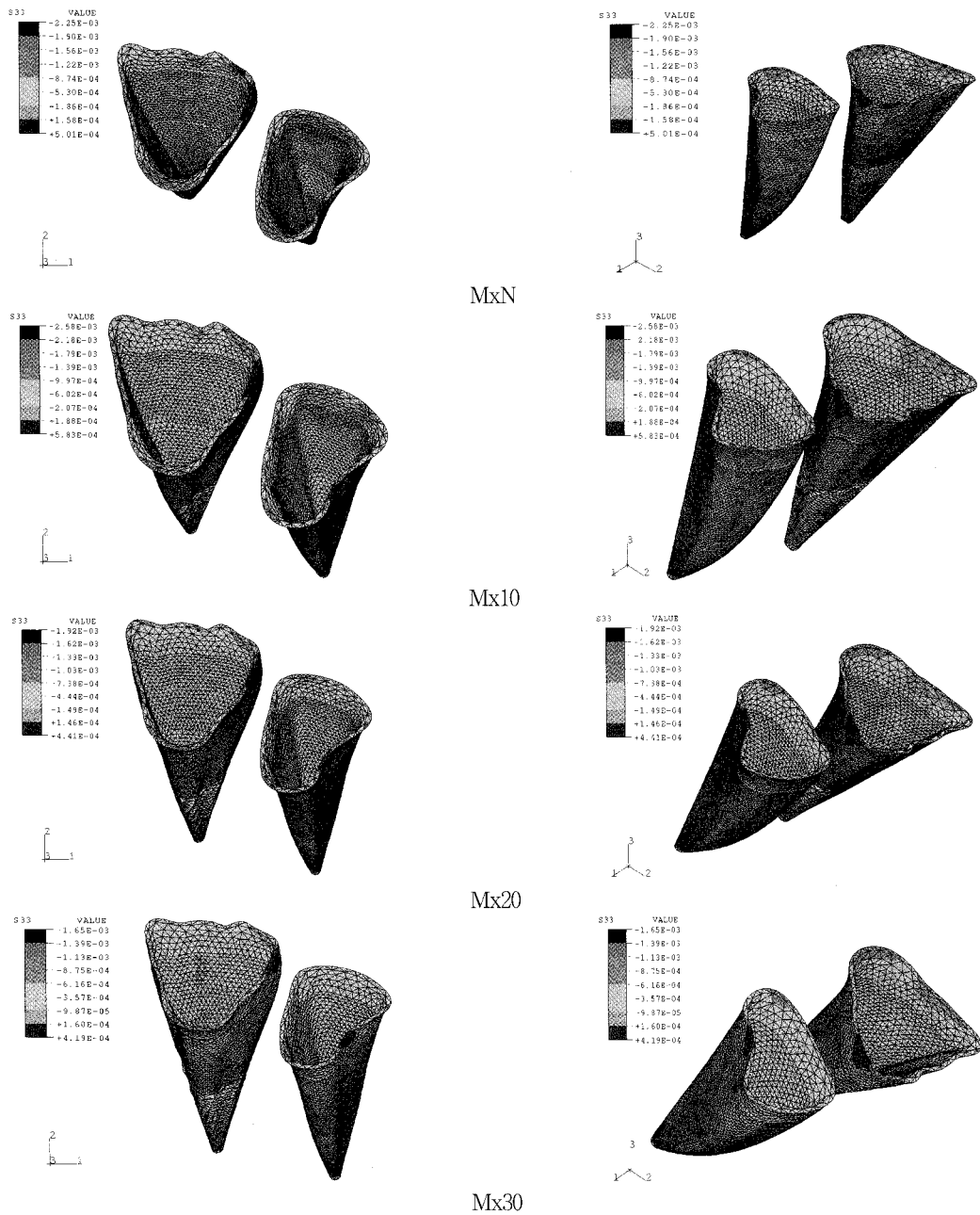


Fig. 9. Stress distributions on the periodontal ligament of the maxillary experimental groups during genuine intrusion.

다. 절치부의 순축경사에 따른 저항중심과 후방 견
인력의 변화양상

상하악에서 모두 절치부의 순축경사가 증가할수록
저항중심은 후방으로 이동하는 양상을 나타내었다
(Table 2,3).

상하악 절치부의 순축경사가 20°까지 증가할수록
pure intrusion을 위해 필요한 후방 견인력의 크기도

증가하였다(Table 4,5).

라. 응력분포 양상

개개 실험모형에서 저항중심으로 결정된 하중점에
압하력을 가하였을 때의 응력분포를 살펴보면 치주
인대의 대부분에서 균일한 압축응력을 보였다(Fig.
9,10).

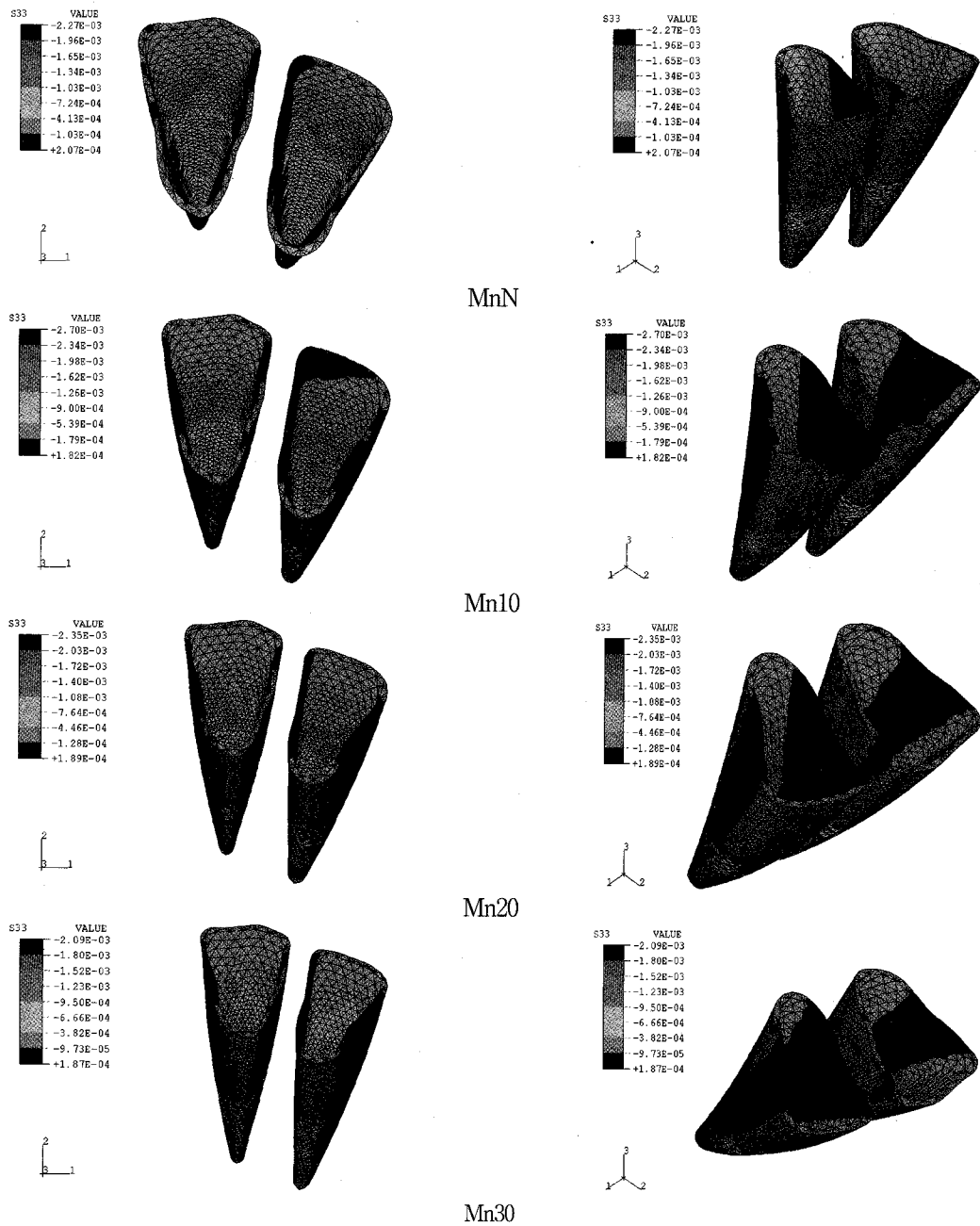


Fig. 10. Stress distributions on the periodontal ligament of the mandibular experimental groups during genuine intrusion.

Pure intrusion을 위해 후방 견인력을 압하력과 동시에 적용한 경우(Mx30, Mn30군 제외)에서도 유사한 양상을 보였으나 순측경사가 증가할수록 응력분포양상이 복잡해지고 응력 범위도 증가하는 양상을 보였다(Fig. 11,12).

IV. 총괄 및 고찰

과개교합을 교정적으로 개선하려는 경우 안면 골격의 전후방 및 수직적인 관계, 안정위에서나 웃을 때의 절치와 구순의 수직적 위치관계 등에 대한 고려가 필요하다. 일반적으로 성장이 종료된 성인 환자나 수

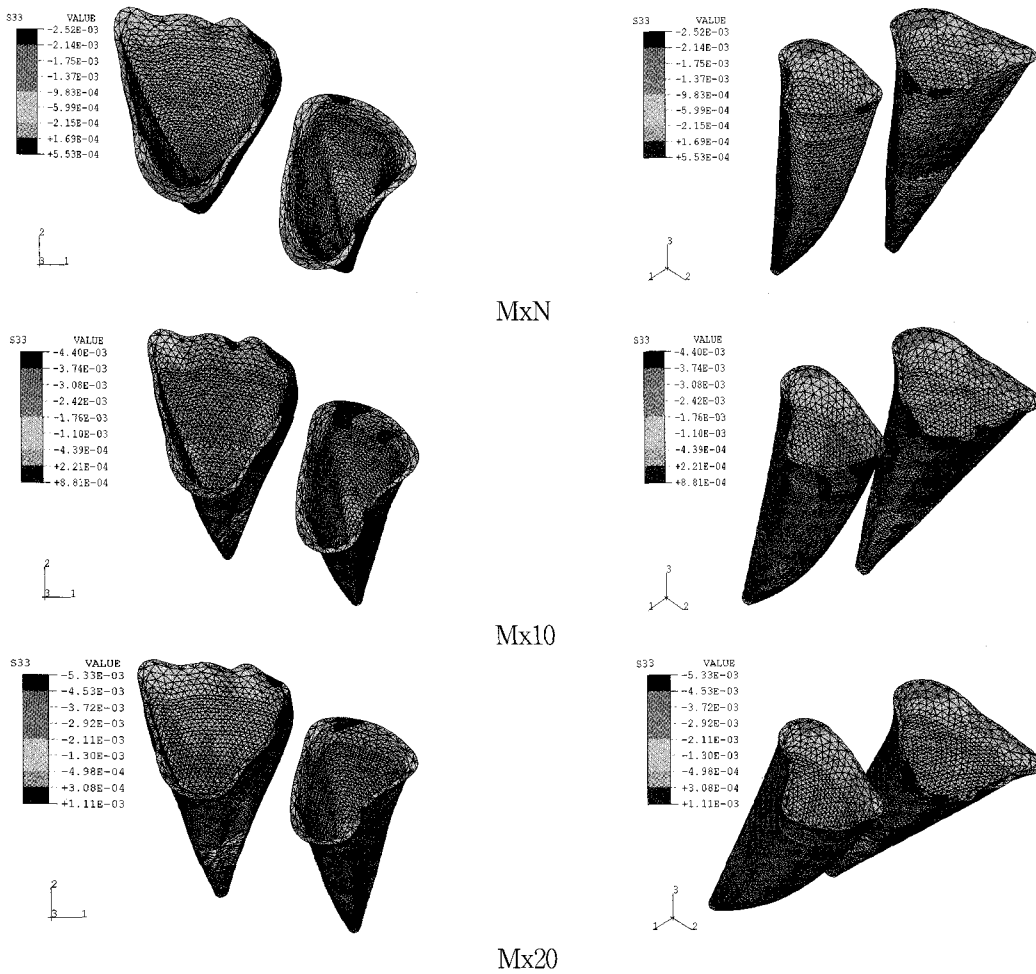


Fig. 11. Stress distributions on the periodontal ligament of the maxillary experimental groups during pure intrusion.

직적으로 긴 골격형태를 가지는 환자에서는 절치부의 압하를 통한 개선이 요구되어지는데, Burstone¹⁾은 대부분의 II급 부정교합 환자들은 이미 큰 전안모고 경과 돌출형 안모를 가지고 있기 때문에 기존의 수직고경을 증가시키기 보다는 감소시키거나 유지하는 것이 바람직하므로 과개교합의 개선을 위하여 순수한 절치부의 압하가 필요하다고 하였다.

분절호선을 사용하여 절치부 압하를 도모하는 경우에는 압하를 위한 호선이 브라켓 내에 직접 삽입되지 않고 압하력은 호선 상에서 점 접촉을 통하여 부여되므로 연속호선을 사용한 경우보다 부작용을 감소시킬 수 있다. 또한 전후방이나 수직적인 치아이동에 유용하고 생리학적으로 간결하고 예측 가능한 힘 체계를 형성할 수 있으며, 절치부의 순수한 압하뿐만 아니라 후방 견인력의 추가에 의한 치축 경사의 동시·조

절도 가능하고 가해지는 압하력 또한 상대적으로 낮고 지속적으로 유지할 수 있으므로 구치부 고정원에 대한 부담도 줄어드는 등의 다양한 장점이 존재한다.^{9,10)} 그러므로 악궁의 분절화는 치아이동 후의 결과를 어느 정도 예측하면서 특정한 치료 목적을 달성할 수 있는 중요한 개념이라고 할 수 있으며 본 연구도 Burstone^{7,8)}의 분절호선법을 이용하여 시행되어졌다.

또한 치아의 순측경사 증가에 따른 저항중심의 위치 및 변화양상과 pure intrusion을 이루기 위해 필요한 후방 견인력의 크기 및 변화 양상 등을 파악하기 위하여 응력 분석법의 한 종류인 3차원 유한요소법을 이용하였다. 치아이동은 가해진 응력에 대한 반응으로 치주인대와 치조골에서 발생하는 일련의 remodeling 과정을 매개로 하여 일어나게 되므로 유한요소 모델 분석을 통한 치아 및 치주인대에서의 초기 응력

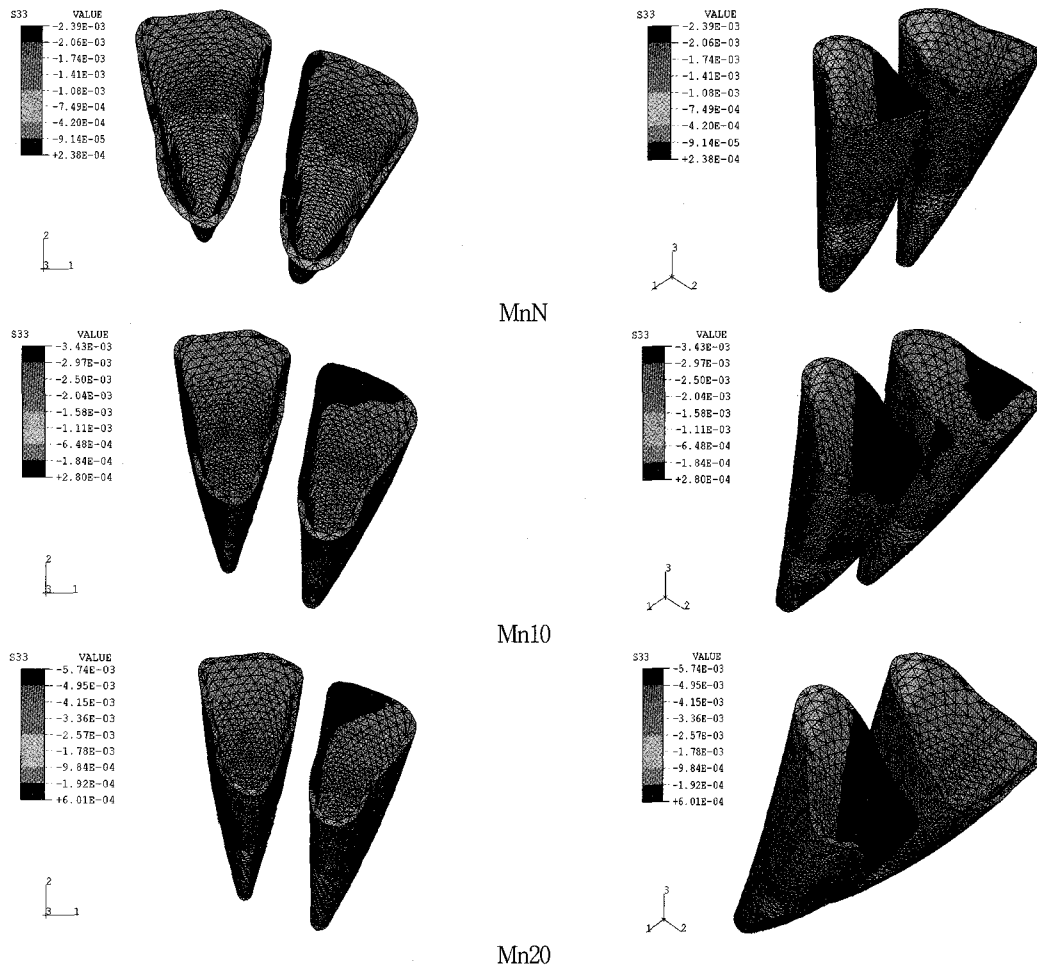


Fig. 11. Stress distributions on the periodontal ligament of the maxillary experimental groups during pure intrusion.

분포 양상의 분석을 통하여 이후에 발생할 치아이동 양상에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있다.¹³⁾

분절호선을 사용하여 절치부 압하를 도모하는 경우에 가장 중요한 개념은 압하되는 치아 또는 치아군의 저항중심의 위치이며 압하력의 부여 위치에 따라 순측경사나 설측경사 등이 압하와 동반되어 발생할 수 있다.

상악 4절치의 압하를 위한 저항중심을 찾는 연구들을 살펴보면 박 등¹²⁾은 측절치와 견치의 치간부를 잇는 선상에 존재한다고 하였고 박 등¹⁷⁾은 측절치와 견치 브라켓 사이 공간의 후방 2/3 부위에 존재한다고 하였다. 그리고 Dermaut 등¹³⁾은 측절치의 후방 부위에 근접하여 존재한다고 하였으며, Pedersen 등¹⁴⁾은 견치 원심면의 약 3mm 전방 부위에, Vanden Bulcke 등¹⁵⁾은 견치와 제1소구치 사이에 위치한다고 언급하

였다.

이들의 연구 결과를 살펴보면, 상악 절치부 압하를 도모하는 경우에 있어서 저항중심의 위치는 연구에 사용된 방법이나 재료에 따라 어느 정도의 견해 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

정상적인 치측경사를 이루는 상악 4절치를 대상으로 한 본 연구의 결과, 저항중심은 측절치 브라켓 원심면에서 약 6mm 후방지점, 즉 견치 치관 근원심 중앙부의 약간 전방에 존재하는 것으로 나타나서 Dermaut¹³⁾, 박 등¹⁷⁾의 연구와 유사하였다.

전치부 과개교합은 임상적으로 상악에서 reverse curve of Spee, 그리고 하악에서 curve of Spee의 증가로 나타나게 되는데, 특히 하악에서 그 양상이 두드러진다. 일반적으로 이상적인 상악 절치부의 노출 정도는 3mm정도라고 알려져 있으며 Shroff 등¹⁸⁾은 상

악 절치부가 이상적인 상태로 개선된 후에도 과개교합이 잔존하거나 하악 치열궁에 심한 curve of Spee가 존재하는 경우, 또는 하악 절치부에 의한 상악 구개 연조직의 압박이 존재하는 경우에는 하악 절치부의 압하가 필요하다고 하였다.

Subtelny²⁷⁾는 일반적으로 상순은 상악 전치가 완전히 맹출한 후에는 치조정에 대해 일정한 관계를 유지한다고 보고하였으나 최근의 다른 연구들에 의하면 연령이 증가함에 따라 중력과 피부 탄력성 감소 등의 영향에 의해 상순과 하순이 하방으로 처지게 되어 상악 전치부의 노출량이 점차로 감소하고 하악 전치부의 노출량은 상대적으로 증가하게 된다고 한다.^{20,28,29)}

그러므로 상순이 수직적으로 짧거나 gummy smile을 보이는 환자에서는 상악 절치부의 압하가 필요하지만 상순과 절치부 절단면 사이의 수직 거리가 2mm 이하인 경우에서의 상악 절치부 압하는 심미적인 관점에서 나이들어 보이는 얼굴을 초래하게 되므로 피해야 한다.

현재까지의 저항중심에 대한 연구들은 대부분 상악 절치부를 대상으로 하여 이루어졌고 하악 절치부에 대한 연구는 상대적으로 미미하다고 할 수 있는데, 하악 전치부 치근을 싸고 있는 치조골의 순설측 두께가 상악 전치부보다 상대적으로 좁고, 골질 또한 더 단단하여 상대적으로 압하를 시행하기 어려운 점이 한 원인이 되었을 수 있다고 생각된다. 본 연구에서 정상 치축 경사도를 가지는 하악 4절치의 저항중심은 측절치 브라켓 원심면에서 약 10mm 후방으로서 견치 원심면 부위에 존재하였다. 현재까지 하악 절치부의 저항중심에 대한 연구는 거의 없었으므로 앞으로 본 연구 결과에 대한 부가적인 평가가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

치아 및 치아군의 저항중심은 특정 부위에 고정되어 있는 것이 아니고 치아를 둘러싸고 있는 해부학적 구조물과 분리해서 생각할 수 없으며 치근의 길이 및 형태, 치아의 순설 경사도와 위치, 치관의 크기, 치조골의 높이 및 형태와 습도의 정도, 치주인대의 상태, 그리고 생체 조직의 교정력에 대한 반응 정도 등의 다양한 요소들에 의해 변화될 수 있다.^{15,30,31)} 그러나 압하력의 크기는 저항중심의 위치에 큰 영향을 주지 않는다고 하였다.¹⁵⁾

절치부의 압하를 계획하는 경우에 있어서 절치부의 순측경사 정도나 치근의 치밀골에 대한 상대적인 위치 관계를 파악하기 위한 방사선학적 검사가 매우 중요한데, 왜냐하면 압하는 치밀골 사이에 존재하는

해면골 상에서 이루어져야 하기 때문이다. Angle II급 1류 부정교합에서는 흔히 절치부가 심하게 순측경사되어 있으므로 부가적인 고려가 필요하다. 일반적으로 사용되고 있는 치료개념을 살펴보면, 압하에 앞서 치축경사 개선을 위한 절치부의 후방이동을 먼저 시행하는 방법과 절치부 압하를 통한 과개교합의 개선을 먼저 시행하는 방법으로 나누어 볼 수 있다. Ten Hoeve 등³²⁾은 압하를 먼저 시행함으로써 절치의 후방이동을 위해 필요한 전치부 교합거상의 조기 달성, 치근단이 치조골의 더 넓은 부분으로 이동함에 의해서 후방견인 시 치근이 구개측의 치밀골에 접촉할 가능성이 줄어들고 이로 인한 치근흡수 가능성도 감소하는 등의 장점이 있다고 하였다.

박 등¹²⁾은 실제적인 저항중심의 위치는 절치부의 순측경사에 따라 현저히 변화되지 않지만 압하력을 가하는 지점은 브라켓에 삽입된 호선 상이므로 이 위치를 기준으로 한 상대적인 저항중심의 위치는 치축경사 정도에 따라 변화된다고 하였다. 절치부의 순측경사에 따른 저항중심의 위치에 대한 본 연구 결과를 살펴보면 측절치 브라켓의 원심면을 기준으로 상악에서는 10°, 20°, 그리고 30° 순측경사시킨 경우에서 각각 9mm, 12mm, 그리고 16mm 후방 지점에, 하악에서는 각각 13mm, 15mm, 그리고 18mm 후방 지점에 존재하였다. 이를 통하여 상하악 모두에서 절치부의 순측 경사도가 증가할수록 저항중심의 위치도 더 후방으로 이동하였고^{12,17)} 그 증가 양상 또한 어느 정도 일정하였으며 상악에서 저항중심의 후방이동 정도가 약간 더 크게 나타났다. 이러한 연구 결과는 상악 절치부를 대상으로 한 박 등¹⁷⁾에 의한 연구와는 차이를 보이는데, 그들이 설정한 상악 절치부 치축 경사 변화량은 본 연구와 동일하였음에도 불구하고 저항중심의 후방이동 정도는 2mm 이내의 적은 양이라고 하였다. 이러한 상이한 결과는 압하력에 대한 치아의 변위를 정의하는 방법의 차이에 의한 것으로 생각되는데, 박 등¹⁷⁾은 브라켓의 edge에서 네 개의 절점을 선정하였고 본 연구에서는 절단면의 중점과 치근첨에 존재하는 절점을 사용하였다.

저항중심에서 압하력을 가한 경우에 초기 응력분포 양상을 살펴보면 치주인대의 순측면뿐만 아니라 설측면에서도 균일한 초기 압축응력이 나타났다(Fig. 9,10). 이는 압하력을 가했을 때 수직 방향으로의 순수한 초기 이동만이 일어난 것이 아니고 약간의 후방이동이 동반되어 나타났다는 것을 의미하는데, 이런 결과는 일반적인 genuine intrusion의 개념에서 생각

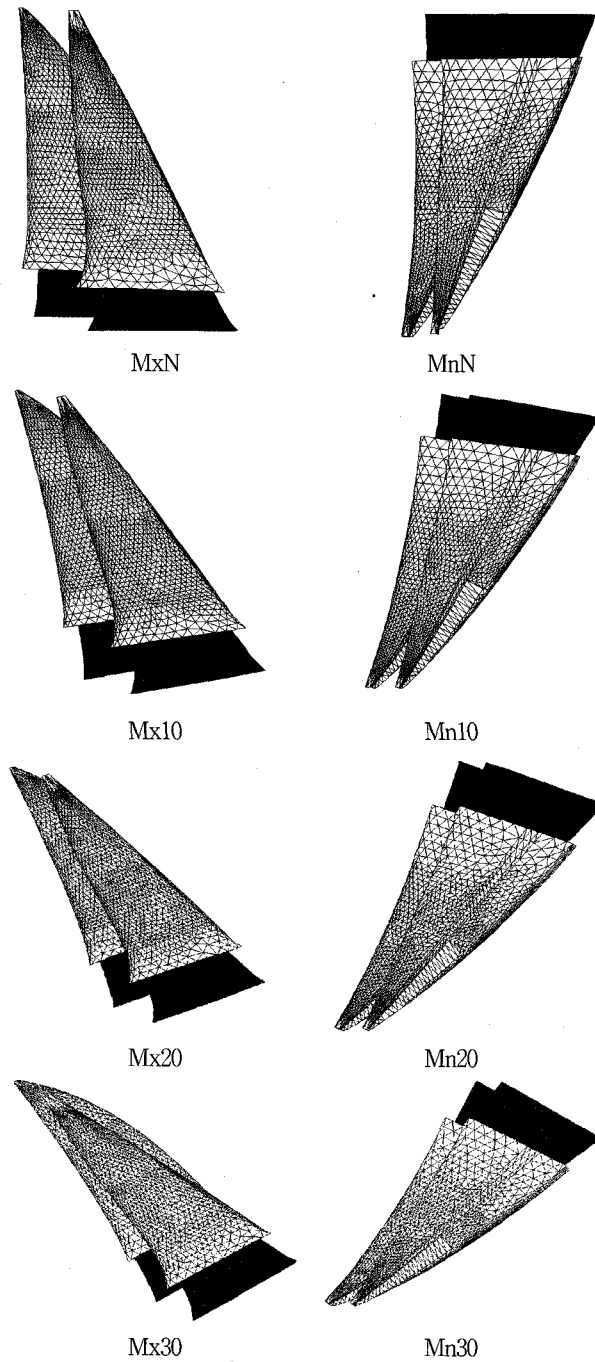


Fig. 13. Modes of the initial tooth displacement in each experimental groups when intrusion force was applied to the determined center of resistance.

하면 다소 의외라고 생각된다. 실제로 이러한 양상은 전 실험군에서 나타났으며 치아가 순측경사될수록 그 경향은 더 증가하였고 20°와 30° 순측경사된 경우

에 있어서는 pure intrusion과 유사한 초기 이동양상을 보였다(Fig. 13). 이는 치근이 교합평면에 대해 실제적으로 일정한 각도를 가지고 기울어져 있는 상태라고 할 수 있으므로 저항중심에서 압하력을 가하였을 때 치아가 치조골의 경사면을 따라 치근단 방향으로 미끄러지는 초기 경향을 나타낸 것으로 가정할 수 있으며 압하력을 가하는 부위가 후방으로 이동할수록 이러한 양상이 더 커지지 않았나 생각된다. 이러한 초기 응력분포 양상을 고려한다면 절치부 압하를 도모하는 경우에 있어서 이동의 초기 단계에는 약간의 후방이동 또한 동반되어 진다고 가정할 수 있으나 이러한 양상이 치아이동의 진행과 더불어 지속적으로 나타나는 지에 대해서는 차후 임상적인 검토가 필요한 부분이라고 생각된다.

치조골의 상태도 저항중심의 위치에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 작용하는데, 치주질환에 의한 치조골의 수직적 흡수가 존재하는 경우에는 흡수량의 증가에 따라 치아 또는 치아군의 저항중심도 점차적으로 후방이동한다.^{16,17} 본 연구는 정상적인 치조골 상태를 가정하여 이루어졌지만, 절치부의 순측경사와 치조골 소실을 동반하는 성인 환자에서의 저항중심은 본 연구 결과보다 더 후방에 위치할 것으로 예상되므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

선학들은 압하 시에 발생할 수 있는 절치부의 순측경사를 조절하거나 후방이동과 압하를 동시에 달성하기 위해서 여러 가지 방법을 통한 후방 견인력의 적용이 필요하다고 하였으며^{2,13,18} 이를 위해서는 압하력 적용부위의 전후방적 조정이 필요하게 된다.

Shroff 등¹⁸은 분절호선의 사용을 통하여 정출된 절치부의 압하와 후방 이동을 동시에 시행하는 방법을 제시하였는데, 압하력 적용 부위를 측절치 브라켓 근처로 전방이동시키고 약한 후방 견인력을 부여함으로써 pure intrusion을 달성할 수 있고 절치부의 치축개선을 동시에 도모하기 위해서는 압하력을 저항중심 후방부에서 가함과 동시에 후방 견인력을 추가로 적용해야 한다고 하였으며, 이 경우에 절치부의 후방 이동은 주로 절치부에서 발생하는 모멘트에 의해서 이루어진다고 하였다. 그러나 저항중심의 후방부에서 가해지는 압하력 만으로도 절치부의 설측경사를 초래하는 모멘트가 발생할 것으로 예상할 수 있으므로 부가적으로 후방 견인력까지 적용하면 치관의 심한 설측경사를 초래하고 치근의 순측이동에 의한 치밀골과의 접촉으로 인하여 치근흡수의 가능성 또한 증

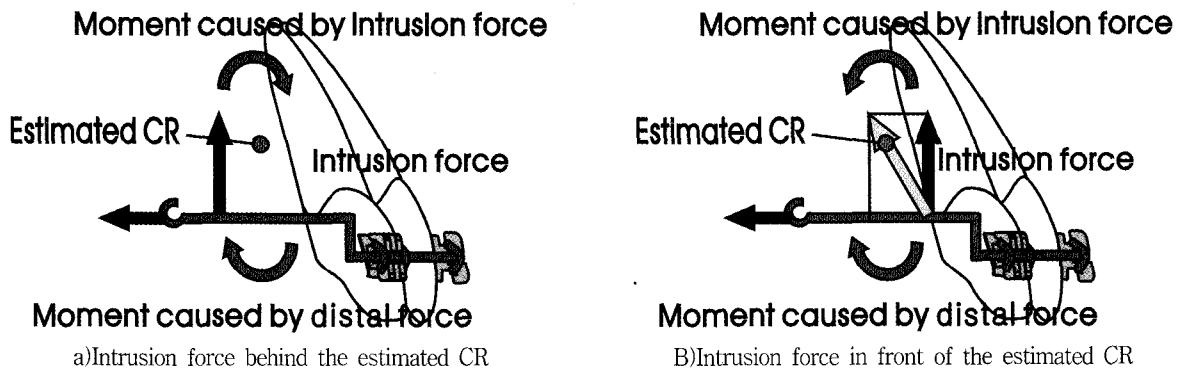


Fig. 14. Differences in moments produced by the intrusion and retraction force.

가시킬 것으로 생각된다. 이에 본 연구에서는 치축경사를 보다 점진적으로 변화시켜 압하와 조화를 이루므로써 상방의 더 넓은 치조골 부위에서 치근이 이동되도록 하기 위하여 압하력을 저항중심 전방에서 가하고 후방 견인력을 적절히 조절하여 절치부에서 발생하는 치관 설측 모멘트의 양을 최소화하려고 시도하였다(Fig. 14).

Shroff 등¹⁸⁾은 이러한 이동에 요구되는 후방 견인력의 양은 크지 않을 것이며 이에 의해 발생하는 구치부의 tip-forward moment는 절치부에 압하력을 가함에 따라 발생하는 tip-back moment에 의해 상쇄될 정도의 양으로써, 고정원에 대한 부담은 임상적으로 문제가 되지 않는다고 하였다. 하지만, 치아의 순측경사 정도와 압하력의 적용부위 및 후방 견인력을 동시에 고려하여 각각의 상황에서 필요한 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 찾아본 연구는 존재하지 않았다.

본 연구에서는 압하력을 개개 치축 경사도에 따라 정해진 저항중심의 2mm전방 부위에서 가했을 때 pure intrusion을 달성할 수 있는 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 알아보려고 하였다.

그 결과 후방 견인력의 크기가 예상한 것보다 크게 나타났는데, 이는 유한요소 모델링에 치조골을 포함시키지 않았으므로 초기변형을 유도하기 위하여 실제 양상보다 더 큰 힘의 적용이 필요하였기 때문이다. 따라서 본 연구에서 얻어진 후방 견인력 자체를 임상적으로 적용하는 것은 무리가 있으며, 향후 치조골을 포함한 부가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

절치부의 순측경사가 증가함에 따라 pure intrusion을 달성하는데 요구되는 후방 견인력의 크기도 증가하였는데, 이는 다양한 절치부 치축경사를 가지는 과개교합의 치료에 있어서 임상적 의미가 있다고 할 수

있을 것이다.

그리고 후방 견인력을 찾기 위해 사용된 F값을 살펴보면 그 수치가 상당히 큰 것을 알 수 있는데, 이는 절치부를 구성하는 네 개의 치아가 완전하게 치축을 따라 이동하게 되는 후방 견인력을 찾기가 어려움을 보여준다고 할 수 있다. pure intrusion에 더 근접한 치아이동 방법을 찾아보기 위하여 후방 견인력 없이 저항중심에서만 압하력을 가한 경우(#1)와 2mm 전방에 압하력과 후방 견인력을 가하였을 때(#2)의 F값 변화 양상을 비교해 보았는데, 상하악 절치부에서 모두 10°와 20°사이에서 F값의 크기가 역전됨을 알 수 있었다(Fig. 15). 이는 20° 이상의 순측경사를 보이는 경우에는 압하력과 후방 견인력을 동시에 적용하는 방법으로는 pure intrusion을 달성하기가 어려우며 오히려 저항중심에서 압하력만을 가하는 것이 더 유리하다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 이런 경향은 응력분포 양상에서도 나타났는데, 정상 치축경사를 가지는 경우에는 비교적 균일한 응력분포 양상을 보이지만 순측경사될수록 응력분포 양상이 복잡해지고 응력의 크기도 증가하여 pure intrusion 양상에서 벗어남을 알 수 있었다(Fig. 11,12).

또한 상하악 모두 30° 순측경사된 경우에는 유효한 F값을 결정할 수 없었는데, 후방 견인력을 증가시키며 따라 F값은 지속적으로 증가하는 양상을 보였다(Fig. 16). 이 결과 또한 순측경사가 심한 경우에서 압하력과 후방 견인력의 동시 적용을 통한 pure intrusion의 도모는 크게 효과적이지 못함을 보여주는 것이라 판단되며 부분적인 절치부 후방견인을 통한 순측경사의 적절한 개선을 먼저 시행하는 방법도 고려해야 함을 의미한다고 생각된다.

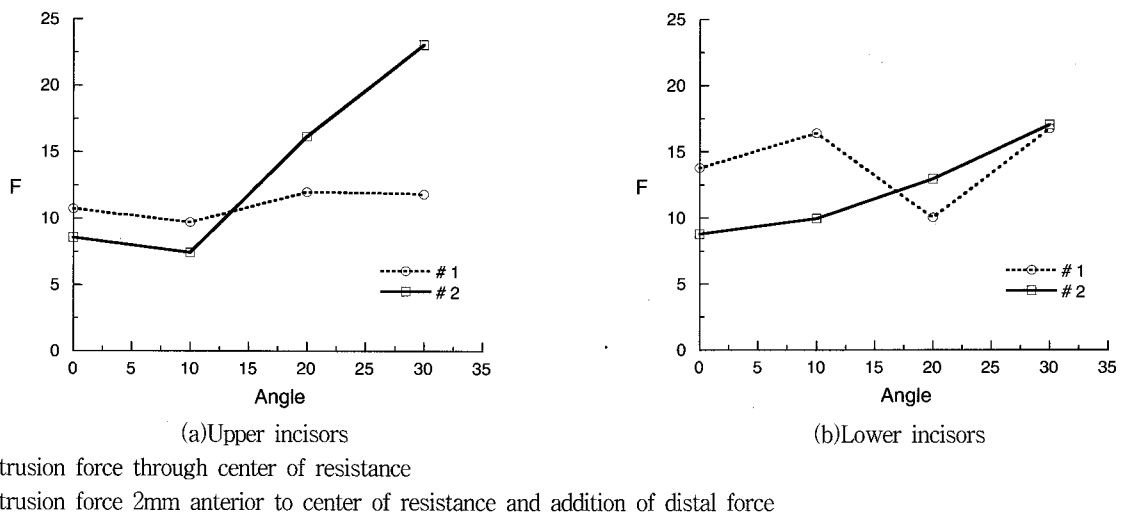


Fig. 15. Comparisons of F value between #1 and #2 in the maxillary and mandibular experimental groups.

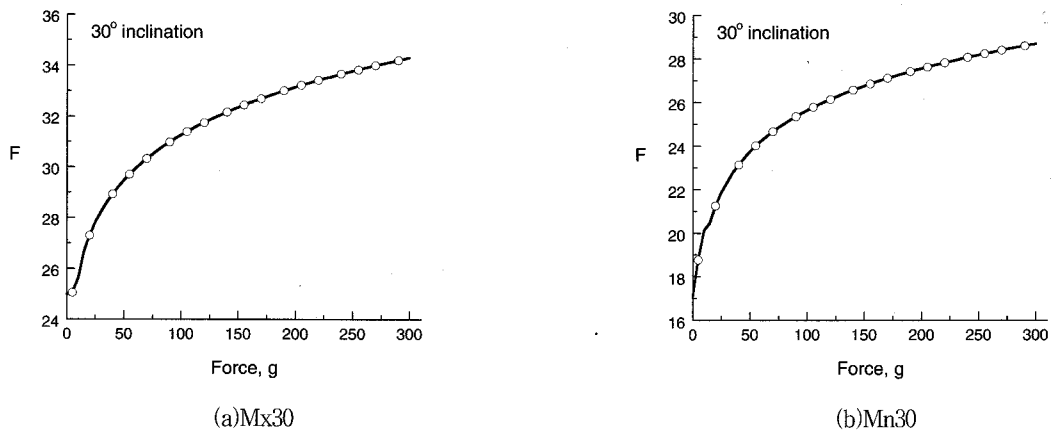


Fig. 16. Changes of F value according to the gradual increase of distal force in group Mx30 and Mn30.

본 연구는 평균적인 치관 폭경과 치근 형태 및 길이를 가진 치아를 대상으로 이루어진 것이므로 임상적으로 다양하게 나타나는 개개 치아의 치관 근원심 폭경과 치근의 길이, 그리고 형태의 다양성을 반영하지 못하였는데, 이러한 요소들에 의한 저항중심의 위치 변화가 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 치열궁의 전방부 형태도 이상적인 상태를 대상으로 하였지만 환자에 따라 다양할 수 있으므로 또 다른 고려사항이 될 수 있을 것으로 생각된다.

그리고 유한요소 모델링 과정에서 복잡한 생체 구조물의 단순화가 필요하고 모델링에 사용된 치아 및 치주인대의 표준화된 물성치는 개개 환자에서 나타

날 수 있는 생물학적 다양성을 완전히 반영하지는 못할 것이므로 이로 인한 차이도 발생할 수 있다. 그러므로 본 연구결과와 해석에 있어서도 오차 발생 가능성이 존재함을 고려하여야 한다. 그리고 유한요소법은 단지 힘을 가했을 때의 초기 응력분포 및 변위 양상만을 보여주므로 여기에서 도출된 결과를 이용하여 치아이동의 전 과정을 예측하는 데에는 무리가 따른다고 할 수 있다. 그러므로 본 연구 결과의 임상적 적용에 있어서 이러한 한계점을 인식하여 치아이동 양상의 주기적인 관찰 및 생력학적인 조정과 임상적 재평가의 과정이 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 상악 절치부의 압하를 도모하기 위한 장치의 하나인 분절호선장치를 사용하여 절치부의 순측경사에 따른 저항중심의 위치와 변화양상, 그리고 치축경사 개선과 압하를 동시에 이루기 위해 필요한 최소 후방 견인력의 크기 및 변화양상을 알아보기 위하여 3차원 유한요소법을 이용하여 시행되어졌으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치축 경사도의 변화에 따른 상악 절치부 저항중심은
 - 1) 정상 치축경사를 가진 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 6mm에 위치하였다.
 - 2) 순측경사가 10° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 9mm에 위치하였다.
 - 3) 순측경사가 20° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 12mm에 위치하였다.
 - 4) 순측경사가 30° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 16mm에 위치하였다.
2. 치축 경사도의 변화에 따른 하악 절치부 저항중심은
 - 1) 정상 치축경사를 가진 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 10mm에 위치하였다.
 - 2) 순측경사가 10° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 13mm에 위치하였다.
 - 3) 순측경사가 20° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 15mm에 위치하였다.
 - 4) 순측경사가 30° 증가된 경우에서 측절치 브라켓 원심면 후방 18mm에 위치하였다.
3. 응력분포 양상은
 - 1) 각 저항중심에서 압하력을 가한 경우에 치주인대에 균일한 압축응력을 나타내었다.
 - 2) 후방 견인력을 동시에 적용한 경우에 순측경사가 증가할수록 응력분포 양상이 복잡해지는 양상을 보였다.
4. 상악 절치부의 순측경사가 증가할수록 저항중심의 위치는 후방으로 이동하였으며 20°까지 순측경사된 경우에는 pure intrusion을 위하여 필요한 후방 견인력의 크기도 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Burstone CJ. Deep overbite correction by intrusion. Am J Orthod 1977 : 72 : 1-22.
2. Sadowsky C and Selke T. Management of overbite by controlling incisor and molar movements. Semin Orthd 2000 : 6 : 43-9.
3. Braun S, Hnat WP and Johnson BE. The curve of Spee revisited. Am J Orthod Dentofac Orthop 1996 : 110 : 206-10.
4. Mitchell DL and Stewart WL. Documented leveling of the lower arch using metallic implants for reference. Am J Orthod 1973 : 63 : 526-32.
5. AlQabandi AK, Sadowsky C and BeGole EA. A comparison of the effect of rectangular and round archwires in leveling the curve of Spee. Am J Orthod Dentofac Orthop 1999 : 116 : 522-9.
6. Woods MG. A reassessment of space requirements for lower arch leveling. J Clin Orthod 1986 : 20 : 770-8.
7. Burstone CJ. The rationale of the segmented arch. Am J Orthod 1962 : 48 : 805-21.
8. Burstone CJ. Mechanics of the segmented arch technique. Angle Orthod 1966 : 36 : 99-120.
9. Shroff B, Lindauer SJ, Burstone CJ and Leiss JB. Segmented approach to simultaneous intrusion and space closure: Biomechanics of the three-piece base arch appliance. Am J Orthod Dentofac Orthop 1995 : 107 : 136-43.
10. Woods MG. The mechanics of lower incisor intrusion : Experiments in nongrowing baboons. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988 : 93 : 186-95.
11. Weiland FJ, Bantleon HP and Droschl H. Evaluation of continuous arch and segmented arch leveling techniques in adult patients : A clinical study. Am J Orthod Dentofac Orthop 1996 : 110 : 647-52.
12. 박기호, 손병화. Laser 반사 측정법을 이용한 상악 전치부 압하 시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구. 대치교정지 1993 : 23 : 619-31.
13. Dermaut LR and Van den Bulcke MM. Evaluation of intrusive mechanics of the type "segmented arch" on macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry. Am J Orthod Dentofac Orthop 1986 : 89 : 251-63.
14. Pedersen E, Isidor F, Gjessing P and Andersen K. Location of centres of resistance for maxillary anterior teeth measured on human autopsy material. Eur J Orthod 1991 : 13 : 452-8.
15. Vanden Bulcke MM, Dermaut LR, Sachdeva RC and Burstone CJ. The center of resistance of anterior teeth during intrusion using the laser reflection technique and holographic interferometry. Am J Orthod Dentofac Orthop 1986 : 90 : 211-20.
16. 하만희, 손우성. 치조골 상실에 따른 three-piece base arch appliance를 이용한 상악 전치부 intrusion에 대한 3차원 유한요소법적 연구. 대치교정지 2001 : 31 : 209-223.
17. 박춘근, 양원식. 상악 전치 intrusion 시 저항중심의 위치에 관한 3차원 유한요소법적 연구. 대치교정지 1997 : 27 : 259-272.
18. Shroff B, Yoon WM, Lindauer SJ and Burstone CJ. Simultaneous intrusion and retraction using a three-piece base arch. Angle Orthod 1997 : 67 : 455-61.
19. Hocevar RA. Orthodontic force systems: Technical refinements for increased efficiency. Am J Orthod 1982 : 81 : 1-11.
20. Zachrisson BU. Esthetic factors involved in anterior tooth display and the smile: Vertical dimension. J Clin Orthod 1998 : 32 : 432-445.
21. 대한치과교정학회 부정교합백서발간위원회. 한국 성인 정상 교합자의 석고 모형 계측연구 결과보고서. 2000 : 1-16.
22. Andrews I.F. Straight wire, the concept and appliance. Wells Co. L.A. 1989.

23. Wheeler RC. A textbook of dental anatomy and physiology. WB Saunders. Philadelphia. 1965 : 135-54, 172-84.
24. Coolidge ED. The thickness of the human periodontal membrane. JADA Dent Cosmos 1937 : 24 : 1260-70.
25. Tanne K, Sakuda M and Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces. Am J Orthod Dentofac Orthop 1987 : 92 : 499-505.
26. Marcotte MR. Biomechanics in orthodontics. B.C. Decker Inc. Philadelphia. 1990 : p112.
27. Subtelny JD. A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics defined in relation to underlying skeletal structures. Am J Orthod 1959 : 45 : 481-507.
28. Tjan AH, Miller GD and The JG. Some esthetic factors in a smile. J Prosthet Dent 1984 : 51 : 24-8.
29. Dong JK, Jin TH, Cho HW and Oh SC. The esthetics of the smile: A review of some recent studies. Int J Prosthodont 1999 : 12 : 9-19.
30. Matsui S, Caputo AA, Chaconas SJ and Kiyomura H. Center of resistance of anterior arch segment. Am J Orthod Dentofac Orthop 2000 : 118 : 171-8.
31. Smith RJ and Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. Am J Orthod 1984 : 85 : 294-307.
32. Ten Hoeve A, Mulie RM and Brandt S. Technique modifications to achieve intrusion of the maxillary anterior segment. J Clin Orthod 1977 : 11 : 174-85, 88-98.

- ABSTRACT -

The effect of labial inclination on intrusion of the upper and lower incisors by three-dimensional finite element analysis

Dong Woo Kim¹⁾, Hoon Chul Yang²⁾, Gi Tae Kim²⁾, Sung Sik Kim¹⁾, Woo Sung Son¹⁾

¹⁾ Department of Orthodontics, Pusan National University

²⁾ Department of Mechanical engineering, Pohang University of Science and Technology

This study was designed to investigate the position of anteroposterior center of resistance for genuine intrusion and the mode of change of the minimum distal force for simultaneous intrusion and retraction of the upper and lower incisors according to the increase of labial inclination. For this purpose, we used the three-piece intrusion arch appliance and three-dimensional finite element models of upper and lower incisors.

1. Positions of the center of resistance in upper incisors according to the increase of the labial inclination were as follows;
 - 1) In normal inclination situation, the center of resistance was located in 6mm behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
 - 2) In 10° increase of the labial inclination situation, the center of resistance was located in 9mm behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
 - 3) In 20° increase of the labial inclination situation, the center of resistance was located in 12m behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
 - 4) In 30° increase of the labial inclination situation, the center of resistance was located in 16m behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
2. Positions of the center of resistance in lower incisors according to the increase of the labial inclination were as follows;
 - 1) In normal inclination situation, the center of resistance was located in 10mm behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
 - 2) In 10° increase of the labial inclination situation, the center of resistance was located in 13mm behind the distal surface of the lateral incisor bracket.

- 3) In 20° increase of the labial inclination situation, the center of resistance was located in 15m behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
 - 4) In 30° increase of the labial inclination situation, the center of resistance was located in 18m behind the distal surface of the lateral incisor bracket.
3. The patterns of stress distribution were as follows;
- 1) There were even compressive stresses in and periodontal ligament when intrusion force was applied through determined center of resistance.
 - 2) There were gradual increase of complexity in compressive stress distribution pattern with increase of the labial inclination when intrusion and retraction force were applied simultaneously.
4. With increase of the labial inclination of the upper and lower incisors, the position of the center of resistance moved posteriorly. And the distal force for pure intrusion was increased until 20° increase of the labial inclination.

KOREA. J. ORTHOD. 2003 : 33(4) : 259-77

Key words : Deep overbite, Incisor intrusion, Center of resistance, Three-dimensional finite element analysis