

골격성 고정원을 이용한 상악 6전치 후방 견인시 힘의 적용점 변화에 따른 치아 이동 양상에 관한 유한 요소법적 분석

김 찬 년¹⁾ · 성 재 현²⁾ · 경 희 문²⁾

본 연구에서는 활주법을 이용한 전치부 후방 견인시 micro-implant의 다양한 수직적 위치와 전치부에서 힘의 적용점에 따른 치아 이동 양상을 관찰하여 공간 폐쇄시 전치부의 설측 경사와 정출력을 방지할 수 있는 micro-implant의 위치와 전치부 힘의 적용점의 위치를 알아보려고 하였다. 유한 요소 모델을 이용하여 제1소구치가 발거된 상악 치열궁 형태를 제작하고 .022" × .028" 슬롯 브라켓을 모형화하여 치아에 부착시켰다. .019" × .025" stainless steel 선재를 3차원 beam 모형으로 제작하고 상악 측절치와 견치 브라켓 사이의 선재 상에 .032" × .032" 크기의 stainless steel hook을 수직으로 8mm의 높이로 형성하였으며, 선재로부터 2mm 높이에서 1mm 간격으로 8mm까지 힘 적용점을 설정하였다. 지름 1.2mm, 길이 6mm의 micro-implant를 제2소구치와 제1대구치 사이의 치조골에 선재로부터 4mm에서 10mm까지 2mm 간격으로 4개를 위치시켰다. 각각의 micro-implant와 전치부 hook에 150gm의 힘을 적용시켜 다양한 힘 적용점에 따른 치아의 초기 변위를 분석하여 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

1. Micro-implant 높이가 4mm일 경우 5mm이하의 전치부 hook 높이에서는 전치부 설측 경사 이동이 일어났으며 전치부 hook 높이가 6mm이상 되었을 때 전치부 순측 경사 이동이 일어났다.
2. Micro-implant 높이가 6mm일 경우 5mm 이하의 전치부 hook 높이에서 전치부 설측 경사 이동이 일어났으며 전치부 hook 높이가 6mm 이상 되었을 때 전치부 순측 경사 이동이 일어났다. 이것은 4mm micro-implant에서의 실험 결과와 유사한 이동 양상을 나타내었지만, micro-implant 높이가 6mm일 때 전치부 설측 경사 이동이 좀더 감소하였다.
3. Micro-implant 높이가 8mm일 경우 전치부 hook 높이가 2mm일 때 전치의 설측 경사 이동이 일어났으며 3mm 이상의 전치부 hook 높이에서 순측 경사 이동이 비례적으로 증가하였다.
4. Micro-implant 높이가 10mm일 경우 전치부 hook 높이가 2mm 이상에서 전치의 순측 경사 이동이 비례적으로 증가하였다.
5. 전치부 hook 높이가 증가할수록 전치의 순측 경사 이동이 증가되지만 선재의 뒤틀림에 의한 변형이 증가되므로 견치와 소구치 부위에서 정출력이 발생하는 바람직하지 못한 치아 이동 양상이 일어났다.
6. Micro-implant를 이용한 상악 6전치 후방 견인시 구치부의 이동은 선재와 브라켓 사이의 마찰력에 의해서 원심 경사 이동이 발생하였다.

(주요 단어 : Micro-implant, 유한요소법, 활주기법, 치과 교정학)

¹⁾ 경북대학교 치과대학 교정학교실, 전공의.

²⁾ 경북대학교 치과대학 교정학교실, 교수.

교신저자 : 성재현

대구시 중구 삼덕 2가 50

경북대학교 치과대학 교정학교실 / 053-420-5941

NIT93@hanmail.net

원고접수일 : 2003년 6월 25일 심사통과일 : 2003년 8월 4일

I. 서 론

발치를 통한 교정 치료에서 공간 폐쇄 과정은 교정 치료의 질을 결정하는 중요한 단계이다. 특히 공간 폐쇄의 양이 많은 양악 치아치조골 전돌 환자의 경우에는 전치부의 적절한 후방 이동과 구치부 고정원 조절이 치료의 결과에 결정적인 역할을 한다고 할 수 있다.

발치 공간의 폐쇄는 먼저 견치를 후방 이동한 후에 폐쇄용 루프를 이용하여 4전치를 이동하는 방법이 전통적으로 이용되어 왔다. 상악 4전치 후방 견인시 나타나는 전치부 치축의 설측 경사 및 정출력의 방지를 위하여 여러 가지 구의 장치와 다양한 형태의 loop가 개발되었으며 호선 내에 부가적인 torque와 gable bend의 양에 관한 많은 연구¹⁻¹⁰⁾가 있었다. 그러나 근래에 SWA 브라켓의 사용이 점차 확대되면서 활주기법이 많이 이용되고 있으며 또한 6전치의 후방 견인을 동시에 시행하는 기법¹¹⁾이 많이 적용되고 있다.

활주 기법에 의한 전치부 후방 견인방법은 호선의 연속성으로 치열궁 형태의 유지는 양호하지만 브라켓과 호선상의 마찰로 인해 공간 폐쇄의 효율성이 떨어질 수 있으며, 6전치의 후방 견인에 따른 고정원 조절의 필요성이 증가된다. 뿐만 아니라 전치부 후방 견인시 나타나는 전치부의 설측 경사와 정출력의 방지는 교정 임상에게 가장 중요한 문제가 될 수 있다.

교정 임상에서 환자의 협조가 요구되지 않으면서 확실한 고정원을 얻을 수 있는 골격성 고정원에 대한 많은 연구¹²⁻¹⁸⁾가 있었으며, 최근 교정용 micro-implant¹⁹⁾가 개발되어 임상에서 활발히 사용되고 있다.

그러나 micro-implant를 이용하여 활주법에 의한 상악 6전치 후방 견인시 전치의 설측 경사와 정출력을 방지하기 위해서는 구치부에서 micro-implant의 수직적 위치와 전치부의 힘의 적용점 위치가 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 활주법을 이용한 전치부 후방 견인시 micro-implant의 다양한 수직적 위치와 전치부에서 힘의 적용점에 따른 치아 이동 양상을 관찰하여 공간 폐쇄시 전치부의 설측 경사와 정출력을 방지할 수 있는 micro-implant의 위치와 전치부 힘의 적용점의 위치를 알아보고자 유한 요소 모델을 이용하여 제1소구치가 발거된 상악 치열궁 형태를 제작하여 다양한 힘 적용점에 따른 치아의 초기 변위를 구하였다.

유한 요소법이란 공학적 문제를 수치적으로 풀어내는 조직적인 방법의 하나로 유한 요소라는 물리적 혹은 편의상 나누어진 요소 위에 정의된 특정 함수를 주어진

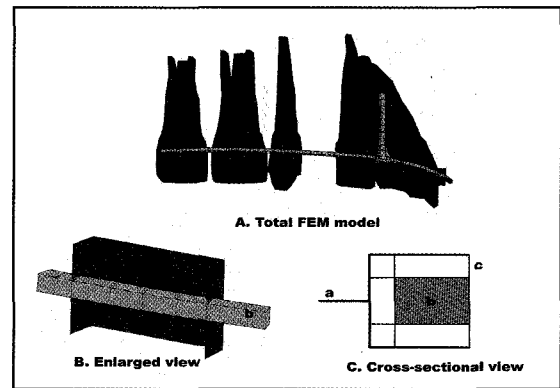


Fig. 1. Finite element model
a : bracket, b : wire, c : gap element

문제에 맞는 어떤 적분형의 원리를 사용하여 계산하는 방법으로, 연속체 문제를 유한 차원 문제로 수식화하는 근사적인 방법²⁰⁾으로 정의할 수 있다. 유한 요소법은 컴퓨터상에서 실행되므로 조건을 객관화시키고, 힘의 적용 전후를 동시에 비교할 수 있으며, 반복 실험이 가능하다는 장점이 있다. 또한 기하학적 형상, 하중 및 경계 조건 등에 제한이 없으며, 응력 해석, 진동, 열, 유동 해석 등 공학의 모든 분야에 적용할 수 있을 뿐만 아니라 치의학 분야²¹⁻²⁴⁾에서도 활발히 이용되고 있다.

II. 재료 및 방법

1. 유한 요소 모델의 제작

치아, 치근막과 치조골

상악 우측 치열의 중절치에서 제2대구치까지의 각 치아와 그 주위 조직을 컴퓨터상에서 6절점의 5면체 요소와 8절점의 육면체 요소로 분할하여 3차원 유한 요소 모델을 구성하였다(Fig. 1). 이 때 치아의 크기와 형태는 Wheeler의 수치²⁵⁾를 참고로 하였고 각 치아의 angulation과 torque, inclination은 Andrews의 연구²⁶⁾를 참고로 하였다.

Roth²⁷⁾의 정상 치열궁 형태(Tru-arch form, 'A' company, U.S.A)로 치아 모형을 적절히 배열하였다. 치근막의 두께는 Coolidge²⁸⁾, Kronfeld²⁹⁾ 등의 보고에 따라 0.25mm로 균일하게 모형화 하였다.

브라켓

.022" × .028"의 슬롯 크기를 가지는 브라켓(Mini-

Table 1. Elastic moduli & Poisson's ratios of the materials

Material	Young's modulus (N/mm ²)	Poisson's ratio
Tooth	1.96E + 04	0.30
Periodontal membrane	6.66E - 01	0.49
Alveolar bone	1.37E + 04	0.30
Stainless	2.01E + 05	0.30

Diamond™, Ormco, U.S.A)을 shell 요소를 이용하여 모형화하였다. 중절치, 측절치, 견치와 제2소구치 브라켓은 2개의 'ㄷ'자형 shell 요소를 브라켓 폭경 만큼 간격을 두고 위치시키고 'ㄷ'자의 후벽면에서 shell 요소를 이용하여 서로 연결시켜 치아에 부착하였다. 제1,2대구치 브라켓은 3개의 'ㄷ'자형 shell 요소를 이용하여 위와 같은 방법으로 치아에 부착시켰다. 브라켓의 각 'ㄷ'자형 shell내에는 6개의 3D friction gap 요소를 두어 상악 전치와 제2소구치 브라켓은 12개, 상악 제1, 2대구치 브라켓은 18개의 gap 요소가 선재에 생긴 응력을 브라켓으로 전달하는 기능을 하게 하였다(Fig. 1).

선재

선재의 크기는 상악 6전치 후방 견인시 많이 사용되는 각형 선재인 .022" 브라켓에서 .019" × .025" stainless steel 선재를 3차원 beam 모형으로 제작하였다. 또한 활주법을 이용한 상악 6전치 후방 견인을 위해 상악 측절치와 견치 브라켓 중심에 .032" × .032" 크기의 stainless steel hook을 수직으로 브라켓 슬롯에서 8mm의 높이로 형성하였으며, 선재로부터 2mm 높이에서 1mm 간격으로 8mm까지 힘 적용점을 설정하였다.

골격성 고정원(Micro-implant)

Beam 요소를 사용하여 지름 1.2mm, 길이 6mm의 micro-implant를 모형화하였다. Micro-implant의 위치는 제2소구치와 제1대구치 사이의 치조골상에 선재로부터 4mm에서 10mm까지 2mm 간격으로 4개의 micro-implant를 위치시켰다(Fig. 1).

탄성 계수

본 연구에서는 교정력이라는 약한 힘을 가했을 때 나타나는 초기 반응을 관찰하기 위한 것이므로 치아와 치조골, 치근막과 선재는 등방 등질의 선형 탄성재로 가정하고 Tanne³⁰⁾와 히³¹⁾의 연구를 참고로 하여

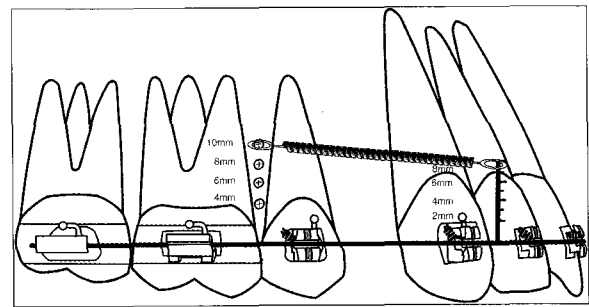


Fig. 2. Schematic diagram of location of micro-implants and anterior hook with various force application points

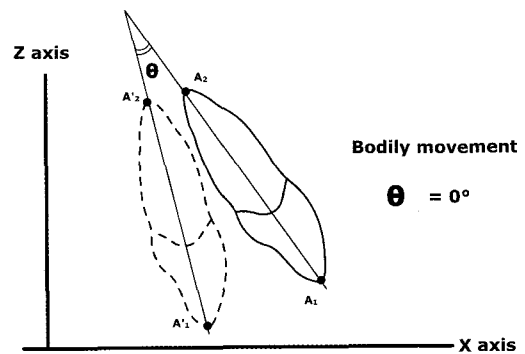


Fig. 3. Schematic diagram of tooth displacement

Young's modulus(E)와 Poisson's ratio를 부여하였다(Table 1).

본 연구에서 사용된 유한요소 모델의 총 요소수는 9320개였으며, 총 절점수는 10076개였다.

2. 실험 방법

- 1) 4mm 위치의 micro-implant에서 전치부 hook의 각 높이에 150gm의 힘을 적용시켜 치아의 초기 변위를 구하였다.
- 2) 6, 8, 10mm의 각 micro-implant에서 앞의 실험과 동일한 방법으로 시행하여 치아의 초기 변위를 구하였다(Fig. 2).

3. 해석 방법

1) 각 치아의 치축

중절치, 측절치 그리고 견치에서는 절단면 중앙의 최전방 절점과 치근 첨부 절점이 이루는 선을 치축

Table 2. Displacement of teeth at 4mm micro-implant height ($\times E-05$ rad)

Anterior hook height (mm)	2	3	4	5	6	7	8
Central incisor	-3.12	-2.66	-2.16	0.23	5.76	11.87	15.93
Lateral incisor	-3.22	-3.03	-2.79	-0.80	4.04	18.07	25.72
Canine	-3.21	-3.19	-3.16	-2.11	0.67	19.25	25.28
2nd. premolar	-3.98	-4.03	-4.08	-4.02	-4.77	-4.68	-4.57
1st. molar	-3.60	-3.48	-3.35	-3.19	-3.60	-3.64	-2.86
2nd. molar	-2.21	-2.19	-2.12	-2.03	-2.31	-2.29	-1.81

Anterior teeth : (+) labial tipping, (-) lingual tipping
 Posterior teeth : (+) mesial tipping, (-) distal tipping

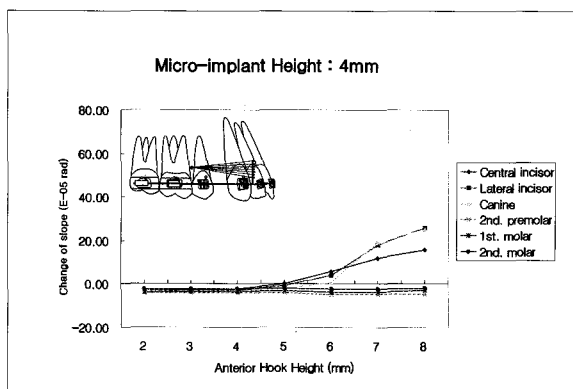


Fig. 4. Changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 4mm

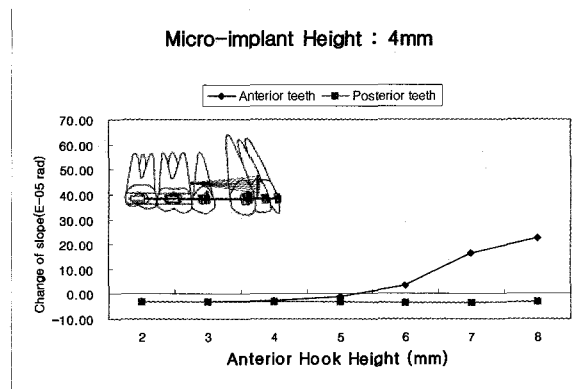


Fig. 5. Mean changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 4mm

으로 설정하였으며 제2소구치에서는 교합면상의 중앙점과 치근 침부의 절점, 그리고 제1대구치와 제2대구치에서는 교합면상의 중점과 3개 치근의 치근침 절점이 이루는 삼각형의 중심점을 연결한 선을 치축으로 설정하였다.

2) 치아 변위

변위 전후의 각 치아의 치축의 변화를 각도로 표현하여 치아 이동 양상을 평가하였다.

전치부에서 치체 이동은 변위 전후 치축 각도의 변화가 0°, 설측 경사는 (-), 순측 경사는 (+)로 나타내었으며 구치부에서는 치체 이동은 0°, 근심 경사는 (+), 원심 경사는 (-)로 표현하였다(Fig. 3).

3) 처리 방법

Software로 전처리에는 NISA DISPLAY IV, 후

처리 및 해석에는 NISA v8.0을 사용하였다. Hardware는 IBM PC 호환기종으로 CPU가 1GHz이고 RAM이 512MB인 Pentium III 컴퓨터를 사용하였다.

III. 결 과

1. 4mm micro-implant에서의 변위

4mm micro-implant에서 전치부 hook 높이에 따른 치아 이동 양상을 변위 전후의 각도 변화로 나타내었다(Table 2, Fig. 4).

전치부 hook 높이가 2mm일 때 전치부의 설측 경사 이동이 일어났으며, hook 높이를 4mm까지 증가시켰을 때 설측 경사 이동이 감소하였다.

전치부 hook 높이가 5mm일 때 중절치에서는 순측

Table 3. Displacement of teeth at 6mm micro-implant height ($\times E-05$ rad)

Anterior hook height (mm)	2	3	4	5	6	7	8
Central incisor	-2.70	-2.56	-1.97	-0.20	7.27	36.14	45.84
Lateral incisor	-2.51	-2.36	-1.82	-1.38	6.41	47.54	69.96
Canine	-2.50	-2.39	-2.13	-1.13	2.60	32.96	60.91
2nd. premolar	-1.22	-1.47	-1.72	-3.25	-2.87	-0.73	-0.52
1st. molar	-1.74	-2.03	-2.32	-3.02	-3.32	-1.14	-1.24
2nd. molar	-1.72	-1.95	-2.19	-2.47	-2.89	-0.60	-0.51

Anterior teeth : (+) labial tipping, (-) lingual tipping
 Posterior teeth : (+) mesial tipping, (-) distal tipping

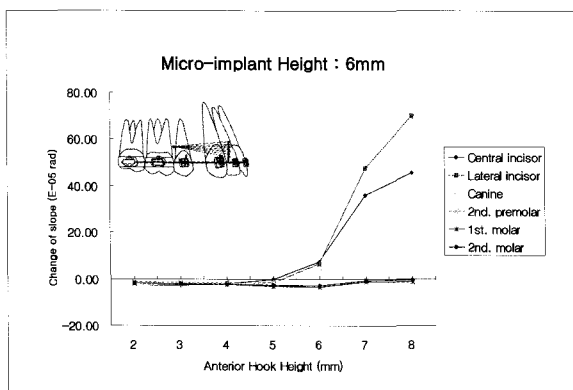


Fig. 6. Changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 6mm

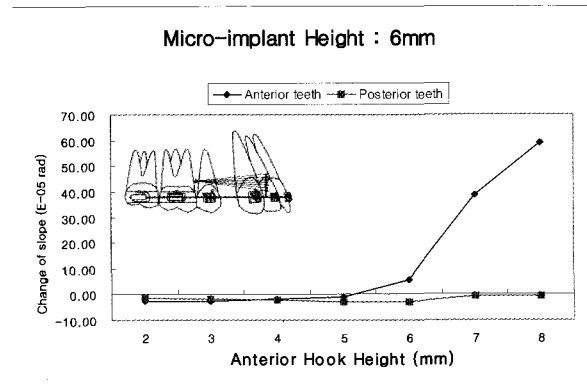


Fig. 7. Mean changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 6mm

경사가 일어났으며 측절치와 견치에서는 설측 경사 이동이 나타났다.

전치부 hook 높이가 6mm일 때 전치부의 순측 경사 이동이 일어났으며, hook 높이가 7, 8mm로 증가하면서 순측 경사 이동이 증가하였다.

구치부의 이동은 전치부 hook 높이 변화에 따른 큰 변화가 관찰되지 않았으며 원심 경사 이동이 나타났다. 평균 변위를 구하였을 때 전치부 hook 높이가 약 5.2mm에서 전치부의 치체 이동 양상을 나타내었다 (Fig. 5).

2. 6mm micro-implant에서의 변위

6mm micro-implant에서 전치부 hook 높이에 따른 치아 이동 양상을 변위 전후의 각도 변화로 나타내었다 (Table 3, Fig. 6).

전치부 hook 높이가 2mm일 때 전치부 설측 경사 이동이 일어났으며 hook 높이를 5mm까지 증가시켜도 전치부의 설측 경사 이동이 발생하였다. 그러나 설측 경사의 크기는 4mm micro-implant에서의 변위보다 감소된 값을 나타내었다.

전치부 hook 높이가 6mm일 때 전치부 설측 경사에서 순측 경사 이동으로 치아 이동 양상이 변하였다. 또한 hook 높이가 7mm와 8mm로 증가하였을 때 전치부 순측 경사 이동이 크게 증가하였다.

구치부에서는 원심 경사 이동이 관찰되었으며 전치부 hook 높이에 따른 큰 변화는 나타나지 않았으며, 4mm micro-implant일 때보다 감소된 원심 경사를 나타내었다.

평균 변위를 구하였을 때 전치부 hook 높이가 약 5.1 mm에서 전치부 치체 이동 양상을 나타내었다 (Fig. 7).

Table 4. Displacement of teeth at 8mm micro-implant height ($\times E-05$ rad)

Anterior hook height(mm)	2	3	4	5	6	7	8
Central incisor	-2.82	4.41	8.60	18.19	26.35	41.03	56.58
Lateral incisor	-2.08	8.50	14.21	27.86	39.41	56.70	74.29
Canine	-1.89	6.31	10.55	20.13	28.60	40.10	51.73
2nd. premolar	-1.44	-0.82	-0.71	-0.11	-0.54	-0.87	-0.26
1st. molar	-1.76	-1.13	-1.04	-0.45	-0.96	-1.04	-0.46
2nd. molar	-1.74	-1.10	-0.98	-0.35	-0.60	-0.43	0.20

Anterior teeth : (+) labial tipping, (-) lingual tipping

Posterior teeth : (+) mesial tipping, (-) distal tipping

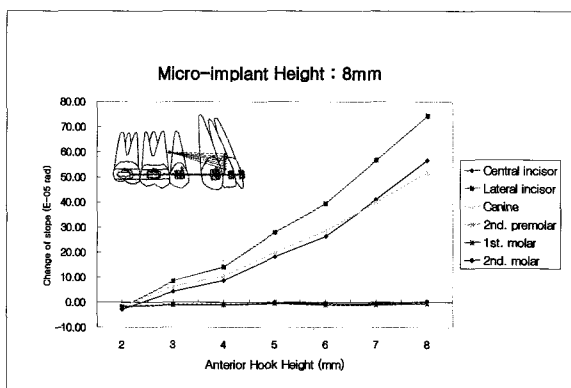


Fig. 8. Changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 8mm

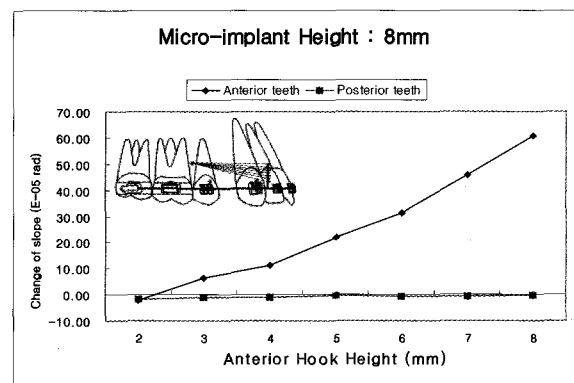


Fig. 9. Mean changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 8mm

3. 8mm micro-implant에서의 변위

8mm micro-implant에서 전치부 hook 높이에 따른 치아 이동 양상을 변위 전후의 각도 변화로 나타내었다(Table 4, Fig. 8).

전치부 hook 높이가 2mm일 때 전치부 순측 경사 이동이 나타났으며, 전치부 hook 높이가 3mm 이상으로 증가되었을 때 전치부 순측 경사 이동이 비례적인 증가 양상을 나타내었다.

구치부에서는 원심 경사 이동이 일어났으며 전치부 hook 높이에 따른 이동 양상의 차이가 크지 않았다. 6mm micro-implant일 때의 변위보다 감소된 원심 경사 이동을 나타내었다.

평균 변위를 구하였을 때 약 2.3mm의 전치부 hook 높이에서 전치부 치체 이동 양상을 나타내었다(Fig. 9).

4. 10mm micro-implant에서의 변위

10mm micro-implant에서 전치부 hook 높이에 따른 치아 이동 양상을 변위 전후의 각도 변화로 나타내었다(Table 5, Fig. 10).

전치부 hook 높이가 2mm일 때 전치부 순측 경사 이동이 일어났으며 hook 높이가 증가할수록 전치부 순측 경사 이동이 비례적으로 증가하였다.

전치부 순측 경사 이동은 측절치, 중절치, 견치 순으로 크게 일어났다.

구치부에서는 원심 경사 이동이 나타났으며, 8mm micro-implant에서 보다 약간 감소된 원심 경사 이동을 나타내었다.

전치부와 구치부의 평균 변위를 구하였다(Fig. 11).

Table 5. Displacement of teeth at 10mm micro-implant height ($\times E-05$ rad)

Anterior hook height (mm)	2	3	4	5	6	7	8
Central incisor	2.46	7.03	17.75	28.32	41.27	54.23	68.07
Lateral incisor	5.76	11.55	25.33	37.88	52.95	69.26	85.72
Canine	4.13	8.02	16.80	24.37	33.28	43.37	52.64
2nd. premolar	-1.06	-0.92	-0.35	-0.14	-0.16	-1.01	-2.84
1st. molar	-1.25	-1.15	-0.60	-0.16	-0.14	-1.21	-3.07
2nd. molar	-1.24	-1.11	-0.55	-0.09	-0.45	-0.52	-1.75

Anterior teeth : (+) labial tipping, (-) lingual tipping

Posterior teeth : (+) mesial tipping, (-) distal tipping

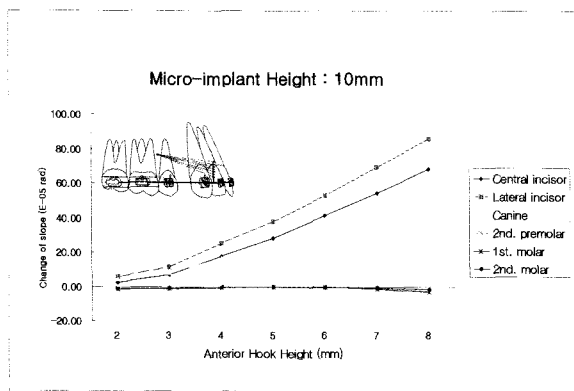


Fig. 10. Changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 10mm

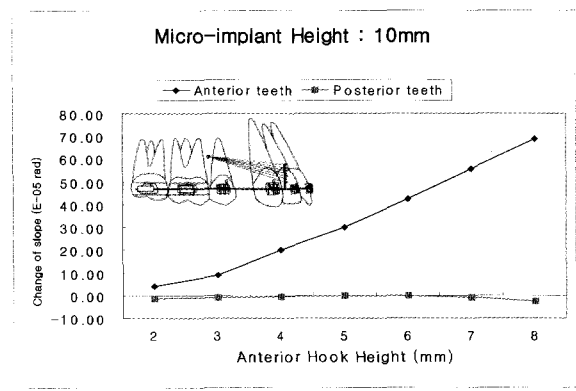


Fig. 11. Mean changes of slope on anterior and posterior teeth according to anterior hook height when micro-implant height was 10mm

IV. 고 찰

골격성 고정원을 이용한 상악 6전치 후방 견인시 골격성 고정원으로 사용되는 micro-implant의 위치와 전치부 hook 높이에 따른 치아 이동 양상을 3차원 유한 요소법을 이용하여 분석하였다.

상악 제1소구치가 발거된 상악 우측 치열의 유한 요소 모델을 제작하고 각 치관의 중심에 브라켓을 부착시켰다. Beam 요소를 사용하여 각 브라켓을 연결함으로써 임상에서의 figure of 8 tie를 표현하였다. Micro-implant는 제2소구치와 제1대구치 치간골에 선재로부터 4mm 상방에서 10mm까지 2mm 간격으로 4개를 형성하였다. Micro-implant 높이를 4mm에서부터 형성한 것은 정상 치주 조직에서 치조정은 법랑-백악질 경계부에서 0.96-1.22mm 정도 떨어져 있으므로³²⁾, 만약 micro-implant가 치조정에 식립된다

면 micro-implant의 head 높이를 고려하였을 때 선재로부터 약 4mm 정도 상방에 힘 적용점이 위치할 것으로 생각되기 때문이다. 또한 통상적인 공간 폐쇄시 10mm이상 높이의 micro-implant는 환자의 불편감 등을 고려할 때 바람직하지 않다고 생각된다. 전치부 hook은 측절치와 견치 사이의 선재에 부착하였으며 선재로부터 2mm 상방에서부터 힘 적용점을 형성하였는데, 이것은 임상에서 통상적으로 사용되는 crimpable hook의 높이가 약 2mm이기 때문이다. 선재는 gap 요소를 사용하여 브라켓에 고정시킨 뒤, micro-implant와 전치부 hook사이에 150gm의 힘을 가하여 치아의 변위를 구하였다. 치아 이동의 해석은 변위 전후의 치축의 기울기 변화를 계산하여 표현하였다.

본 연구에서 사용된 선재에는 부가적인 compensating curve나 torque, gable bend가 부여되지 않았

으며, 단지 micro-implant와 전치부 hook 사이의 힘 적용점의 수직적 변화에 의한 치아 이동 양상을 분석하였다.

4mm micro-implant에 대한 실험 결과 전치부 hook 높이가 5mm까지 증가하여도 설측 경사 이동이 일어났으며, 전치부 설측 경사 이동은 hook 높이가 증가하면서 감소하였는데 이것은 hook 높이가 증가하면서 힘 적용점이 전치부 저항 중심에 근접하게 되고 또한 hook 높이 증가에 의한 전치부의 설측 치관 모멘트의 감소에 의해 나타난다고 생각된다. 전치부 hook 높이를 6mm 이상으로 증가시켰을 때 전치부의 순측 경사 이동이 점차적으로 증가하였다. 힘의 적용점이 더욱 상방으로 위치하고 hook 높이 증가에 의한 치관 순측 모멘트가 더욱 증가함으로써 전치부 변위가 설측 경사에서 순측 경사 이동으로 전환된 것이라 생각된다.

4mm micro-implant에서 전치부 hook 높이에 따른 전치부와 구치부의 평균 변위를 구하였을 때, 전치부 hook 높이가 약 5.2mm에서 전치부 치체 이동 양상이 나타났다. 4mm micro-implant에서 전치부의 부가적인 순측 치관 모멘트를 얻기 위해서는 전치부 hook 높이가 6mm 이상 되어야 하는데, 이 경우 전치부 hook 높이에 비하여 micro-implant가 낮은 위치이므로 공간 폐쇄 과정 동안 후하방의 견인력이 전치부에 작용할 것으로 예상된다.

6mm micro-implant에서의 실험 결과 전치부 hook 높이가 5mm 이하에서는 전치부 설측 경사 이동이 발생하였다. Micro-implant 높이가 4mm일 때의 이동 양상과 유사하였지만 설측 경사 이동이 감소하였다. 그 이유로는 micro-implant가 보다 상방으로 위치되면서 4mm의 경우보다는 후상방의 견인력을 제공하기 때문이라 생각된다. 또한 전치부 hook 높이가 6mm 이상에서 순측 경사 이동이 크게 증가하였는데, 동일한 전치부 hook 높이에 대해 보다 상방에 위치한 micro-implant에서 힘이 적용되면 전치부 hook에 의해 호선에서 발생하는 모멘트가 증가하여 전치부 치관 순측 torque가 크게 발생하는 것으로 생각된다.

Micro-implant의 위치가 8mm일 때 전치부 hook 높이가 2mm에서는 설측 경사 이동이 일어났지만 hook 높이가 3mm 이상에서는 순측 경사 이동이 비례적으로 증가하였다.

Micro-implant 위치가 10mm에서는 전치부 hook 높이가 2mm에서부터 순측 경사 이동이 나타났다. 이것

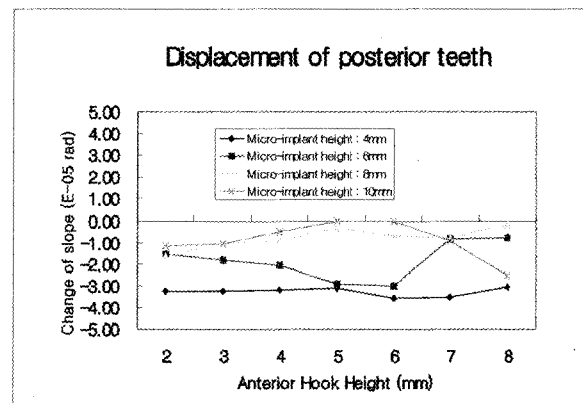


Fig. 12. Mean changes of slope on posterior teeth according to anterior hook and micro-implant height.

은 micro-implant가 상당히 상방에 위치한다면 전치부에 후상방력이 강하게 작용하며 또한 전치부 hook에 의해 발생하는 전치부 치관 순측 torque가 크게 작용하였기 때문이라 생각된다.

구치부에서의 이동 양상은 전치부 hook 높이에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며 전체적으로 원심 경사 이동이 발생하였다. 이러한 구치부의 원심 이동은 브라켓과 선재 사이의 마찰력에 의한 것이라고 생각된다. Micro-implant 위치가 높아짐에 따라 구치부 원심 경사가 감소하였는데, micro-implant가 상방에 위치할수록 수직 분력이 증가하고 수평 분력이 감소하기 때문이라 생각된다(Fig. 12).

상악 전치부의 이동 양상의 조절에 관여하는 요소로는 micro-implant의 상하 높이와 호선상의 hook의 길이, 부가적인 torque와 compensating curve의 양 그리고 후방 견인력의 크기라고 할 수 있다.

후방 견인력의 크기 조절은 이전의 연구³³⁾에서 50-200gm의 힘을 이용하여 1개월에 0.5-1.5mm의 속도로 공간을 폐쇄시키는 것이 가장 효율적인 방법이라고 지적하였으며 Bennett와 McLaughlin³⁴⁾도 임상 연구에서 힘의 크기를 증가시킴으로써 폐쇄속도를 증가시킬 수는 있으나 과도한 힘으로 너무 빨리 폐쇄시키는 경우에는 torque, rotation, tip 등의 조절 부족을 야기하기 쉽다고 하였다. 따라서 본 연구에서 사용된 150gm의 후방력은 브라켓과 선재의 마찰력과 타액과 음식물 등 임상적 제한 요소를 고려한다면 적절하다고 생각된다.

Micro-implant의 상하 높이 조절은 해부학적 및 역학적 관점에서 조절에 한계가 있다. 즉 micro-

implant 식립 후 구강 위생 관리와 환자의 불편을 최소화하기 위해서는 부착 치은에 micro-implant를 위치시키는 것이 유리하다. 부착 치은은 변연치은과 치은-점막 경계부 사이의 치은으로서 그 폭경은 동일인 경우도 부위마다 다르며 일반적으로 상악 전치부에서 3.5-4.5mm 정도이며 상악 구치부에서 평균 1.9mm 정도이다³²⁾. 또한 전정 깊이 식립될 경우 수직 분력이 커지고 수평 분력이 너무 작아지는 문제가 발생한다.

따라서 치아 이동의 양상을 조절할 수 있는 요소로 가장 유용하게 사용될 수 있는 방법은 compensating curve의 양을 조절하는 것과 호선에 부착된 hook의 길이를 조절하는 것이다. 그러나 hook의 길이가 길어질수록 이전에 언급한 것과 같이 모멘트가 커지면서 호선의 뒤틀림이 커지는 부작용이 발생하여 바람직하지 못한 치아 이동을 야기한다.

4mm micro-implant에서 후방 견인시 임상적으로 적절한 상악 전치부 치축 경사를 유지하기 위해서는 전치부 hook 높이가 6mm 이상 되는 것이 바람직하다. 그러나 힘의 작용선이 후하방을 향하기 때문에 전치부의 정출이 예상되며 또한 임상에서 micro-implant 식립시 브라켓 중심에서 4mm 위치는 치간치조골 폭경이 좁아서 인근 치아의 치근막 침범의 위험성이 크고 또한 유지의 문제가 대두될 수 있다.

반면 10mm micro-implant에서는 전치부 hook 높이가 2mm 이상에서 전치부의 순측 경사 이동을 일으키며 전치부에 후상방력을 가하여 합입 효과가 크게 나타나지만 역학적으로 수직 분력이 상당히 크고 수평 분력의 감소로 후방 견인의 효율성이 떨어질 수 있으며 공간 폐쇄가 진행되면서 점차적으로 수직 분력이 더욱 커질 수 있다. 또한 해부학적으로 10mm 위치는 치조 점막에 근접하므로 환자의 불편감을 크게 하고 염증 반응이 쉽게 일어날 수 있는 단점이 있다.

임상적으로 상악 제2소구치와 제1대구치 사이의 치조골에 micro-implant가 식립될 때 그 수직적 위치는 브라켓 중심으로부터 평균적으로 6-8mm 상방에 위치하는 것이 가장 적절하다고 생각된다.

따라서 본 실험 결과 micro-implant의 위치가 6mm일 때 적절한 치축 경사를 유지하면서 상악 전치를 후방 견인 하기 위해서는 6mm의 전치부 hook 높이가 필요하였으며, 만약 호선에 부가적인 compensating curve가 부여된다면 전치부 hook의 높이

를 감소시킬 수 있을 것이다. Micro-implant의 위치가 8mm일 경우 전치부 hook 3mm에서 상악 전치부의 순측 치관 torque와 함께 후상방 견인력을 얻을 수 있다. 만약 상악 전치가 설측 경사되어 있는 경우라면 전치부 hook의 길이를 길게 하여 반시계 방향으로의 모멘트를 증가시킬 수 있으며, 또는 부가적인 compensating curve를 부여하여 전치부 순측 치관 torque를 크게 함으로써 설측 경사된 전치의 후방 견인시 치축을 양호하게 조절할 수 있다고 사료된다.

Micro-implant 위치와 전치부 hook 높이에 따른 역학적인 치아 이동 양상을 이해한다면 임상적으로 상악 전치의 치축 경사도, 치주 조직 상태, 피개 교합 정도 등을 고려하여 가장 적절한 치아 이동을 위한 힘의 적용점을 선택하고 필요하다면 부가적인 torque나 compensating curve를 부여하여 전치부 후방 견인시 효과적으로 적용할 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구는 컴퓨터 프로그램상에서 실제와 유사하게 재현된 모델을 통한 가상 실험으로서 유한 요소 프로그램 자체가 치근막 등 생체 조직의 anisotropic하고 viscoelastic한 특성을 재현하지 못하고 단지 한 가지 수치의 탄성 계수와 Poisson's ratio로 모든 조직의 특성을 나타내기 때문에 실제의 임상과는 다소간 차이가 있다고 생각된다.

따라서 앞으로 동물 실험 및 임상 실험을 통해 본 연구 결과에 대한 검증은 거친다면 임상에서 활용하는데 다소의 도움이 되리라 생각된다.

V. 결 론

Micro-implant를 이용한 상악 6전치 후방 견인시 힘의 적용점 변화에 따른 치아 이동 양상을 유한 요소법적으로 분석한 결과 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

1. Micro-implant 높이가 4mm일 경우 5mm이하의 전치부 hook 높이에서는 전치부 설측 경사 이동이 일어났으며 전치부 hook 높이가 6mm이상 되었을 때 전치부 순측 경사 이동이 일어났다.
2. Micro-implant 높이가 6mm일 경우 5mm 이하의 전치부 hook 높이에서 전치부 설측 경사 이동이 일어났으며 전치부 hook 높이가 6mm 이상 되었을 때 전치부 순측 경사 이동이 일어났다. 이것은

- 4mm micro-implant에서의 실험 결과와 유사한 이동 양상을 나타내었지만, Micro-implant 높이가 6mm일 때 전치부 설측 경사 이동이 좀더 감소하였다.
3. Micro-implant 높이가 8mm일 경우 전치부 hook 높이가 2mm일 때 전치의 설측 경사 이동이 일어났으며 3mm 이상의 전치부 hook 높이에서 순측 경사 이동이 비례적으로 증가하였다.
 4. Micro-implant 높이가 10mm일 경우 전치부 hook 높이가 2mm 이상에서 전치의 순측 경사 이동이 비례적으로 증가하였다.
 5. 전치부 hook 높이가 증가할수록 전치의 순측 경사 이동이 증가되지만 선재의 뒤틀림에 의한 변형이 증가되므로 견치와 소구치 부위에서 정출력이 발생하는 바람직하지 못한 치아 이동 양상이 일어났다.
 6. Micro-implant를 이용한 상악 6전치 후방 견인시 구치부의 이동은 선재와 브라켓 사이의 마찰력에 의해서 원심 경사 이동이 발생하였다.

이상의 결과로부터 micro-implant 위치와 전치부 hook 높이에 따른 역학적인 치아 이동 양상을 이해한다면, 임상적으로 상악 전치의 치축 경사도, 치주 조직 상태, 피개 교합 정도 등을 고려하여 가장 적절한 치아 이동을 위한 힘의 적용점을 선택하여 전치부 후방 견인시 효과적으로 적용할 수 있을 것이라 사료된다.

참고 문헌

1. Güray E, Orhan M. "En Masse" retraction of maxillary anterior teeth with anterior headgear. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997 ; 112 : 473-9
2. 민상홍, 윤영주, 김광원. Space closing loop에 의해 야기되는 상악 절치부 이동양상에 관한 역학적 연구. *대치교정지* 1995 ; 25 : 143-52
3. Siatkowski RE. Force System Analysis of V-Bend Sliding Mechanics. *J Clin Orthod* 1994 ; 28 : 539-46
4. Gjessing P. Controlled retraction of maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992 ; 101 : 120-31
5. Siatkowski RE. Continuous arch wire closing loop design, optimization, and verification. Part I *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997 ; 112 : 393-402
6. Siatkowski RE. Continuous arch wire closing loop design, optimization, and verification. Part II *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997 ; 112 : 487-95
7. Merrifield LL, Cross JJ. Directional forces. *Am J Orthod* 1970 ; 57 : 435-64
8. 이유진, 박수명. 상악 전치의 후방견인시 J-hook headgear의 사용이 응력분포 변화에 미치는 영향에 대한 광탄성학적 연구. *대치교정지* 1996 ; 26 : 697-709
9. 천옥진, 김태우, 서정훈. 상악 4절치의 후방견인시 나타나는 현상에 관한 유한요소법적 분석. *대치교정지* 1995 ; 25 : 525-41
10. 장세경, 성재현. 각형선재에 가해진 torque가 상악 4전치부 치근막에 발생시키는 응력에 관한 유한 요소법적 분석. *경북대학교 치의학박사 학위논문* 2000
11. McLaughlin RP, Bennett JC. The Transition from Standard Edgewise to Preadjusted Appliance System. *J Clin Orthod* 1989 ; 23 : 142-53.
12. Gainsforth BL, Higley LB. A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. *Am J of Oral Surg* 1945 ; 31 : 406-17
13. Linkow LI. The endosseous blade implant and its use in orthodontics. *Int J Orthod* 1969 ; 7 : 149-54
14. Roberts WE, Smith RK, Zilberman Y, Mozsary PG, Smith RS. Osseous adaptation to continuous loading of rigid endosseous implants. *Am J Orthod* 1984 ; 86 : 95-111
15. Creekmore TD, Eklund MK. The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 1983 ; 17 : 266-9
16. Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997 ; 31 : 763-7
17. Block MS, Hoffman DR. A new device of absolute anchorage for orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995 ; 107 : 251-8
18. Sugawara J. JCO interviews, Dr. Junji Sugawara on the skeletal anchorage system. *J Clin Orthod* 1993 ; 33 : 689-96
19. 박효상. Micro-implant를 이용한 교정치료. *나래출판사* 2001
20. 임상진. 유한요소법 입문. *동명사* 1985
21. Tanne K, Hiraga J, Kakiuchi K, Yamagata Y, Sakuda M. Biomechanical effect of anteriorly directed extraoral forces on the craniofacial complex : A study using the finite element method. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989 ; 95 : 200-7
22. Tanne K, Matsubara S. Association between the direction of orthodontic headgear force and sutural responses in the nasomaxillary complex. *Angle Orthod* 1996 ; 66 : 125-30
23. Cobo J, Sicilia A, Arguelles J, Suarez D, Manuel Vijande. Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force : tridimensional analysis by means of the finite element method. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1993 ; 104 : 448-54
24. Ieon PD, Turley PK, Moon HB, Ting K. Analysis of stress in the periodontium of the maxillary first molar with a three-dimensional finite element model. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999 ; 115 : 267-74
25. Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion, 6th ed. WB Saunder Co. LA USA 1984
26. Andrew LF. The six key to normal occlusion. *Am J Orthod* 1972 ; 62 : 296-309
27. Andrews LF. The straightwire appliance : Extraction series bracket. *J Clin Orthod* 1976 ; 10 : 581-8
28. Coolidge ED. The thickness of the human periodontal membrane. *J Am Aent Asso* 1937 ; 24 : 1260-70 cited by Tanne K, Nigataki T, Inoue Y and Sakuda M : Pattern of initial displacement associate with various root lengths and alveolar bone height. *Am J Ortho Dentofac Orthop* 1991 ; 100 : 66-71
29. Kronfeld F. Histologic study of the influence of function on the human periodontal membrane. *J Am Dent Assoc* 1931 ; 18 : 1942
30. Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ. Moment to force ratios and the center of rotation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988 ; 94 : 426-31
31. 하도원. 교정용 각형 선재에 부여된 torque가 브라켓에 발생시키는 모멘트에 관한 유한요소법적 분석. *대치교정지* 2001 ; 31 : 335-46
32. 치주과학 교수협의회 : 치주과학 .군자출판사 1996

33. Davis HD. Retraction and alignment of upper incisors with a sliding labial arch. *British J Orthod* 1981 ; 81 : 19-22

34. Bennett JC, McLaughlin RP. Controlled space closure with a preadjusted appliance system. *J Clin Orthod* 1990 ; 24 : 251-60

- ABSTRACT -

Three-dimensional finite element analysis of initial tooth displacement according to force application point during maxillary six anterior teeth retraction using skeletal anchorage

Chan-Nyeon Kim, Jae-Hyun Sung, Hee-Moon Kyung

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Kyungpook National University

The purpose of this study was to investigate the micro-implant height and anterior hook height to prevent maxillary six anterior teeth from lingual tipping and extruding during space closure. We manufactured maxillary dental arch form, bracket and wire, using the computer aided three-dimensional finite element method. Bracket was .022" × .028" slot size and attached to tooth surface. Wire was .019" × .025" stainless steel and .032" × .032" stainless steel hook was attached to wire between lateral incisor and canine. Length of hook was 8mm and force application points were marked at intervals of 1mm. Four micro-implants were implanted on alveolar bone between second premolar and first molar. The heights of them were 4, 6, 8, 10mm starting from wire. We analyzed initial displacement of teeth by various force application point applying force of 150gm to each micro-implant and anterior hook.

The conclusions of this study are as the following :

1. When the micro-implant height was 4mm and the anterior hook height was 5mm and below, anterior teeth were tipped lingually. When the anterior hook height was 6mm and above, anterior teeth were tipped labially.
2. When the micro-implant height was 6mm and the anterior hook height was 5mm and below, the anterior teeth were tipped lingually. When the anterior hook height was 6mm and above, the anterior teeth were tipped labially. But lingual tipping of anterior teeth decreased and labial tipping increased when the micro-implant height was 6mm, compared with 4mm micro-implant height.
3. When the micro-implant height was 8mm and the anterior hook height was 2mm, the anterior teeth were tipped lingually. When the anterior hook height was 3mm and above, labial tipping movement of the anterior teeth increased proportionally.
4. When the micro-implant height was 10mm and the anterior hook height was 2mm and above, labial tipping of the anterior teeth increased proportionally.
5. As the anterior hook height increased, anterior teeth were tipped more labially. But extrusion occurred on canine and premolar area because of the increase of wire distortion.
6. Movement of the posterior teeth was tipped distally during maxillary six anterior teeth retraction using micro-implant because of the friction between bracket and wire.

Based on the results of this study, we could predict the pattern of the tooth movement according to position

of micro-implant and height of anterior hook. It seems that we can find the force application point for proper tooth movement in consideration of inclination of maxillary anterior teeth, periodontal condition, overjet and overbite

KOREA. J. ORTHOD. 2003 : 33(5) : 339-50

※ **Key words** : Micro-implant, Three-dimensional finite element, Sliding mechanism, Orthodontics