

치조골 상실에 따른 three-piece base arch appliance를 이용한 상악전치부 intrusion에 대한 3차원 유한요소법적 연구

하 만 희¹⁾ · 손 우 성²⁾

치조골 결손을 갖는 환자의 상악전치부 압하(intrusion)시 필수적인 pure intrusion을 위해 three-piece base arch appliance와 후방견인력의 적용이 필요하게 된다. Three-piece base arch appliance를 적용한 상악전치부 압하시의 상악 6전치, 치근막 및 치조골의 3차원 유한요소모델을 제작하였다. Three-piece base arch appliance를 이용한 상악 전치부 압하시 치아 수에 따른 저항중심의 위치, 치조골 흡수에 따른 pure intrusion을 위한 후방견인력 변화 양상, 그리고 이때의 치조골 높이에 따른 저항중심의 수직적, 수평적 위치 변화의 상관관계에 대해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 치축 경사도와 치조골 높이가 정상이고, 압하시 three-piece base arch appliance를 이용한 경우 압하 하중점이 전후방적으로 저항중심을 통과하기 위한 조건은 다음과 같다.
 - 1) 2 전치군(중절치군)을 대상으로 한 경우에는 중절치 브라켓 원심면에서 후방 6mm 지점으로, 측절치 브라켓 전방 1/3부위에 위치하였다.
 - 2) 4 전치군(중절치와 측절치군)을 대상으로 한 경우에는 측절치 브라켓 원심면에서 후방 5mm 지점으로, 측절치와 견치 브라켓 사이 공간의 후방 2/3부위에 위치하였다.
 - 3) 6 전치군(중절치, 측절치와 견치군)을 대상으로 한 경우에는 견치 브라켓 원심면에서 후방 7mm 지점으로, 제 1소구치 브라켓 중앙부위에 위치하였다.
 - 4) 치아 수 증가에 따른 저항중심의 후방이동을 관찰할 수 있었고, 4 전치군 보다 6 전치군에서 후방 이동량이 크게 나타났다.
2. 치조골 높이가 정상일 때, pure intrusion을 위한 후방견인력을 적용할 경우 수직 압하점은 저항중심과 같거나 약간 전방에 위치했다.
3. 동일한 압하력과 압하점 적용시 치조골 상실 증가에 따른 압하시 pure intrusion을 위한 후방견인력 변화는 다음과 같다.
 - 1) 2 전치군과 4 전치군의 후방 견인력은 6 전치군의 후방 견인력에 비해 낮게 나타났다.
 - 2) 치조골이 상실됨에 따라 각 치아군 후방견인력은 증가됨을 보였다.
4. 상악 전치부 치아군과 치조골 높이에 따른 저항중심의 수평적, 수직적 위치간 상관관계는 다음과 같다.
 - 1) 2 전치군일 때, 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적 위치변화에 대한 수평적 위치 변화가 가장 크게 나타났다. 치아 수가 증가할수록 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적 위치 변화에 대한 수평적 위치변화는 작아지는 경향을 보였다.
 - 2) 치조골 상실량이 커짐에 따라서는, 치아 수에 관계 저항중심의 수직적 위치변화에 대해 수평적 위치변화가 커졌다.

(주요단어 : 치조골 상실, Three-piece base arch, 상악전치부 intrusion, 3차원 유한요소법)

¹⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생.

²⁾ 부산대학교 치과대학 교정학교실, 교수.

교신저자 : 손우성

부산광역시 서구 아미동 17가 10

부산대학교 치과대학 교정학교실 / 051-240-7447

wsson@hyowon.pusan.ac.kr

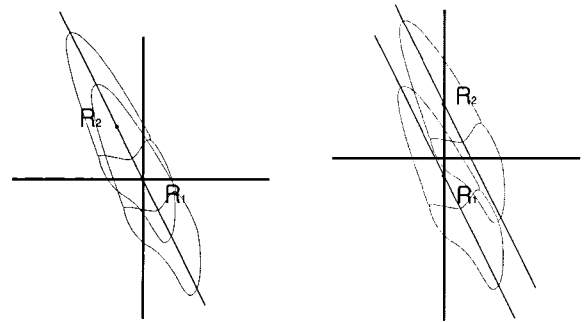
I. 서 론

성인의 교정치료에 대한 수요 증가에 따라 치주적 결함을 갖고 내원하는 환자가 급증하고 있다. 특히 구치부의 지지 붕괴와 전치부의 순측경사(labioversion) 및 정출(extrusion)을 주소로 하는 경우 전치부 압하(intrusion)와 후방견인(retraction)이 필요하게 된다.

치아의 압하(intrusion)는 Lefkowitz¹⁾에 의해 실험적으로 성견의 제 3소구치에 시도된 이후 anterior biteblock, J-hook과 reverse curve of Spee²⁾, utility arch³⁾, 그리고 gable bend와 elastic을 함께 사용하는 방법⁴⁾등이 적용되었으나, 대부분이 전치의 순측경사나 불필요한 torque를 발생하는 등의 부작용이 있었다. 이 점을 개선하기 위하여 Burstone⁵⁻⁷⁾은 base arch intrusion을 적용시 single-point 압하력 적용과 이상적 생체반응을 위한 압하력을 제시하였으며, 이후 Shoroff 등⁸⁾은 전치부 장축방향으로의 압하와 공간폐쇄를 동시에 도모할 수 있는 three-piece base arch appliance를 소개하였다. 특히 Melsen⁹⁾은 치주적 결함을 갖는 환자에서는 미약한 압하력에도 그 힘이 치주인대의 변연부에 집중되어 초산화(hyalization)에 의한 압하운동의 제한과 상피의 하방 성장이 일어난다고 하여, 압하시 치주조직 악화를 막기 위한 압하력 방향의 중요성을 지적했다.

임상적 견지에서 치아 이동에 관한 두 가지 주요 문제가 고려될 수 있는데, 첫째가 요구되는 회전중심을 얻기 위해 어떤 유형의 힘 체계가 필요한가이고, 둘째는 얼마만큼의 힘의 크기가 치아이동에 최적인가 하는 것이다¹⁰⁾.

치주적 결함을 갖는 환자의 경우 치아 장축을 유지한 상태의 수직적 치체이동인 genuine intrusion 보다는 치아 장축방향으로의 압하인 pure intrusion을 위한 힘 체계¹¹⁾가 신부착의 가능성 뿐 아니라 압하 효율이 클 것으로 생각된다(Fig 1). 따라서, 치주적 결함이 있는 환자에게는 후방견인력을 발휘할 수 있는 three-piece base arch appliance가 위해 작용 없는 효율적인 압하를 위해 역학적으로 가장 적합하다(Fig. 2). 압하시 얼마만큼의 힘이 최적인가하는 점에서 Reitan¹²⁾은 한 개의 치아를 압하할 때 25 gm/cm²의 힘이 적절한 교정력이라고 하였으며, 인간 소구치 압하를 조사하여 80-90 gm의 힘은 어느 정도 치근흡수를 유발하지만 30 gm을 넘지 않는 힘은 치근 손상을 유발하지 않는다고 하였다¹³⁾. 또한 Stenvik과 Mjör¹⁴⁾는 인간 소구치의 치수와 상아질에서 압하에



a. Pure intrusion b. Genuine intrusion
R₁, R₂: The center of resistance of before and after intrusion

Fig 1. Type of intrusion.

- a. Pure intrusion: Translational intrusion of teeth along their long axes.
- b. Genuine intrusion: Intrusion of teeth, maintaining parallelism of their axial inclination.

대한 효과를 조사하여 조상아 세포층의 공포화 현상과 전상아질층의 폭경 감소를 관찰했다. 150-200 gm의 힘이 치수혈관의 정체를 유발하였으며 오랜기간 관찰을 통하여 공포화 현상은 가역적이라고 하였다. 이상의 결과와 압하시 대부분의 치아 위해 작용이 순설측 부위의 응력 집중부위에 나타난다는 점에서, 압하유형이 압하력 크기보다 중요한 것으로 보인다. 단, 치주적 결함을 가지는 환자는 구치부 anchorage가 약하다는 점에서 구치 정출과 같은 부작용이 없도록 Melsen⁹⁾은 치아당 5-10 gm정도의 미약한 압하력을 제시하였다.

물체의 이동 방식이 저항중심에 대한 힘의 방향 및 하중점에 의해 결정되기 때문에 이전의 연구는 압하시 단일치아¹⁵⁻²²⁾와 다수치아의 공통적인 저항중심²³⁻²⁷⁾ 위치를 결정하거나, 전치 경사도와 치조골 상실에 따른 segmented arch mechanics 적용시 저항중심 위치 변화²⁸⁾를 예측하기 위한 것이었다. 그러나, 압하는 치축경사도를 유지한 단순한 수직적 치체이동(genuine intrusion)보다는 치아장축방향으로의 압하(pure intrusion)가 요구되기 때문에 후방견인력의 적용이 필요하다. 치주적 결함을 가진 성인환자의 상악 전치부 pure intrusion을 위한 임상적 적용시 지침이 될 만한 치조골 높이 변화에 따른 저항중심의 위치, 압하 하중점과 후방견인력 크기변화사이의 관계에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

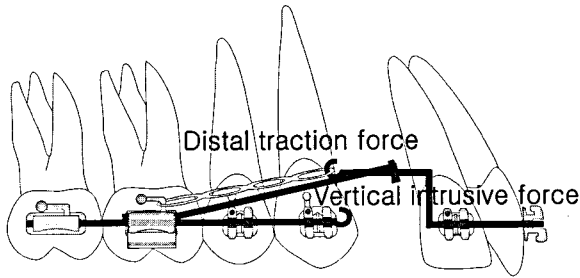


Fig 2. Three-piece intrusion arch appliance for simultaneous intrusion and distal traction.

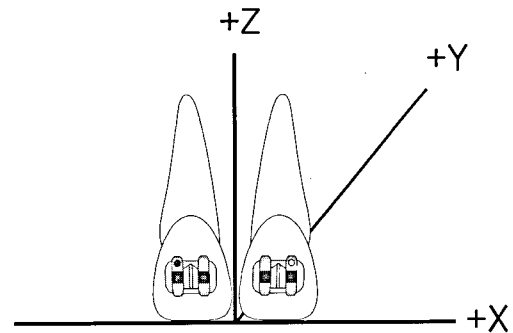


Fig 3. The arrangement of the reference coordinate system (X, Y, Z).

Table 1. Mechanical properties for the structural elements

Material	Young's Modulus(kg/mm ²)	Poisson's ratio
Tooth	2.0×10 ³	0.3
Periodontal ligament	6.8×10 ⁻²	0.49
Alveolar bone	1.4×10 ³	0.3
Bracket	21.4×10 ³	0.3
Wire	21.4×10 ³	0.3

이에 저자는 three-piece base arch appliance를 이용한 상악 전치부 압하시 치조골 높이 변화에 따른 저항중심의 위치, 압하 하중점과 후방견인력 크기변화 사이의 관계를 3차원 유한요소법을 사용하여 비교, 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

가. 유한요소모델의 제작

상악 6전치, 치조골 및 치근막의 3차원 유한 요소모델을 제작하였다. 치아의 크기와 형태는 Wheeler²⁹⁾의 수치와 치아모형을 참고로 하였으며, 치근막의 두께는 Coolidge³⁰⁾의 연구를 참고로 0.25mm로 균일하게 설정하였다. 압하력에 의한 치아 변위를 정확하게 보기 위해 치조골은 정상교합자의 CT 사진을 참고로 하였다.

치아와 그 주위조직은 등방, 등질의 선형탄성체라 가정하였으며 구성재료의 물성치는 Tanne 등³¹⁾의 연구를 참고로 하였다(Table 1). 사용된 요소형태는 3차

원 사면체 또는 육면체이며, 전체 요소 수는 12735개, 절점 수는 6837개였다.

변위 분석을 위한 유한요소형상 모델링은 PRO/ENGINEERING 2000(PTC, USA)을 사용하였고, 변위 해석은 범용유한요소 프로그램인 ANSYS(Swanson Analysis System co., Ver. 5.5, USA)를 사용하였다.

나. 치열궁의 형태 및 치아의 배열

1. 좌표계의 설정

양측 중절치의 절단면을 이은 선의 중점을 원점으로 잡고 X축을 근원심 방향, Y축을 순설측 방향, Z축을 상하방향으로 하였다(Fig 3). (오른쪽 방향을 +X, 설측 방향을 +Y, 치근방향을 +Z).

2. 치열궁의 형태와 치축경사도의 설정

치열궁의 형태는 한국인 정상 교합자 석고 모형의 3차원 분석에 관한 연구³²⁾를 기초하여 배열하였으며, 치아의 순설측 경사도는 치아장축과 교합평면이 이루는 각으로 정의하여, Andrews³³⁾와 Issacson³⁴⁾ 등의 연구를 참고로 하여 중절치, 측절치, 견치에서 각각 65°, 70°, 75°를 정상적인 각도로 설정하였다.

3. 호선 및 브라켓

전방 분절에 삽입되는 호선은 브라켓 슬롯과 play가 존재하는 것이 사실이나, 본 연구에서는 치아 분절을 한 개의 견고한 연결체로 가정하여 단순히 호선이 브라켓에 고정된 것으로 간주하였다. Wire 단면의 크기는 .021" × .025"로 하였다. 브라켓의 크기는 standard edgewise bracket을 기준으로 하였으며, 브라켓 부착 높이는 Andrews' plane을 기준하여 절단

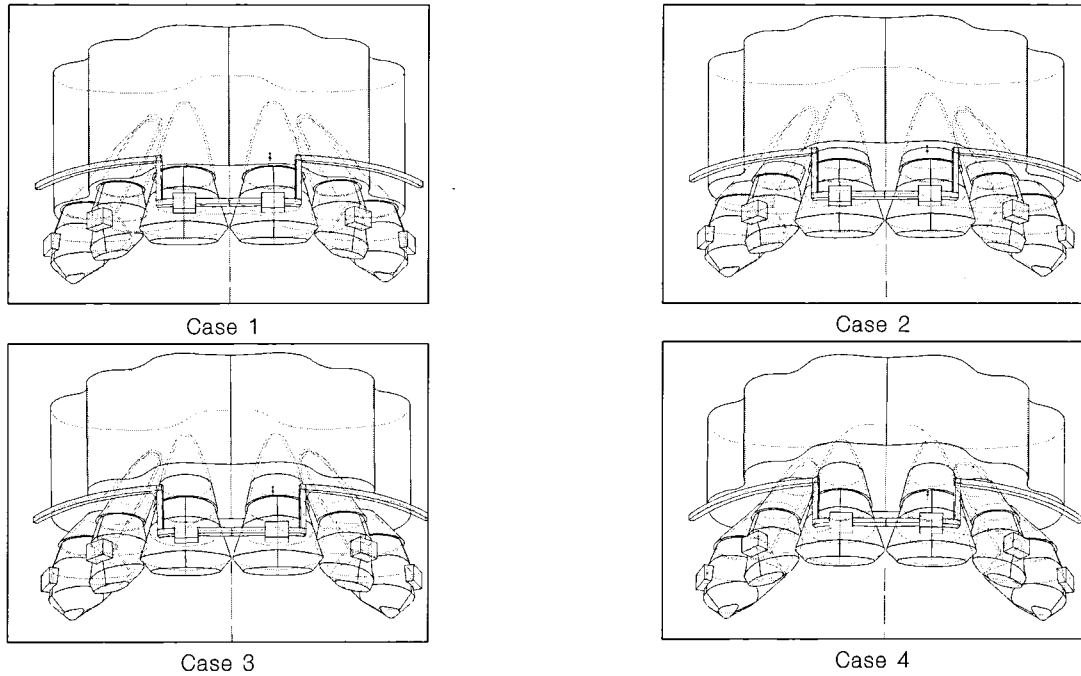


Fig 4. The model of teeth, periodontal ligament, wire, and bracket according to alveolar bone loss in maxillary 2 anterior teeth group.

- 1) 0mm alveolar bone loss(case 1)
- 2) 2mm alveolar bone loss(case 2)
- 3) 4mm alveolar bone loss(case 3)
- 3) 6mm alveolar bone loss(case 4)

연이나 교두정으로부터 슬롯 중점까지의 거리로 정하였다.

4. 구속조건

압하력과 후방견인력 부여시 치아 변위를 구하고 자 치조골 부위에 구속조건을 부여하였다. 이번 실험에서는 치조골 부위의 기저부와 전후방부위에 구속조건을 부여하였다.

다. 조사내용 및 하중조건

압하와 후방견인을 동시에 도모할 수 있는 three-piece base arch appliance를 적용할 시 정상 치조골에서 저항중심의 전후방적 위치를 정한 후, pure intrusion을 위한 압하력 적용점과 후방견인력의 변화 및 이를 이용한 저항 중심의 수직적, 전후방적 변화를 치조골의 흡수량에 따라 관찰하기 위해 다음과 같은 방법으로 분석을 시행하였다.

1) 치조골의 흡수 정도의 변화

정상 치축경사도에서 치조골의 흡수를 0, 2, 4, 6 mm의 4가지 경우로 나누어서 분석하였으며, 0mm는 정상 치조골 높이로 정하였다(Fig 4, 5, 6).

2) 하중조건

전방 치군에 포함되는 치아의 수에 따라 2 전치군, 4 전치군, 6 전치군으로 나누고, 정상 치조골에서의 저항중심과 pure intrusion을 위한 압하력 하중점을 찾기 위해 각 군에서의 하중점은 2 전치군과 4 전치군은 각각 중절치, 측절치 브라켓 후방 2mm에서 1mm간격으로 7개의 하중점, 6 전치군은 견치브라켓 후방 2mm에서 1mm 간격으로 6개의 하중점을 선정하였다(Fig 7). 각 치아의 치관, 치근 기준점의 수직 변위 차이를 가장 작게 만드는 압하 하중점을 각 치아군의 전후방적 저항중심 위치로 예측한다. Pure intrusion을 위한 압하 하중점은 후방견인력을 결정한 후 압하시 치관, 치근의 기준점이 치축경사도에 대한 변화가 가장 작은 점으로 결정하였다. 이후 수직하중과 압하 하중점을 고정된 상태에서 치조골 높이 변

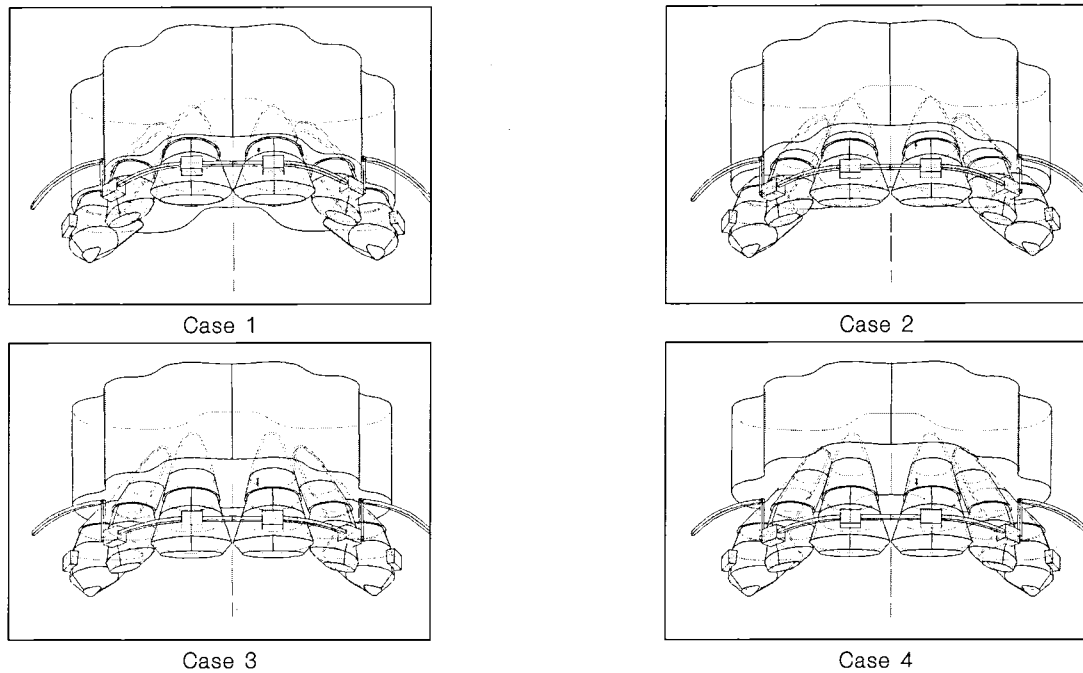


Fig 5. The model of teeth, periodontal ligament, wire, and bracket according to alveolar bone loss in maxillary 4 anterior teeth group.

- 1) 0mm alveolar bone loss(case 1)
- 2) 2mm alveolar bone loss(case 2)
- 3) 4mm alveolar bone loss(case 3)
- 4) 6mm alveolar bone loss(case 4)

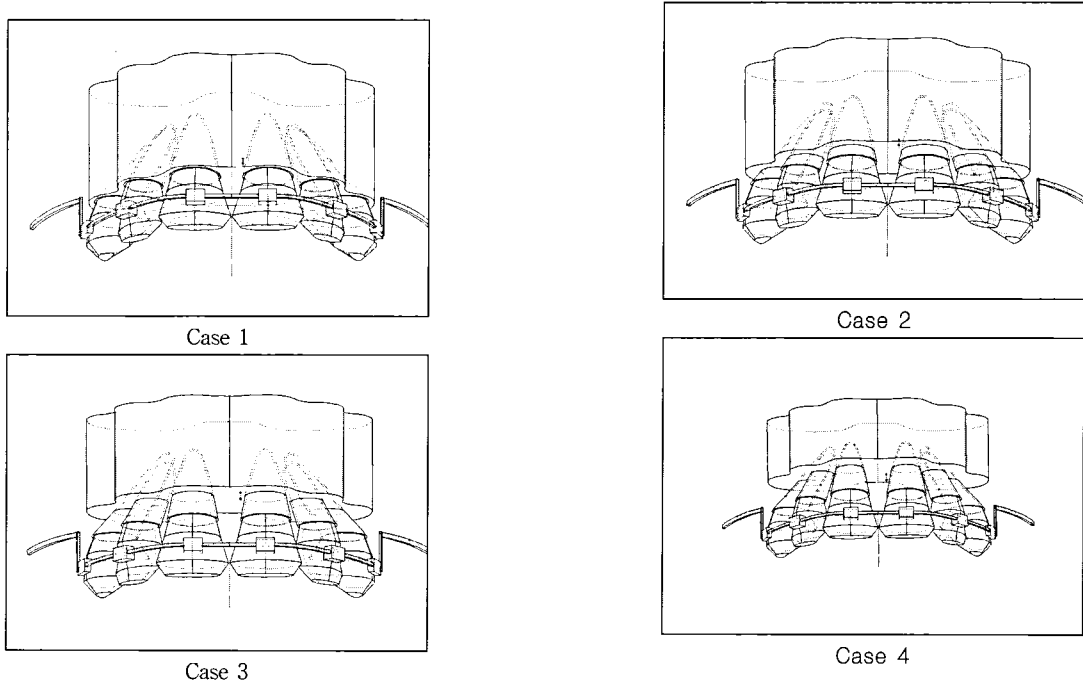


Fig 6. The model of teeth, periodontal ligament, wire, and bracket according to alveolar bone loss in maxillary 6 anterior teeth group.

- 1) 0mm alveolar bone loss(case 1)
- 2) 2mm alveolar bone loss(case 2)
- 3) 4mm alveolar bone loss(case 3)
- 4) 6mm alveolar bone loss(case 4)

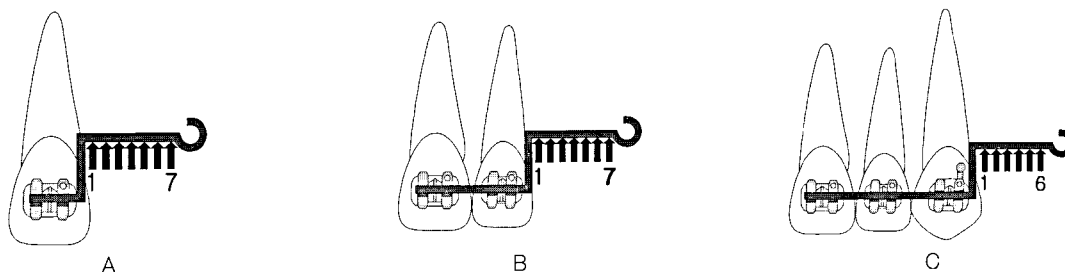


Fig 7. The arrangement of loading locations

A. 2 anterior teeth group

B. 4 anterior teeth group

C. 6 anterior teeth group

화에 따라 후방견인력을 5 gm간격으로 50 gm까지 증가시켜 치축 변화가 최소가 되는 후방견인력을 구하였다. 이를 이용해 치조골 높이에 따른 저항중심의 수직적, 수평적 위치 변화의 상관관계를 구하였다. 각 치아군의 수직하중 크기는 Burstone⁷⁾이 제시한 압하시 적정 교정력을 참고로 하였으며, 하중점 위치는 전방에서 후방으로 차례대로 번호를 부과하였다.

라. 해석방법

1) 정상 치조골 높이에서 각 치아군 저항 중심

이번 연구에서는 압하시 저항중심에 힘을 가할시 치아가 치축 경사도를 유지한 채 이동한다는 것과 호선과 브라켓 slot이 play가 없는 한 개의 견고한 연결체인 것으로 가정해서 정상 치조골에서 저항중심의 수평적 위치는 수직하중 적용시 각 치아군 치아의 절단면과 치근점의 수직적 변위가 가장 근사한 지점으로 정하였다.

수직하중에 대한 치아의 수직 변위를 조사하기 위해 각 치아의 절단면 혹은 교두정과 치근점에 절점을 선정하여 변위를 구하도록 한다. 각 치아의 절단면 수직 변위를 E1(상악 중절치), E2(상악 측절치), E3(상악 견치)로, 치근점 수직 변위를 A1(상악 중절치), A2(상악 측절치), A3(상악 견치)라 하고, 각 하중점에 대한 E1, E2, E3, A1, A2, A3의 값을 구해서, 압하시 저항 중심에 대한 정량적인 판단을 위해 각 하중점에서 아래의 C1, C2, C3를 계산하여(식 1) 가장 작은 값에 해당하는 하중점을 찾도록 한다(Fig 8).

$$\begin{aligned} \textcircled{1} & \text{ 2전치군 } C1=2 \times \sqrt{(E1 - A1)^2} \\ \textcircled{2} & \text{ 4전치군 } C2=2 \times \sqrt{(E1 - A1)^2 + (E2 - A2)^2} \\ \textcircled{3} & \text{ 6전치군 } C3=2 \times \sqrt{(E1 - A1)^2 + (E2 - A2)^2 + (E3 - A3)^2} \quad (1) \end{aligned}$$

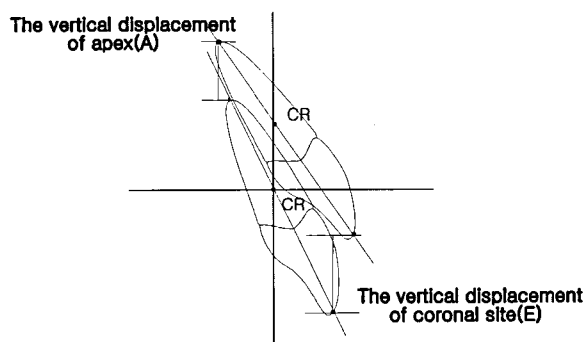


Fig 8. The analysis method to find the center of resistance of each teeth group in normal alveolar bone height.

With application the vertical intrusive force to the center of resistance of teeth, teeth will move maintaining parallelism of the axial inclination. So the displacement of incisal edge or cusp tip(E) is equal to the displacement of root apex (A) of anterior teeth in vertical direction.

2) 각 치아군 pure intrusion을 위한 후방견인력 적용시 압하 하중점 위치

각 치아군의 정상 치조골에서 후방견인력을 각 측면에서 2 전치군 경우 $25\text{gm} \times \cotan 65^\circ$, 4 전치군 경우 $50\text{gm} \times \cotan 65^\circ$, 6 전치군 경우 $100\text{gm} \times \cotan 65^\circ$ 로 정하였다. Pure intrusion을 위한 하중점은 Shoroff 등⁸⁾의 연구를 참조하여 1)에서 구한 저항중심의 전방 하중점에서 구하도록 하였다. Pure intrusion은 치축 경사도를 유지해야 하므로, 선정된 절점의 3방향 변위 중에서 수직(Z축)변위에 관계없이 X, Y축으로의 변위가 최소로 되어야 한다. 따라서, 각 치아의 기존 X, Y축 직선에 대한 절단면 혹은 교두정과 치근점 절점의 변위가 최소가 되는 하중점을 찾도록 한다(Fig 9).

수직 변위 관계를 제외한 중절치 치축 경사도를

$a_1x+b_1y+c_1=0$, 측절치 치축 경사도를 $a_2x+b_2y+c_2=0$, 견치 치축 경사도를 $a_3x+b_3y+c_3=0$, 중절치 절단면과 치근침 절점의 변위점을 각각 (p_1, q_1) , (p_2, q_2) , 측절치 절단면과 치근침 절점의 변위를 (r_1, s_1) , (r_2, s_2) , 견치 절단면과 치근침 절점의 변위점을 (t_1, u_1) , (t_2, u_2) 라고 할 때, 각 치아군의 pure intrusion을 해석하기 위한 P값을 구하는 식은 다음과 같다(식 2).

① 2 전치군

$$P1=2 \times \left(\frac{|a_1p_1+b_1q_1+c_1|}{\sqrt{a_1^2+b_1^2}} + \frac{|a_1p_2+b_1q_2+c_1|}{\sqrt{a_1^2+b_1^2}} \right)$$

② 4 전치군

$$P2=2 \times \left(\frac{|a_1p_1+b_1q_1+c_1|}{\sqrt{a_1^2+b_1^2}} + \frac{|a_1p_2+b_1q_2+c_1|}{\sqrt{a_1^2+b_1^2}} + \frac{|a_2r_1+b_2s_1+c_2|}{\sqrt{a_2^2+b_2^2}} + \frac{|a_2r_2+b_2s_2+c_2|}{\sqrt{a_2^2+b_2^2}} \right)$$

③ 6 전치군

$$P3=2 \times \left(\frac{|a_1p_1+b_1q_1+c_1|}{\sqrt{a_1^2+b_1^2}} + \frac{|a_1p_2+b_1q_2+c_1|}{\sqrt{a_1^2+b_1^2}} + \frac{|a_2r_1+b_2s_1+c_2|}{\sqrt{a_2^2+b_2^2}} + \frac{|a_2r_2+b_2s_2+c_2|}{\sqrt{a_2^2+b_2^2}} + \frac{|a_3t_1+b_3u_1+c_3|}{\sqrt{a_3^2+b_3^2}} + \frac{|a_3t_2+b_3u_2+c_3|}{\sqrt{a_3^2+b_3^2}} \right) \quad (2)$$

3) 치조골 상실에 따른 후방견인력 변화

각 치아군 pure intrusion을 위한 변위 P1, P2, P3가 최소가 되게 하는 후방견인력을 압하 하중점은 고정되어 있으며, 치조골 높이 감소가 각각 0, 2, 4, 6mm일 때 구하도록 한다.

4) 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적, 수평적 위치관계

아래 그림(Fig 10)에서 처럼 pure intrusion시 압하 치아에 대한 치조골 상실에 따른 고정된 압하력과 변화하는 후방견인력의 모멘트가 상쇄됨을 고려하여, 각 치아군에서 저항중심의 수직적, 수평적 위치변화의 상관관계를 구하였다.

$D_x \times$ 각 치아군 압하력 = $D_y \times$ 치조골 흡수에 따른 후방견인력

$$\frac{D_x}{D_y} = \frac{\text{치조골 상실에 따른 후방견인력}}{\text{각 치아군의 압하력}}$$

=k(상수)-각 치조골 높이에서의 거리 비

∴ k= 저항중심의 수직적 위치 변위에 대한 수평적 위치 변위 비율

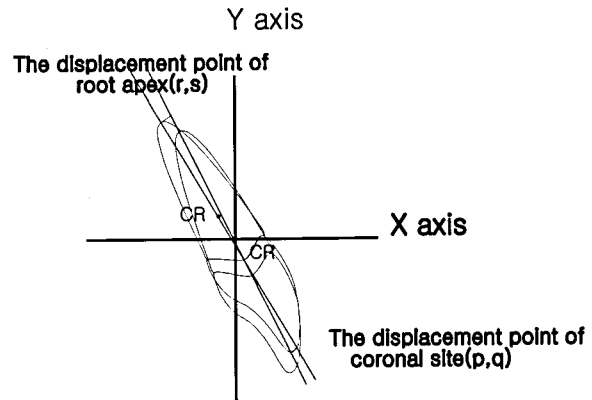


Fig 9. The analysis method of the change of vertical intrusive loading location, distal traction force for pure intrusion in each teeth group. For translational intrusion of teeth along their long axes, other two directions(x, y coordinate) without vertical direction(z axis) displacement is to be minimal in incisal edge or cusp tip and root apex of each anterior teeth group.

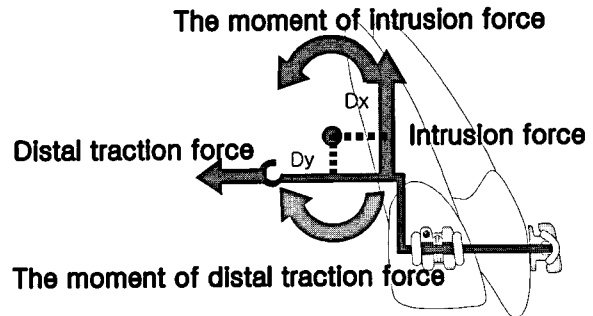


Fig 10. The condition for pure intrusion
The moment of intrusion force must be equal to the moment of distal force.

III. 연구성적

치조골 높이에 따른 유한 요소모델을 만든 후(Fig 11) pure intrusion을 위한 조건을 구하기 위해 먼저 정상 치조골 높이에서의 three-piece base arch appliance의 저항중심과 후방견인력 부여시 수직 하중점 위치를 C값과 P값을 기초로 하여 구하였다. 이후 임상적 적용을 위한 치조골 상실에 따른 후방견인력을 P값 변화를 기초로 제시하였다(Table 2-6). 마지막으로, 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적, 수평적 위치 변화의 상관관계를 k값을 기초로 나타내었다(Table 7).

Table 2. C measurements of each loading locations of each teeth group

Loading locations	Teeth group		
	2 anterior teeth group	4 anterior teeth group	6 anterior teeth group
1	0.000548	0.000623	0.003311
2	0.000506	0.000620	0.002392
3	0.000464	0.000609	0.002311
4	0.000409	0.000611	0.002078
5	0.000513	0.000624	0.001143
6	0.000599	0.000701	0.001237
7	0.000714	0.000717	

* C measurements show the difference of the vertical displacements of root apex(A) and coronal site(E).

Table 3. P measurements at each loading locations for pure intrusion of each teeth group

Loading locations	Teeth group		
	2 anterior teeth group	4 anterior teeth group	6 anterior teeth group
1	0.009453	0.007951	0.008438
2	0.008515	0.007211	0.007771
3	0.007116	0.006945	0.007255
4	0.007254	0.007098	0.007069
5			0.007887

* P measurements show the sum of the two directions(x, y axis) displacement without vertical direction(z axis) displacement in incisal edge or cusp tip and root apex of each anterior teeth group.

가. 정상 치조골 높이에서 각 치아군의 압하 하중점에 따른 C값의 변화(Table 2)

1. 2 전치군에서 최소 C값은 하중점 4로 중절치 브라켓에서 6mm 후방에 존재하였다.
2. 4 전치군에서 최소 C값은 하중점 3으로 측절치 브라켓에서 5mm 후방에 존재하였다
3. 6 전치군에서 최소 C값은 하중점 5로 견치 브라켓에서 7mm 후방에 존재하였다.

나. 각 치아군에서 후방견인력 적용시 압하 하중점의 위치에 따른 P값의 변화(Table 3) (치조골 높이가 정상일 때)

1. 2 전치군에서 후방견인력 적용시 P값을 최소로 하는 하중점 위치는 저항중심의 전방인 하중점 3으

로 중절치 브라켓 후방 5mm로 나타났다.

2. 4 전치군에서 후방견인력 적용시 P값을 최소로 하는 하중점 위치는 하중점 3으로 측절치 브라켓 후방 5mm로 나타났다.
3. 6 전치군에서 후방견인력 적용시 P값을 최소로 하는 하중점 위치는 하중점 4로 견치 브라켓 후방 6mm로 나타났다.
4. 치아수가 증가할수록 후방견인력 적용시 P값을 최소로 하는 압하 하중점도 후방으로 이동하였으나, 전후방적으로 C값을 최소로 하는 압하 하중점의 전방이나 같은 위치였다.

다. 각 치아군에서 치조골 높이와 후방견인력 변화에 따른 P값의 변화 (Table 4-6) (압하 하중점이 일정하게 정해져 있을 때)

Table 4. According to the change of distal force, P measurements at 2mm alveolar bone loss in each teeth group (Vertical intrusion force and loading location are fixed.)

The increment of Distal force	Teeth group		
	2 anterior teeth group	4 anterior teeth group	6 anterior teeth group
1. 5g	0.044252	0.050563	0.077879
2. 10gm	0.044721	0.051503	0.079242
3. 15gm	0.050092	0.052339	0.074816
4. 20gm	0.054967	0.057323	0.076173
5. 25gm	0.057352	0.062539	0.081524
6. 30gm	0.061178	0.065143	0.086431
7. 35gm	0.068247	0.069835	0.089837
8. 40gm	0.070000	0.074159	0.091551
9. 45gm	0.071192	0.077516	0.096236
10. 50gm	0.075727	0.083126	0.100346

Table 5. According to the change of distal force, P measurements at 4mm alveolar bone loss in each teeth group (Vertical intrusion force and loading location are fixed.)

The increment of Distal force	Teeth group		
	2 anterior teeth group	4 anterior teeth group	6 anterior teeth group
1. 5g	0.067494	0.080245	0.124137
2. 10gm	0.067403	0.080018	0.112392
3. 15gm	0.069521	0.083592	0.108283
4. 20gm	0.074747	0.087727	0.134148
5. 25gm	0.078351	0.092931	0.169837
6. 30gm	0.081247	0.095738	0.172879
7. 35gm	0.083960	0.097516	0.173532
8. 40gm	0.087137	0.100200	0.175125
9. 45gm	0.091132	0.104786	0.178293
10. 50gm	0.095517	0.106067	0.181972

1. 2mm 치조골 상실의 경우 2 전치군, 4 전치군은 모두 5gm에서, 6 전치군은 15gm에서 최소 P 값을 나타내었다.
2. 4mm 치조골 상실의 경우 2 전치군, 4 전치군은 모두 10gm에서, 6 전치군은 15gm에서 최소 P 값을 나타내었다.
3. 6mm 치조골 상실의 경우 2 전치군, 4 전치군은 모

두 15gm에서, 6 전치군은 25gm에서 최소 P 값을 나타내었다.

Pure intrusion을 위한 P값을 최소로 하는 각 치아군의 후방견인력은 모두 치조골 상실 정도에 따라 증가하였으며, 2 전치군과 4 전치군의 후방견인력에 비해 6전치군의 후방견인력이 치조골 흡수정도(2, 4, 6mm)에 상관없이 크게 나타났다.

Table 6. According to the change of distal force, P measurements at 6mm alveolar bone loss in each teeth group (Vertical intrusion force and loading location are fixed.)

The increment of Distal force	Teeth group		
	2 anterior teeth group	4 anterior teeth group	6 anterior teeth group
1. 5g	0.088783	0.114972	0.204062
2. 10gm	0.088021	0.112438	0.198521
3. 15gm	0.087848	0.108438	0.197623
4. 20gm	0.088352	0.114442	0.192164
5. 25gm	0.090370	0.117292	0.188529
6. 30gm	0.092635	0.119369	0.190307
7. 35gm	0.095974	0.121477	0.196781
8. 40gm	0.098277	0.124518	0.208160
9. 45gm	0.10118	0.126273	0.217556
10. 50gm	0.104412	0.129931	0.202771

* P measurements show the sum of the two directions(x, y axis) displacement without vertical direction(z axis) displacement in incisal edge or cusp tip and root apex of each anterior teeth group.

Table 7. According to alveolar bone loss, k values in each teeth group

The amount of alveolar bone loss	k values in each teeth group		
	2 anterior teeth group	4 anterior teeth group	6 anterior teeth group
2mm	0.6631	0.5663	0.6163
4mm	0.8663	0.6631	0.6163
6mm	1.0663	0.7663	0.7163

라. 각 치아군에서 치조골 상실에 따른 k값의 변화 (Table 7)

1. 치아군에 따라서는 치조골 상실에 관계없이 2 전치군일 때, k값이 가장 크게 나타났다. 치아수와 치조골 상실이 증가함에 따라 k값은 4 전치군 2mm 치조골 흡수때를 제외하고 작아지는 경향을 보였다.
2. 치조골 상실량이 커짐에 따라, k값은 치아 수에 관계없이 일정하게 커졌다.

IV. 총괄 및 고안

성인에서는 구치부 교합와해에 동반된 상악 전치부 순측경사와 정출을 흔히 볼 수 있다. 상악 전치부가 정출되었을 때, 치관-치근 비율, 치주적 개선을 목

적으로 치아를 삭제할 수도 있으나, 전치부 압하가 요구되는 경우가 존재한다. 그러나, 이러한 압하는 치주적 결함을 가지는 환자의 경우 가장 위대한 치아이동이므로, 압하력 적용시 부작용을 최소화할 수 있는 역학 적용이 필요하다. 이러한 역학 적용을 위해서는 힘이 치아에 가해질 때 이에 대한 반응을 관찰할 필요가 있는데, 3가지 측면에서 이것을 평가할 수 있다¹⁰⁾.

첫째, 임상적으로는 치아이동 속도, 동통, 치아동요도, 치조골 소실, 치근 흡수 등을 볼 수 있으며, 둘째, 조직학적 및 생화학적으로는 치근막에서 골 조직이나 결체 조직의 변화 양상을 고찰할 수 있으며, 셋째, 응력-장력 측면에서의 연구로 이는 가장 중요하면서도 현재로서는 이해가 부족한 분야이다. 이러한 응력 분석법으로는 장력 계측법(strain gauge method), 광탄성법(photoelasticity), holography법 및 컴퓨터를

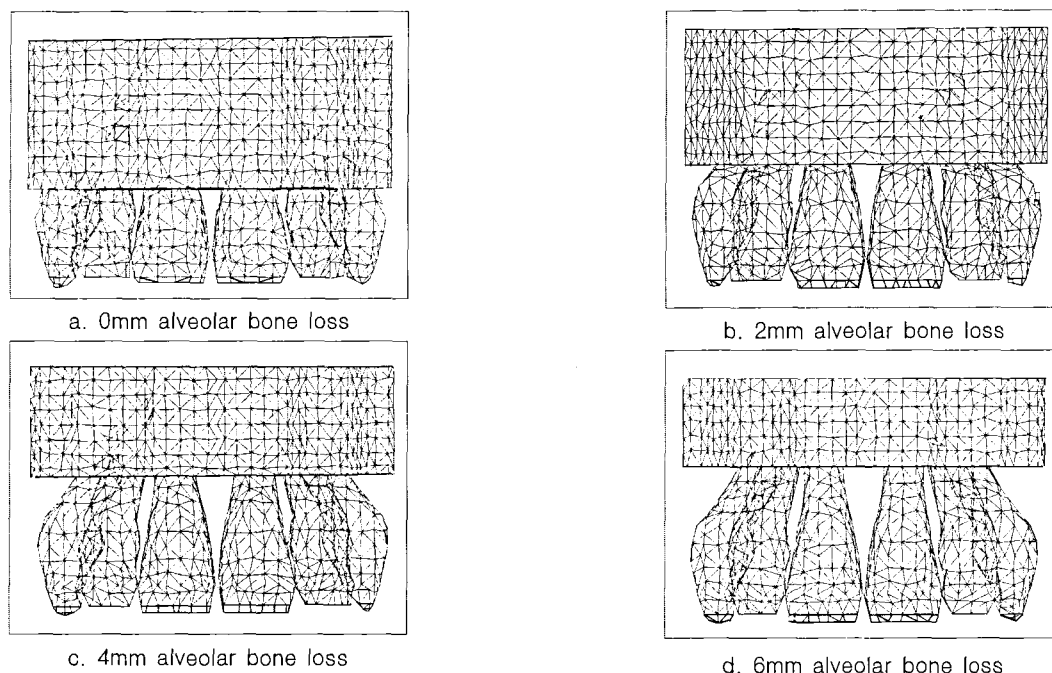


Fig 11. According to alveolar bone loss, the finite element model of teeth, periodontal ligament and alveolar bone.

이용한 유한 요소법(finite element method)에 의한 연구를 들 수 있다.

이번 연구에서는 치조골 높이에 따른 pure intrusion을 위한 역학 적용의 임상적 지침을 제시하기 위해 유한 요소법으로 치조골 높이, 치아 수의 변화에 따른 응력 분석을 시행하였다.

유한 요소법은 복잡한 형태의 균일하지 않은 물체에서의 응력 분석에 특히 유용하며 전반적인 영역에 걸친 응력의 분포와 측정이 가능할 뿐 아니라, 각 부분을 3차원상에서 파악할 수 있으며 변위 전후의 상태를 동시에 비교해 볼 수 있는 장점이 있다. 따라서, 치아와 같은 복잡한 형태와 치아, 치근막, 치조골의 다양한 물성치를 보이는 경우의 응력 분석법으로 유용하다. 그러나, 유한 요소법은 유한요소를 제작하는 기법 및 숙련도, 비선형 문제에 있어서의 해석 방법 등에 따라서 오차가 발생되며 기본적 물질상수의 정확한 연구를 그 기초로 하기 때문에 물리적 특성 자료 부족에 의한 근사 오차가 발생할 가능성, 그리고 고정점 설정 등의 어려움이 존재한다.

기존의 연구는 치아의 근원심 이동 효율을 위해 단일치아와 다수치아에서의 저항중심의 수직적 위치에 대한 연구^{15-18,21,22,26)}와 압하시 치아 이동양상에 대한 연구로 전치군 저항중심의 수평적 위치에 관한 것이

었다²⁵⁾. 그러나, 압하시에는 치아의 근원심 이동과 달리 저항중심에 대한 직접적 힘 적용이 가장 효율적인 치아 이동이 되지 못한다. Melsen 등⁹⁾은 치주치료 후 교정적 압하시 신부착(new attachment)을 얻기 위해서는 약한 압하력(intrusion force)과 경사이동 없는 치아의 압하가 필요하다고 하였으며, 압하시 이러한 조건이 될 때 치근막 변연부에 초자화가 일어나지 않게 되며, 상피의 하방 성장을 일으키는 압하 지연이 없어 치주적 결함을 갖는 환자에게 유리한 신부착이 형성된다고 하였다. 따라서, 압하시 부작용을 최소화 하는 역학은 pure intrusion¹¹⁾을 도모하는 것이며, 이를 위해서는 저항중심에 근접한 압하력 뿐 아니라 후방견인력이 필요하다. 이번 연구에서는 이러한 압하력과 후방견인력을 모두 적용할 수 있는 three-piece base arch appliance⁸⁾를 사용하였다.

본 연구에서는 Burstone⁷⁾이 제시한 intrusion시의 적정 교정력인 2 전치군, 4 전치군, 6 전치군에 각각 50 gm, 100 gm, 200 gm의 압하력을 가하였다. 그리고, 정상 치조골에서 후방견인력은 Shoroff 등⁸⁾이 제시한 그림을 참조하여, 25 gm \times cotan 65⁰, 4전치군 경우 50 gm \times cotan 65⁰, 6전치군 경우 100 gm \times cotan 65⁰로 정하였다. 여기서는 three-piece base arch appliance에 의한 압하시 치아 수에 따른 전후방적으

로 저항중심에 상응하는 압하 하중점 위치를 찾고, 이후 pure intrusion을 위한 정상 치조골 높이에서의 하중점을 찾은 후, 압하가 필요한 전치부 정출 환자에 대한 임상 적용시 지침이 될 수 있는 치조골 상실에 따른 후방견인력 변화양상과 이를 이용한 치조골 상실에 따른 저항중심 변화의 수직적, 수평적 위치간 상관관계를 관찰하였다.

정상 치조골 상태에서의 치아 수에 따른 저항중심의 전후방적 위치를 살펴보면(Table 2), 저항중심은 악골의 시상 정중선상에 존재하며, 전후방적으로 2 전치군을 대상으로 했을 때는 하중점 4로 측절치 브라켓 전방 1/3부위에 존재했고, 4 전치군을 대상으로 했을 때는 하중점 3으로, 측절치와 견치 브라켓 사이 공간의 후방 2/3 부위에 있었으며, 6 전치군을 대상으로 했을 때는 하중점 5로 제 1소구치 브라켓 중앙부위에 위치하였다. 이 위치는 2, 4 전치군의 저항중심 위치는 Dermaut²⁵⁾나 박 등²⁸⁾의 연구결과와 유사했으며, 6 전치군의 저항중심은 Van den Bulcke²⁶⁾의 연구결과와 유사하였다.

약간의 위치적 차이는 보였으나, Van den Bulcke²⁶⁾, 우²⁴⁾, 박²⁸⁾ 등의 연구결과와 유사하게 치아수가 증가할수록 저항중심의 위치는 후방으로 이동하였으며, 또한 6 전치군에서 저항중심의 후방이동량이 현저하게 크게 나타났다. 특히 이러한 6 전치군에서 저항중심의 현저한 후방이동에 대해 박²⁸⁾ 등은 측절치의 치아 크기에 비해 견치가 상당히 크기 때문에 수직하중에 대한 저항력이 견치에서 월등히 크고, 치열궁 내에서의 위치를 볼 때 측절치는 중절치와 같이 측방으로 놓여 있으나 견치는 구치와 같이 전후방으로 놓여 있기 때문이라고 했다.

정상 치조골 높이에서 pure intrusion을 위한 후방견인력하의 압하 하중점 위치를 보면(Table 3), 저항중심의 전방 혹은 같은 지점에서 압하 하중점이 위치하였다. 저항중심의 변화에서처럼 치아수가 증가할수록 후방 이동하였고, 6 전치군에서 후방 이동량이 크게 나타났다. 정상 치조골에서 pure intrusion을 시행하기 위해서는 제시된 후방견인력 정도의 미약한 힘 하에서 각 치아군의 저항중심 전방부근에 압하력을 가하면 될 것이며, 이것은 Shoroff 등⁸⁾이 three-piece base arch appliance의 적용을 2차원적으로 제시한 것과 같은 결과였다.

치조골 흡수정도에 따른 pure intrusion을 위한 후방견인력 변화를 살펴보면(Table 4-6), 동일한 압하 하중점과 압하력하에서, 치조골 상실이 증가할수록

후방견인력은 증가하였으며, 2 전치군과 4 전치군은 같은 증가를 보였고, 6 전치군은 치조골 상실에 관계없이 항상 2, 4 전치군보다 큰 후방견인력이 필요함을 보였다. 단, 필요한 후방견인력은 압하력에 대해 현저한 증가를 보이진 않았다. 압하 하중점과 압하력은 정상 치조골 상태에서의 값과 위치로 적용하였는데, 이것은 임상적으로 치조골 흡수정도에 따른 압하 하중점 이동이 어렵다는 점, pure intrusion시 압하력에 대한 반응부위가 치조골 상실정도에 관계없이 치근침치근막인 점과 Stenvik와 Mjör¹⁴⁾, Reitan 등^{12,13)}의 연구에서 Burstone⁷⁾이 제시한 압하력이면, 치조골 상실에 관계없이 적정 압하력이 될 수 있음에 기초한 것이었다.

치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적, 수평적 위치변화에 대한 상관관계를 살펴보면(Table 7), 그림(Fig 10)에서처럼 pure intrusion시 압하 치아에 대한 치조골 상실에 따른 고정된 압하력과 변화하는 후방견인력의 모멘트가 상쇄됨을 고려하여, 각 치아군에서 저항중심의 수직적, 수평적 위치변화에 대한 상관관계(k)를 구할 수 있다. 이러한 상관관계는 아래 식(식 3)에서처럼 k값을 매개로 하여 저항중심의 수직, 수평적 위치변화가 서로 연계되어 있음을 알 수 있다.

$$\frac{D_x}{D_y} = \frac{\text{치조골 상실에 따른 후방견인력}}{\text{각 치아군의 압하력}} = k(\text{상수})$$

-각 치조골 높이에서의 거리 비

치조골 상실에 따른 저항중심과 압하 하중점과의 거리: $D_{x0}(M), D_{x2}, D_{x4}, D_{x6}$

치조골 상실에 따른 저항중심과 후방견인력과의 거리: $D_{y0}(N), D_{y2}, D_{y4}, D_{y6}$

$$D_x = k \times D_y$$

$$D_{x0}(M) + \Delta x_r = k(D_{y0}(N) + \Delta y_r)$$

; $\Delta x_r, \Delta y_r$ - 각 치조골 높이에서 저항중심의 수평적, 수직적 거리 변화

$$\therefore \Delta y_r = \frac{1}{k} (\Delta x_r + M) - N \quad (3)$$

이번 연구에서는 2 전치군일 때, 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적 위치변화에 대한 수평적 위치변화가 가장 크게 나타났다. 치아 수가 증가할수록 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적 위치변화에 대한 수평적 위치변화는 작아지는 경향을 보였다. 이것은 저항중심에서처럼 치아의 치축경사도와 많은 상

관관계가 있을 것으로 생각된다. 2차원적으로 치축경사가 중절치(65°)에 비해 보다 수직적인 측절치(70°), 견치(75°)가 포함된 경우 치조골 상실에 따른 저항 중심의 수직적 변화가 많을 것으로 생각된다. 또한 치조골 상실량이 커짐에 따라서는, 치아 수에 관계없이 저항중심의 수직적 위치변화에 대한 수평적 위치변화가 커졌다. 즉, 저항중심은 수직적으로 치조골 상실에 따라 치근첨 방향으로 이동하지만, 점차 수직적 변화가 줄어든다는 것으로, 단일치아에서 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적 변화를 본 Geramy²⁷⁾의 연구와 같은 맥락에서 이해할 수 있을 것이다.

본 연구에서 전치부 압하시 pure intrusion을 원한다면, 저항중심 근처의 수직적 압하력 외에 후방견인력이 필요하며, 치조골 상실이 커짐에 따라 다른 조건이 동일하다면, 후방견인력의 증가가 필요함도 알 수 있었다. 특히 치주적 결함을 가지는 성인의 경우 pure intrusion을 통한 치주적 개선과 압하시 부작용을 줄이기 위한 three-piece base arch appliance의 적용시에는 정상 치조골에서 제시된 수직 압하점의 위치 뿐 아니라 치조골 흡수에 따른 후방견인력의 증가를 고려해야 할 것이다.

치조골 흡수에 따른 저항중심의 수직적, 수평적 위치변화의 상관관계는 차후 치조골 상실에 따른 수직적 저항중심의 위치 변화를 각 치아군에 따라 밝혀낸다면, 치조골 상실에 따른 보다 구체적인 저항중심의 위치변화를 파악할 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구는 상악 전치의 pure intrusion을 도모하기 위해 필요한 장치인 three-piece base arch appliance 사용시 저항중심과 동일한 압하력, 압하 하중점 적용시 치조골 상실에 따른 후방견인력 변화양상을 관찰하기 위해 3차원 유한 요소법을 이용하였다.

정상 치조골 상태에서 저항중심의 위치를 치아 수에 따라, 동일 압하력과 압하 하중점 적용하에 후방견인력 변화양상을 치아 수, 치조골 흡수정도에 따라 관찰하였으며, 아울러 후방견인력 변화양상을 통해 상악 전치부 저항중심의 수평, 수직적 위치변화간 상관관계를 구하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치축 경사도와 치조골 높이가 정상이고, 압하시 three-piece base arch appliance를 이용한 경우 압하 하중점이 전후방적으로 저항중심을 통과하기

위한 조건은 다음과 같다.

- 1) 2 전치군(중절치)을 대상으로 한 경우에는 중절치 브라켓 원심면에서 후방 6mm지점으로, 측절치 브라켓 전방 1/3부위에 위치하였다.
- 2) 4 전치군(중절치와 측절치)을 대상으로 한 경우에는 측절치 브라켓 원심면에서 후방 5mm 지점으로, 측절치와 견치 브라켓 사이 공간의 후방 2/3부위에 위치하였다.
- 3) 6 전치군(중절치, 측절치와 견치)을 대상으로 한 경우에는 견치 브라켓 원심면에서 후방 7mm 지점으로, 제 1소구치 브라켓 중앙부위에 위치하였다.
- 4) 치아 수 증가에 따른 저항중심의 후방이동을 관찰할 수 있었고, 4 전치군 보다 6 전치군에서 후방 이동량이 크게 나타났다.
2. 치조골 높이가 정상일 때, pure intrusion을 위한 후방견인력을 적용할 경우 수직 압하점은 전후방적으로 저항중심과 같거나 약간 전방에 위치했다.
3. 동일한 압하력과 압하 하중점 적용하의 치조골 상실 증가에 따른 pure intrusion을 위한 후방견인력 변화는 다음과 같다.
 - 1) 치조골 상실량에 관계없이 2 전치군과 4 전치군의 후방견인력은 6 전치군의 후방견인력에 비해 작았다.
 - 2) 치조골이 상실됨에 따라 각 치아군의 후방견인력은 증가하였다.
4. 상악 전치부 각 치아군과 치조골 높이에 따른 저항중심의 수평적, 수직적 위치변화에 대한 상관 관계는 다음과 같다.

- 1) 2 전치군일 때, 치조골 상실에 따른 저항중심의 수직적 위치변화에 대한 수평적 위치 변화가 가장 크게 나타났다. 치아수가 증가할수록 치조골 상실에 따른 저항 중심의 수직적 위치 변화에 대한 수평적 위치변화는 작아지는 경향을 보였다.
- 2) 치조골 상실량이 커짐에 따라서는, 치아 수에 관계없이 저항중심의 수직적 위치변화에 대한 수평적 위치변화가 커졌다.

참 고 문 헌

1. Lefkowitz W, Waugh L. Experimental depression of teeth. Am J Orthod & Oral Surg. 1945 : 31 : 21-36.
2. Mulligan, TF. Common sense mechanics, J Clin Orthod 1979 : 13 : 18-21.
3. Ricketts RM, Bench RW. Principles of the Bioprogressive therapy.

- In: Ricketts RM, Bench RW. eds. Bioprogressive therapy. Denver: Rocky Mountains/Orthodontics, 1979: 15-34.
4. Hocevar RA. Understanding, planning, and managing tooth movement: orthodontic force system theory. *Am J Orthod* 1981; 80: 457-77.
 5. Burstone CJ. The rationale of the segmented arch. *Am J Orthod* 1962; 48: 805-21.
 6. Burstone CJ. Mechanics of the segmented arch technique. *Angle Orthod* 1966; 36: 99-120.
 7. Burstone CJ. Deep overbite correction by intrusion. *Am J Orthod* 1977; 72: 1-22.
 8. Shoroff 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* 1985; 107: 136-43.
 9. Melsen B, Eriksen NA, and Terp S. New attachment through periodontal treatment and orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988; 94: 104-16.
 10. Burstone CJ. Application of bioengineering to clinical orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall Jr. RL. eds. Orthodontics, current principles and techniques. St. Louis: CV Mosby 1994: 236-46.
 11. Liu SY, Herschleb CW. Controlled movement of maxillary incisors in the Begg technique. *Am J Orthod* 1981; 80: 300-15.
 12. Reitan K. Biomechanical principles and reaction. In Graber TM, Vanarsdall Jr. RL. eds. Orthodontics, current principles and techniques. St. Louis: The C.V. Mosby Company, 1994: 96-192.
 13. Reitan K. Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod* 1974; 44: 68-82.
 14. Stenvik A, Mjör IA. Pulp and dentin reactions to experimental tooth intrusion. A histologic study of the initial changes. *Am J Orthod* 1970; 57: 370-85.
 15. 조정현, 이기수, 박영국. 상악 제일대구치의 저항중심에 관한 유한요소법적 분석. *대치교정치* 1993; 23: 263-73.
 16. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *Am J Orthod* 1980; 77: 396-409.
 17. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ, Weeks R. Centers of resistance of the human mandibular molar. *J Dent Res* 1981; 60: 515.
 18. Davidian EJ. Use of computer model to study the force distribution on the root of maxillary central incisor. *Am J Orthod* 1971; 59: 581-88.
 19. Dermaut LR, Klentghen JPJ, De Clerck HJJ. Experimental determination of the center of resistance of the upper first molar in a macerated dry human skull submitted to horizontal headgear reaction. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1986; 90: 29-36.
 20. Matsuura T. Mechanical study on initial change during canine retraction. *J Jpn Orthod Soc* 1984; 43: 33-52.
 21. Nikolai RJ. Periodontal ligament reaction and displacements of a maxillary central incisor subjected to transverse crown loading. *J Biomech* 1974; 7: 93-9.
 22. Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ. Moment to force ratios and the center of rotation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988; 94: 426-31.
 23. 박기호, 손병화. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 합입시 저항중심의 수평적 위치에 관한 연구. *대치교정치* 1993; 23: 619-31.
 24. 우계영, 박영철. Laser 반사측정법을 이용한 상악 전치부 후방견인시 저항중심의 수직적 위치에 관한 실험적 연구. *대치교정치* 1993; 23: 375-89.
 25. Dermaut LR, Van den Bulcke MM. Evaluation of intrusive mechanics of the type "segmented arch" on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1986; 89: 251-63.
 26. Van den Bulcke MM, Burstone CJ, Sachdeva RCL, Dermaut LR. 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.
 27. Geramy A. Alveolar bone resorption and the center of resistance modification(3-D analysis by means of the finite element method). *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2000; 117: 399-405.
 28. 박춘근, 양원식. 상악 전치 intrusion시 저항중심의 위치에 관한 3차원 유한요소법적 연구. *대치교정치* 1997; 27: 259-72.
 29. Wheeler RC. A textbook of dental anatomy and physiology. Philadelphia: WB Saunders, 1965: 135-54, 172-84.
 30. Coolidge ED. The thickness of the human periodontal membrane. *JADA Dent Cosmos* 1937; 24: 1260-70.
 31. Tanne K, Sakuda M, and Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic force. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1987; 92: 499-505.
 32. 대한치과교정학회 부정교합백서발간위원회. 한국성인 정상교합자의 석고 모형 계측연구 결과보고서. 2000: 1-16.
 33. Andrews LF. Straight wire, the concept and appliance. L.A. Wells Co., 1989
 34. Germane N, Bentley Jr. BE, and Isaacson RJ. Three biologic variables modifying faciolingual tooth angulation by straight wire appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989; 96: 312-19.

- ABSTRACT -

Three-dimensional finite element analysis on intrusion of upper anterior teeth by three-piece base arch appliance according to alveolar bone loss

Man-Hee Ha, Woo-Sung Son

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Pusan National University

At intrusion of upper anterior teeth in patient with periodontal defect, the use of three-piece base arch appliance for pure intrusion is required. To investigate the change of the center of resistance and of the distal traction force according to alveolar bone height at intrusion of upper anterior teeth using this appliance, three-dimensional finite element models of upper six anterior teeth, periodontal ligament and alveolar bone were constructed.

At intrusion of upper anterior teeth by three-piece base arch appliance, the following conclusions were drawn to the locations of the center of resistance according to the number of teeth, the change of distal traction force for pure intrusion and the correlation to the change of vertical, horizontal location of the center of resistance according to alveolar bone loss.

1. When the axial inclination and alveolar bone height were normal, the anteroposterior locations of center of resistance of upper anterior teeth according to the number of teeth contained were as follows :
 - 1) In 2 anterior teeth group, the center of resistance was located in the mesial 1/3 area of lateral incisor bracket.
 - 2) In 4 anterior teeth group, the center of resistance was located in the distal 2/3 of the distance between the bracket of lateral incisor and canine.
 - 3) In 6 anterior teeth group, the center of resistance was located in the central area of first premolar bracket.
 - 4) As the number of teeth contained in anterior teeth group increased, the center of resistance shifted to the distal side.
2. When the alveolar bone height was normal, the anteroposterior position of the point of application of the intrusive force was the same position or a bit forward position of the center of resistance at application of distal traction force for pure intrusion.
3. When intrusion force and the point of application of the intrusive force were fixed, the changes of distal traction force for pure intrusion according to alveolar bone loss were as follows :
 - 1) Regardless of the alveolar bone loss, the distal traction force of 2, 4 anterior teeth groups were lower than that of 6 anterior teeth group.
 - 2) As the alveolar bone loss increased, the distal traction forces of each teeth group were increased.
4. The correlations of the vertical, horizontal locations of the center of resistance according to maxillary anterior teeth groups and the alveolar bone height were as follows :
 - 1) In 2 anterior teeth group, the horizontal position displacement to the vertical position displacement of the center of resistance according to the alveolar bone loss was the largest.
As the number of teeth increased, the horizontal position displacement to the vertical position displacement of the center of resistance according to the alveolar bone loss showed a tendency to decrease.
 - 2) As the alveolar bone loss increased, the horizontal position displacement to the vertical position displacement of the center of resistance regardless of the number of teeth was increased.

KOREA. J. ORTHOD. 2001 : 31(2) : 209-23

※ **Key words** : Alveolar bone loss. Three-piece base arch. The intrusion of upper anterior teeth. A three-dimensional finite element analysis