

교정력이 흰쥐의 치아이동량과 치근흡수에 미치는 영향

김 일 곤¹⁾ · 김 광 원²⁾ · 윤 영 주³⁾

본 연구는 치아를 실험적으로 이동시킬 때, 교정력의 크기와 적용방법에 따른 치아이동 양상의 차이가 존재하는지의 여부와 치근흡수와의 관련 여부에 대하여 평가하고자 하였다.

300g전후의 건강한 수컷 흰쥐 24마리를 세 군으로 나누고 상악 제 1대구치와 상악중절치 사이에 NiTi closed coil spring을 장착하여, 각 군당 50g(A군), 100g(B군), 25g(C군)을 적용하였고 C군의 경우에는 교정력을 적용한 지 4일째 50g으로 힘을 증가하였다. 15일간 교정력을 적용하는 동안 매일 enter로 흡입마취를 시행하고 치아이동거리를 digital caliper로 측정하고 15일간의 실험기간 종료 후 상악 제1대구치 치근부의 조직표본을 제작하여 광학 현미경으로 관찰한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 각 군별 15일간 총 치아이동거리는 B군에서 가장 컸고, 그 다음 C군, A군의 순이었으나 통계학적으로 유의성 있는 차이는 없었다.
2. A, B, C군 모두 전형적인 치아의 이동양상을 보여주었으며 치아이동 지체기가 끝난 날은 C, B, A군의 순서로 각각 7, 8, 9일째 끝났으나 통계학적으로 유의성 있는 차이는 없었다.
3. A, B, C군 모두에서 치근의 흡수양상을 관찰할 수 있었고, 특히 B군에서 가장 심한 치근흡수양상을 보여주었고, C군에서 치근흡수의 양상이 가장 적었다.

이상을 종합해볼 때, 교정력이 크다고 하여 더 빠른 치아이동이 일어난다고 볼 수 없으며 교정력이 클수록 초자양변성대가 광범위하게 형성되어 오히려 치근의 흡수도 증가하므로 교정력을 적용할 때 초기 교정력을 보다 적게 적용하여 초자양변성대 형성범위를 줄인 뒤 교정력을 증가시키는 방법이 치근흡수를 최소화하면서 효과적인 치아이동을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

주요단어 : 최적교정력, 치아이동속도, 치근흡수

I. 서 론

교정력을 적용하여 치아를 움직일 때 치아의 이동기전을 규명하기 위한 다양한 방법의 연구¹⁻¹³⁾가 시행되어 왔는데 이는 조직에 손상을 주지 않으면서 치아를 이동시킬 수 있는 최적의 생역학적 방법을 교정학 분야에 적용하기 위해서이다.

Storey등¹⁴⁾에 의해 교정적 치아이동시 치주조직에 유해한 반응을 최소로 하면서 치아이동속도를 최대한으로 하는 최적 교정력(optimal force)의 개념이 소개되었고 Begg¹⁵⁾에 의해 이러한 최적 교정력은 치아마다 다르다고 하는 차등 교정력의 이론이 제시되었다. 힘의 크기와 치아이동의 관계에서 Burstone^{16,17)}은 힘의 크기에 따른 치아이동의 속도는 차이가 없다고 했으며, Hixon¹⁸⁾, Weinstein¹⁹⁾은 치아이동속도가 교정력에 비례한다고 하였다. 교정력이 작용하게 되면 압박측과 긴장측이 발생하고 압박측 치주인대에서는

¹⁾ 조선대학교 치과대학 교정학교실, 전공의

²⁾ 조선대학교 치과대학 교정학교실, 교수

³⁾ 조선대학교 치과대학 교정학교실, 조교수



Fig. 1. NiTi closed coil spring application in Rat

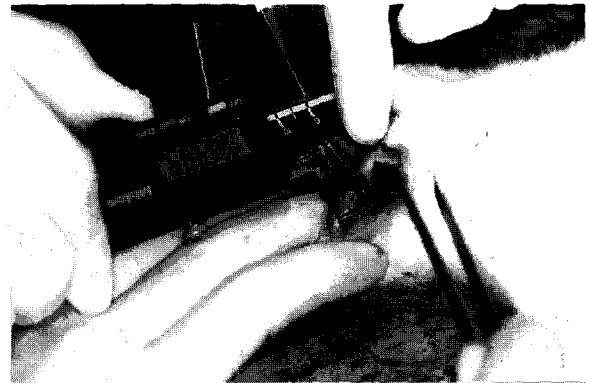


Fig. 2. Tooth movement measuring by digital caliper

초자양변성대(hyalinized zone)가 형성되며 파골세포가 나타나 치조골의 흡수가 일어난다^{1-4,8,9,20-23}. 압박측에서 형성되는 초자양변성은 교정력의 크기에 상관없이 발생하며²⁴ 교정력이 크면 광범위한 범위에서 초자양변성대가 형성된다¹¹. 치아이동은 초기단계(initial phase), 지체단계(lag phase), 지체후 단계(post-lag phase)의 세 과정을 거치면서 이동한다. 이 중 지체단계는 초자양변성대의 형성과 치조골의 잠행성흡수가 특징이며 이 동안에는 거의 치아이동이 일어나지 않는다^{9,25}. 그리고 이러한 초자양변성대가 흡수되면서 치근의 흡수가 시작되므로 치근의 흡수는 초자양변성대의 형성과 밀접한 관계가 있다^{2,26}. 따라서, Reitan^{9,24}은 초기교정력을 약하게 적용하여 초자양변성대의 형성범위를 최소로 함으로써 치근흡수를 감소시키고 치아이동이 빠르게 진행되도록 해야 한다고 했다.

흰쥐에서 실험적 치아이동을 시행한 대부분의 연구들은 helix spring을 이용하여 대구치를 협측으로 밀어서 치아이동의 거리를 측정하고 조직학적 양상을 관찰한 것과^{1,9,26}, 상악전치와 상악 제1대구치 사이에 stainless steel closed coil spring을 적용하여 치아이동거리를 측정하고 조직학적 양상을 관찰한 것이었다^{2,3,27}. 흰쥐의 치조골은 인간의 것에 비해 치조골과 치조골판 내에 골수강이 거의 없고 아주 치밀하기 때문에¹⁰ 흰쥐의 구치를 협측으로 경사이동시켜 치아이동의 양상과 조직학적 양상을 관찰하는 것보다 치조정을 따라서 구치를 지속적인 견인력으로 전방으로 이동시켜 관찰하는 것이 합리적이다.

따라서 본 연구는 흰쥐에서 구치를 치조정을 따라 실험적으로 치아이동을 시키되 지속적인 교정력이

작용하도록 superelastic NiTi closed coil spring (Sentalloy Coil Spring[®], GAC)을 이용하였으며 초기 힘을 중간 힘으로 견인한 경우(A군)와 강하게 견인한 경우(B군), 파골세포와 조골세포 등이 활성화될 정도로 약하게 견인하여 초자양변성대 형성을 줄이고 힘의 강도를 증가시킨 경우(C군)로 나누어 교정력의 차이에 의한 치아이동 속도의 차이가 실제적으로 존재하는지의 여부와 각 경우에 있어 치근흡수 양상에 어떠한 차이가 있는지의 여부를 규명한 결과 다소의 의견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 연구방법

1. 연구재료

체중 300g전후의 건강한 수컷흰쥐(Sprague-Dawley 계) 24마리를 실험동물로 사용하였으며 교정력의 크기와 적용방법에 따라 50g적용군(A군), 100g적용군(B군), 25g을 적용하다가 4일째 50g으로 교정력을 증가시킨 군(C군)으로 나누고, 각 군에 8마리씩 배정하였다. 장치의 장착은 상악좌측에만 이루어졌으며, 교정력이 적용되지 않은 우측의 제 1대구치를 대조군으로 삼았다. 장착된 spring은 GAC에서 시판되는 50g과 100g의 힘을 일정하게 발휘하는 superelastic NiTi closed coil spring(Sentalloy Coil Spring[®],GAC)을 사용하였고 25g의 힘을 발휘하는 coil spring은 Miura의 연구결과²⁸를 토대로 실험하여 얻은 열처리방법으로 580℃에서 15분간 시행하여 얻었다. 실험동물들은 실험기간동안 장치의 변형을 방지하기 위하여, 시판되는 고탄사료를 빵아서 물과 함께 충분히 공급하였다.

Table 1. Comparison of mean incremental active tooth movement among three groups.

Day	0	1	2	3	4	5	6	7
A Group	0	0.69±0.17	0.14±0.02	0.14±0.22	0.09±0.16	0.09±0.10	0.08±0.11	0.07±0.08
B Group	0	0.84±0.09	0.26±0.31	0.11±0.08	0.09±0.08	0.03±0.04	0.03±0.04	0.02±0.03
C Group	0	0.57±0.23	0.33±0.17	0.18±0.07	0.08±0.07	0.06±0.08	0.09±0.12	0.14±0.12

Day	8	9	10	11	12	13	14	15
A Group	0.05±0.05	0.11±0.11	0.03±0.05	0.03±0.04	0.08±0.10	0.04±0.06	0.12±0.13	0.13±0.12
B Group	0.19±0.07	0.18±0.09	0.03±0.04	0.03±0.04	0.02±0.02	0.03±0.05	0.21±0.09	0.11±0.05
C Group	0.15±0.14	0.07±0.07	0.02±0.02	0.02±0.01	0.04±0.03	0.07±0.06	0.13±0.11	0.09±0.13

* : P<0.05

2. 연구방법

1) 실험장치의 장착 및 치아이동거리 측정

실험장치는 Heller와 Nanda가 사용했던 방법⁵⁾과 동일하게 하였고, 실험동물은 체중 100g당 0.5mg의 Xylazine(Rompun[®], 20mg/10ml, Bayer)과 체중 100g당 4mg의 염산케타민(유한케타민[®], 50mg/ml, 유한양행)을 복강내 주사하여 전신마취 시키고, 상악 중절치의 근원심측과 상악 좌측 제1대구치의 협설측에 high speed bur로 유지구를 형성하여 준 후 0.25mm 교정용 결찰선으로 치아의 주위를 감아 결찰한 후 pig tail을 만들고 A군에는 50g의 힘을 발휘하는 NiTi closed coil spring을 걸어주었고, B군에는 100g의 힘을 발휘하는 NiTi closed coil spring을 걸어주었고, C군에는 50g spring을 열처리하여 얻은 25g의 힘을 발휘하는 NiTi closed coil spring을 걸어준 뒤 치아간 이동거리를 측정하였다(Fig. 1,2). 그리고 C군의 경우에는 4일째 50g의 교정력을 발휘하는 spring으로 모두 교체하였다. 치아간 거리의 계측은 상악 중절치 구개면과 상악 제1대구치 근심면의 교정용 결찰선이 묶인 지점을 기준위치로 삼았다. 치아를 교정용 결찰선으로 묶은 뒤 spring을 적용하기 전에 치아간 거리를 측정하였고 바로 spring을 장착하여 1일째부터 15일째까지 매일 ether로 흡입마취를 시행한 후 1/100mm까지 계측이 가능한 digital caliper (Absolute digimatic[®], Mitutoyo, Japan)로 치아간 이동거리를 계측하였다.

2) 실험동물 희생 및 조직절편 제작과정

15일간의 실험이 종료된 후 각 실험동물은 체중 100g당 0.5mg의 Xylazine (Rompun[®], 20mg/10ml, Bayer)과 체중 100g당 4mg의 염산케타민(유한케타민[®], 50mg/ml, 유한양행)을 복강내 주사하여 전신마취 시키고, 2.5% glutaraldehyde- para-formaldehyde (0.1M phosphate buffer, PH7.4)로 관류고정을 시행하였다. 그 후 희생시킨 흰쥐에서 상악골을 절제하여 후방부에서는 상악 제 3대구치 후방, 상방부에서는 협골돌기 연결부위, 전방부에서는 경구개 rugae 부위까지 절단하여 제1,2대구치가 포함되는 좌, 우측 조직괴로 분리하여 glutaraldehyde(0.1M cacodylate buffer, PH7.4)에서 고정한 후 2.5% glutaraldehyde가 포함된 0.1M EDTA (0.1M cacodylate buffer, PH 5.6-6.8)에서 탈회를 시작하여 통법에 따라 Hematoxyline-Eosine 염색과 Masson's Trichrome 염색을 시행하여 광학현미경으로 관찰하였다. 치근의 흡수양상을 비교할 때 치근침 치근흡수의 경우에는 개체간 변이가 심하여 치근면 중앙 1/3부위와 치근 분지부 원심치근면을 관찰부위로 각 군간 치근의 흡수양상을 관찰하였다(Fig. 3).

3) 통계처리

각 군의 치아이동량을 통계프로그램인 SAS를 이용하여 oneway ANOVA와 Scheffé multiple range test로 5% 유의수준에서 사후검정을 시행하고 통계학적인 유의성 여부를 검정하였다.(Table 1,2)

Table 2. Comparison of mean cumulative tooth movement among three groups.

Day	0	1	2	3	4	5	6	7
A Group	0	0.69±0.17	0.83±0.18	0.97±0.17	1.06±0.24	1.15±0.32	1.23±0.40	1.30±0.41
B Group	0	0.84±0.09	* 1.11±0.23	1.22±0.27	1.31±0.28	1.34±0.28	1.36±0.32	1.39±0.31
C Group	0	0.57±0.23		0.90±0.35	1.08±0.35	1.16±0.32	1.16±0.32	1.31±0.21

Day	8	9	10	11	12	13	14	15
A Group	1.34±0.36	1.46±0.43	1.49±0.46	1.52±0.49	1.60±0.40	1.65±0.44	1.76±0.42	1.90±0.49
B Group	1.57±0.29	1.75±0.38	1.78±0.36	1.81±0.35	1.83±0.32	1.86±0.36	2.07±0.39	2.19±0.41
C Group	1.61±0.24	1.68±0.27	1.70±0.27	1.73±0.28	1.77±0.26	1.84±0.26	1.96±0.22	2.06±0.10

* : P<0.05

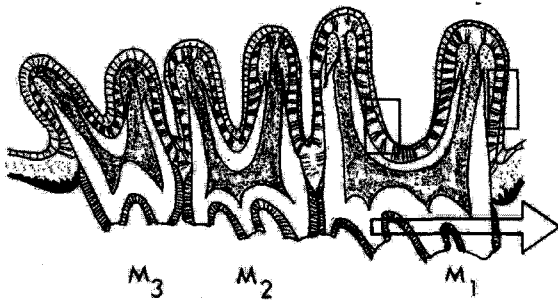


Fig. 3. Observation field of root resorption (X200)

III. 연구성적

1. 치아이동

매일매일 치아이동을 측정하여 각 군별 치아 평균 이동량과 총 누계를 구하였고 측정된 각 군별 치아의 평균 이동량과 총 누계는 Table 1,2와 같으며, Fig. 4,5는 이들을 Graph로 평가한 것이다. 1일째 교정력이 적용된 모든 군에서 가장 많은 치아이동량을 보였고 2일째부터 그 양이 지체되기 시작하여 A, B, C군 모두 치아이동의 특징적 양상인 초기단계, 지체단계, 지체후 단계의 양상을 보이기 시작하였다. 1일째 B군과 C군사이의 일별 평균 치아이동량에 있어 통계학적 유의성을 보였다. C군의 경우에는 7일째, B군의 경우에는 8일째, A군의 경우에는 9일째부터 치아이동이 재개되기 시작하여 C군에서 가장 초자양변성기



Fig. 4. Mean incremental active tooth movement

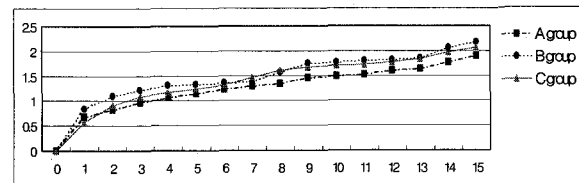


Fig. 5. Mean cumulative tooth movement

간이 짧다는 것을 알 수 있었으나 통계학적 유의성은 8일째 A군과 B군간에서만 나타났다. C군에서의 치아이동의 양상은 2일째, 3일째에도 A군과 B군에 비하여 더 많은 치아이동을 보이며 전형적인 초자양변성기간이라고 여겨진 기간은 4일째부터 6일째까지로 B군의 3일째부터 7일째까지, A군의 2일째부터 8일째까지보다 짧았다. A, B, C 군 모두 10일째부터 2차 초자양변성기간의 양상을 보였다. Group A, B, C의 15일간에 걸친 치아 이동량의 총 누계는 Group B, C, A의 순이었으나 각 군간의 통계학적 유의성은 없었다.

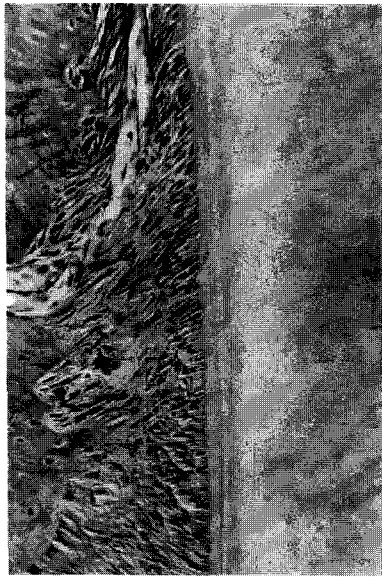


Fig. 6. Control group-mesial root pressure side (X200)



Fig. 7. Control group-distal root furcation area (X200)

2. 조직학적 소견

전반적인 조직학적 소견을 관찰하였고, 치근의 흡수양상을 비교할 때는 Fig. 3에 예시된 부위를 비교 관찰하였다.

대조군

제 1대구치의 근원심 치주인대의 간격이 균일하였고, Sharpey's fiber가 치조골면과 치근면에 연속적으로 침윤되어 있었고 근단부 1/3부위에 약간의 이차 백악질이 침착되어 있는 양상이었으며 백악질 외측에는 조백악세포가 균일한 층으로 배열되어 있었다. 치주인대내의 교원섬유의 방향은 일정한 방향으로 규칙성을 띄고 있었고, 가끔 조골세포와 아주 드물게 파골세포가 관찰되었으나 활성화되지는 않은 상태였다. 비교관찰부위의 치근면상에서 특별한 흡수의 양상은 보이지 않았다(Fig. 6,7).

A군

압박측과 견인측에서 모두 부분적으로 치근이 흡수되고 있었으며 특히 압박측 치근단 부위에서 흡수소와 파치세포가 존재했고 치근의 백악질과 상아질까지 약간 포함하는 흡수양상이 현저했으며 압박측의 치조골면에서도 파골세포가 활성화되어 현저한 치조골의 흡수양상이 관찰되었고 이 흡수는 치조정

부위가 현저하여 치근 1/2부위까지 높이가 감소되어 있었다. 제 2대구치의 근심측 치조정에서도 흡수양상을 보이며 높이가 역시 감소되어 있었다. 또한 압박측에서 부분적인 초자양변성대가 관찰되었고 치주인대내 교원섬유의 배열이 불규칙적이고 신생 모세혈관이 관찰되었다. 견인측에서는 조골세포가 관찰되었고 신생골이 형성되고 있었으며 치근면에서는 신생백악질이 침착되고 있었다. 비교관찰부위의 치근면상에서는 현저한 치근의 흡수양상이 관찰되었는데 백악질 범위를 넘어 상아질까지 흡수되고 있었으며 치근면에 길게 흡수면이 분포하고 있었다(Fig. 8,9).

B군

치주인대내의 교원섬유는 아주 불규칙적인 양상을 보여주고 있었고 드물게 초자양변성대가 관찰되었다. 견인측에서는 치조골의 신생이 관찰되었고 인접 치조골면상에서 조골세포가 관찰되었다. 또한 견인측에서도 치근과 치조골면상에서 부분적으로 작은 흡수소와 흡수세포가 관찰되어 흡수가 진행중임을 알 수 있었고 치근면상에서 특히 치근단부위에서 백악질이 침착되고 있었다. 제 2대구치의 근심측 치조정은 치근 1/3부위까지 흡수되어져 있는 양상이었고 횡중격섬유내 교원섬유는 신장되어 있었고 신생혈관과 섬유아세포의 분화가 활발하게 진행되고 있었다. 비교관찰부위에서의 치근흡수는 아주 심하여 백악질은



Fig. 8. Experimental A group-mesial root pressure side(X200)

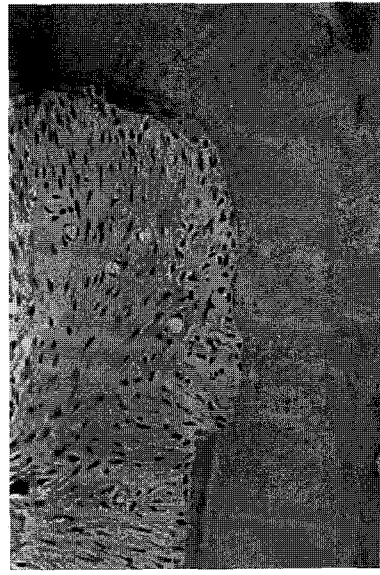


Fig. 9. Experimental A group-distal root furcation area(X200)



Fig. 10. Experimental B group-mesial root pressure side(X200)

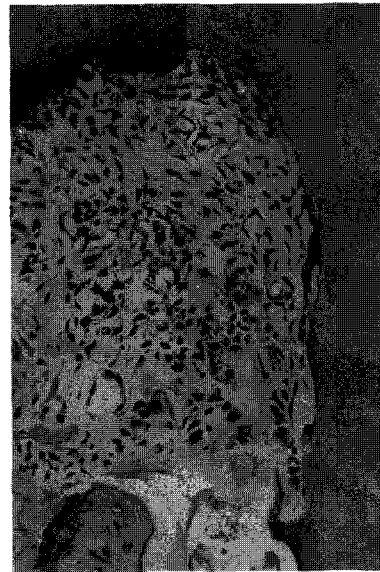


Fig. 11. Experimental B group-distal root furcation area(X200)

물론 상아질두께의 1/2범위를 넘어서며 치근이 흡수되고 있었고 흡수소와의 크기도 A, C군에 비하여 아주 컸으며 파치세포도 흡수소와내 분포하고 있었다. 치근분지부에서도 치근의 심한 흡수양상을 관찰하였다 (Fig. 10,11).

C군

근심치근면 압박측의 중앙1/3에서 치근단 1/3부위에 걸쳐 작은 흡수소와가 비교적 골고루 분포하고 있었고 치근 분지부에서 치근의 흡수양상도 다른 군에 비하여 더 미약하였다. 치주인대내 교원섬유의 방향

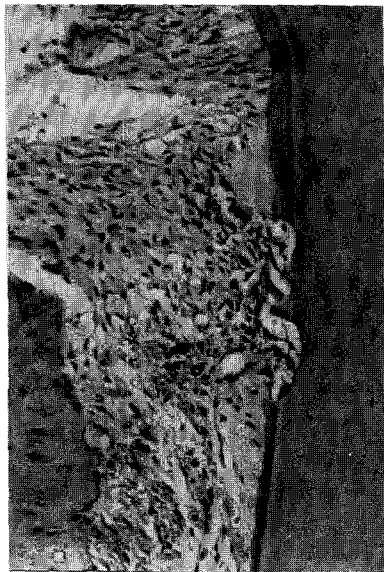


Fig. 12. Experimental C group-mesial root pressure side(X200)



Fig. 13. Experimental C group-distal root furcation area(X200)

이 불규칙적이었고 섬유아세포의 분화가 활발하였다. 견인측에서 인접치조골면상에 조골세포가 분포하고 신생골의 형성이 관찰되었고 치근면상에서는 백악질의 침착이 관찰되었다. 비교관찰부위에서 치근의 흡수가 관찰되었으나 B군에 비하여 현저히 그 정도가 미약하였으며 A군에 비해서도 흡수면이 연속적으로 관찰된 것이 아니라 작은 흡수소와가 드문드문 분포하고 있었다(Fig. 12,13).

IV. 총괄 및 고안

교정력을 적용할 때 치근의 흡수를 최대한 줄이면서 빠른 치아이동을 얻는 것이 생물학적 최적 교정력 (Biological optimal force)이라고 할 수 있다. 이를 평가하기 위하여 치아이동속도와 치근의 흡수를 서로 분리하여 연구하는 것보다는 동시에 관찰하는 것이 보다 합리적이라고 생각하여 본 연구를 시행하였다.

Reitan⁹⁾은 초자양변성대를 교정력이 적용된 치아의 압박측에서 관찰되는 치주인대내의 유리처럼 보이는 국소적 압박부위라고 정의하였으며 압박측 치주인대에서는 세포핵의 농축과 세포의 파괴, 초자양변성대로 불리는 무세포대가 형성되며 파골세포가 출현하고 치조골의 흡수가 일어난다고 하였다. 초자양변성대에 관하여 Buck등²⁹⁾은 교원섬유의 변성이 없는 경우의 초자양변성이란 말은 부적절하고 무세포

포지대(cell free zone)라고 해야 한다고 했으며, Kvam⁷⁾은 전자현미경연구를 통하여 초자양변성구조는 교원섬유의 정상적 배열이 사라지고 변성되면서 규칙적인 횡문(cross striation)이 소실되어 생겨난 것이라고 하였고, 이와 달리 Rygh¹¹⁾는 전자현미경연구를 통하여 초자양변성구조 내에서 교원섬유는 그 형태와 상호연결상태를 유지하고 있으며 구성요소의 변성과 단순한 교원섬유의 압축에 의하여 glass-like appearance를 띄게 된다고 했으며 초자양변성대내 교원섬유들의 구부러진 양상이 파괴된 모양으로 잘못 관찰되어졌다고 했다. 이러한 초자양변성대의 형성 중에는 치아의 이동이 거의 없으며 초자양변성대가 잠식성 흡수에 의하여 완전히 제거되고 나서야 치아의 이동이 개시되므로^{6,9,23,24)}, 초자양변성대의 형성 범위를 최소화할 것이 추천되었다. 그러나 약한 교정력에서도 최소의 초자양변성대의 형성은 피할 수 없으며 이는 치근표면과 치조와 표면의 돌출과 함몰의 해부학적 형태 때문에 발생한다고 하였고⁹⁾ 심지어 생리학적인 치아이동 중에도 초자양변성대와 유사한 조직이 출현한다고 하였다³⁰⁾. 하지만 초기교정력이 크면 광범위한 초자양변성대가 형성되고 교정력이 약하면 변성범위가 작다고 보고한 Reitan⁹⁾, Storey¹³⁾의 보고와 교정력의 크기에 따른 치아이동속도의 차이가 없다는 Burstone^{16,17)}등의 보고를 인용하면 교정력의 크기와 치아이동속도는 비례하지 않는다는 것을

알 수 있고 본 연구의 결과와도 일치하여 A, B, C군 간 15일간의 치아이동량의 누계는 통계학적 차이가 없었다(Table 2).

Reitan²⁴⁾은 인간의 치아가 교정력을 받으면 약 30-40시간 후에 초자양변성이 생긴다고 하였고 초자양변성대는 약 25일 동안 점차 흡수된다고 하였다. 반면에, 흰쥐의 경우에는 인간에 비해 빨리 초자양변성이 발생하여, Zaki와 Huysen³¹⁾은 6시간 후에, Rygh^{32,33)}은 6-12시간 후에, Macacapanpan⁸⁾은 3-6시간 후에 관찰된다고 하였고, Rygh^{32,34)}, Kvam^{6,7)}, 구등¹⁾은 2-3일 후에 광범위한 초자양변성대가 치근면에 평행하게 관찰되며 3-7일이 지난 후부터 회복되기 시작한다고 하였다. C군에서 4일째부터 교정력을 25g에서 50g으로 바꾸어 준 것도 위 연구결과에 근거하여 3일째까지 초자양변성대가 광범위하게 형성되는 초기단계에 해당되고 4일째부터는 회복과정인 지체 단계에서의 잠행성흡수가 시작된다는 가정에 의한 것이다. A군이나 B군과 달리 C군에서 4일째 교정력을 변화시켜준 것은 일차초자양변성대 형성기간동안 가장 약한 힘을 적용하여 파골세포와 조골세포 등은 활성화시키고 초자양변성대의 형성은 최소로 하여 이후 초자양변성대 흡수기간동안 치근의 흡수를 최소화한 실험군을 설정하기 위해서였다. 위 연구의 결과를 인용할 때, 흰쥐에서 12시간이 지난 후부터는 치아의 이동이 지연되기 시작하여 약 2-6일간 지체되다가 7일이 지난 뒤부터 치아의 이동이 개시된다고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용된 교정력은 50g과 100g으로 위에서 인용한 연구에서보다 교정력이 과도하였기 때문에 더 광범위한 초자양변성대가 형성되고, 치아의 이동이 더 오랜 기간 지체되어야 할 것으로 생각되지만 그 기간에는 큰 차이가 없었다. 이는 초자양변성대가 완전히 제거되기까지 치아의 이동이 개시되지 않는다는 Reitan의 연구²⁴⁾와는 다른 결과지만 초자양변성구조가 제거되는 과정을 전자현미경으로 관찰한 Rygh의 연구¹¹⁾대로 골수강으로부터의 흡수세포의 관여 외에도 치조골과 백악질 사이로 projecting cell들이 침투하여 초자양변성대를 흡수한다는 견해에서 볼 때 초자양변성대가 완전히 제거되기 이전에 점차 치아의 이동이 시작된 것이라고 생각된다.

Reitan²⁴⁾은 교정력이 과도하지 않은 경우 일차 초자양변성대가 형성되고 이것이 흡수된 후에는 더 이상의 초자양변성대의 형성 없이 지속적인 치아이동이 짧은 기간동안에도 일어난다고 하였지만, Kvam⁷⁾

은 일차 초자양변성대가 제거된 뒤에도 과도한 교정력이 지속적으로 작용하면 이차 초자양변성대가 유발될 수 있다고 하였다. 이 연구에서 흰쥐에게 적용한 힘이 50g과 100g이었음을 비추어볼 때 이 힘이 흰쥐에게 충분히 이차 초자양변성대를 유발할 수 있었을 것으로 생각되었고 치아이동양상의 graph에서도 A, B, C군 모두 10일째부터 치아이동이 지체되기 시작하여 이를 확인할 수 있었다.

치근의 흡수는 초자양변성대와 인접한 부위에서 시작되며 초자양변성대와 밀접한 관련이 있다고 했다.^{7,12,32,33,35)} Reitan³⁶⁾은 인간의 치주인대에서 초자양변성대의 제거는 20-25일이 지나야 완료되지만 치근의 흡수는 멈추지 않고 이 시간이 지나서도 지속된다고 했다. Rudolph³⁴⁾는 25일의 기간동안 교정력을 적용한 후 모든 실험치아에서 치근의 흡수를 관찰할 수 있었다고 했다. Kvam⁷⁾은 SEM연구를 통하여 교정력이 가해진 40개의 소구치에서 5일 후에 흡수양상이 관찰되기 시작하였고, 25일 후에는 상아질까지 흡수가 되었다고 하였다. 본 연구에서도 실험기간이 15일이었던 점을 비추어 볼 때, 초자양변성대는 일부 조직 표본에서만 관찰되었지만, 치근흡수의 경우에는 A, B, C군 모든 조직표본에서 흡수소와와 흡수세포가 존재하는 것으로 보아 위 연구와 소견이 일치했다. 치조골과 치근의 흡수가 대부분 압박측에서 관찰되지만 일부는 긴장측에서도 관찰되었는데 이는 치아에 대하여 과도한 장력이 적용되는 경우 치조골의 흡수를 야기할 수도 있다는 Weinman등³⁷⁾의 보고 및 치근의 흡수를 야기할 수도 있다는 Gulber³⁸⁾의 보고와 일치하였다.

치아가 교정력에 의하여 이동될 때, 치근의 흡수는 초자양변성대가 제거되면서 동시에 일어난다고^{2,27)} 하였으며 교정력이 크고 적용기간이 길수록 치근의 흡수가 증가된다고 하였다²⁷⁾. 이는 초자양변성대가 광범위하게 형성될수록 치근의 흡수가 증가된다고 할 수 있으며 본 연구에서도 강한 교정력이 적용된 B군에서 가장 심한 치근의 흡수양상이 관찰되었고 초자양변성대가 형성되는 3일째까지 25g의 교정력이 적용된 C군의 경우에는 50g의 교정력이 적용된 A군에 비하여 일차 초자양변성대 형성범위가 작았으리라 생각되며 치근의 흡수양상도 C군이 A군에 비하여 더 미약하였다. 교정력이 적용되는 동안 치조골과 달리 치근의 흡수에 대한 방어요소가 존재하는데 Reitan³⁶⁾은 백악전질(precementum)층과 상아전질(predentin)층이 치근의 흡수에 대한 보호막이 되고

이 두 층이 흡수된 뒤에야 치근의 흡수가 시작된다고 했으며, Rygh¹¹⁾는 광화가 덜 된 백악양조직(cementoid)과 치근을 덮고 있는 성숙한 교원섬유가 보호막으로 작용한다고 하였고, Kvam^{6,7)}은 조백악세포의 배열이 벗겨지면 치근흡수가 일어난다고 하였으며 김²⁾은 이러한 방어막이 제거되어도 흡수세포의 관계가 없으면 치근흡수는 일어나지 않는다고 하였다. 본 연구에서도 치근이 흡수된 부위에서는 백악전질층과 상아전질층이 흡수되어 있었고 치근의 흡수가 관찰되지 않는 부위에서는 백악전질층과 상아전질층이 관찰되었다.

이 연구에서나 대부분의 다른 연구에서는 치아의 경사이동을 유발하였고, 이로부터 치주조직의 대사와 치근의 흡수 등을 관찰하였다. 그러나 흰쥐의 치조골은 인간에 비해 더 치밀하고 경사이동이 되는 경우에 그 압력이 치근단부위에 집중이 되어 그 부위 전백악질층의 보호막이 훨씬 쉽게 흡수되는 경향³⁶⁾이 있고, 치조골의 흡수양상도 변연골(marginal bone)에서 더 많은 흡수양상을 보인다고 했으며 이 연구에서 보여주는 양상과 일치했다.

흰쥐의 치아에 교정력을 적용하는 실험이 일부 장점을 가지고 있지만⁸⁾ 치아가 너무 작기 때문에 치아를 이동시키기 위한 적절한 교정력을 구하여 적용하기가 어렵고, 지속적인 교정력을 가하기 위한 장치의 설계 또한 어려우며 치아가 작으므로 경사이동시 축이 다양하게 존재하여 경사이동시 종종 정출되는 방향으로도 치아가 이동한다는 단점이 있다^{8,10)}. 흰쥐에 지속적인 교정력을 가할 때, 일부는 30-50g 정도의 힘^{5,21,27,39)}을 사용하였고, 100g의 힘이 사용된 경우도 있으며^{2,3,13)} 일부는 5-25g 정도의 약한 힘^{1,13,26,33)}을 사용하였다. 이 실험에서 100g의 강한 힘을 적용한 B군이 50g의 힘을 적용한 A군보다 2일째까지 더 많은 치아이동을 보인 것은 100g의 힘이 너무 과도하게 작용하여 치아의 정출이 일어났기 때문으로 생각된다. 하지만 25g의 힘을 적용한 C군의 경우에는 가장 약한 힘이 적용되어 치주인대강의 압축이 작았기 때문에 1일째 가장 적은 치아이동량을 보였으나, 오히려 2일째와 3일째에는 다른 군에 비하여 더 많은 치아이동을 보여주고 있었다. A군에서는 9일째, B군에서는 8일째인데 반해 C군에서 7일째 지체후 치아의 이동이 개시되어 치아이동의 지체기간이 가장 짧은 양상을 보여주고 있는데 이는 A군이나 B군보다 초자양변성대 형성 범위가 작았기 때문이라고 생각된다. 통계학적 유의성은 8일째 A군과 B군 사이에만 나타났다(Table 1).

그러나 8일째 치아이동의 무게는 각 군간 통계학적인 유의성이 없었다. B군이 A군보다 치아이동지체기간이 짧았던 것은 100g의 강한 힘이 적용되었기 때문에 초자양변성대가 완전히 흡수되기 전에 치아가 정출되며 이동되었기 때문이라고 생각된다. Reitan³⁶⁾의 경우에도 인간의 소구치에 240gm과 30gm의 힘을 지속적으로 적용한 경우 240gm의 과도한 힘은 치아의 정출과 골의 변형을 야기하며 치아를 30gm의 힘을 준 경우에 비해 더 빠른 속도로 이동시켰다고 했다.

본 연구에서는 흰쥐에 교정력을 적용하여 각 교정력의 크기와 적용방법에 따른 치아이동의 양상과 치근흡수양상을 관찰하였다. 그러나 적용된 교정력이 너무 과도하였고 단순히 경사이동을 유발하여 여기서 얻어진 치아이동의 양상과 조직학적 변화를 인간의 치아에서 얻을 수 있는 정보와 대응하는 것은 오류를 범할 수 있을 것으로 생각된다. 앞으로 흰쥐에서 적절한 교정력으로 치아의 협설축 경사이동이 아닌 치아이동을 유발하고 여기서 얻어진 치아이동의 양상과 치근흡수의 양상을 관찰할 수 있는 진보된 실험 방법에 의한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 치아를 실험적으로 이동시킬 때, 교정력의 크기와 적용방법에 따른 치아이동 양상의 차이가 존재하는지의 여부와 치근흡수와의 관련성 여부를 알아보기 위하여 300g전후의 건강한 수컷흰쥐 24마리를 세 군으로 나누고 상악 제1대구치와 상악 중절치 사이에 NiTi closed coil spring을 장착하여 각 군당 50g(A군), 100g(B군), 25g(C군)의 교정력을 적용하였고 C군의 경우에는 4일째 50g으로 교정력을 증가하였다. 15일간 교정력을 적용하는 동안 매일 ether로 흡입마취를 시행하고 치아이동거리를 digital caliper로 측정하였으며 15일간의 실험기간 종료후 상악 제1대구치 치근부의 조직표본을 제작하여 광학 현미경으로 관찰한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 15일간의 치아이동량무게는 B군에서 2.19 ± 0.14 mm로 가장 많았고 C군이 2.06 ± 0.10 mm, A군이 1.90 ± 0.49 mm로 B, C, A군의 순이었으나 통계학적으로 유의성있는 차이는 없었다.
2. A, B, C군 모두 전형적인 치아의 이동양상을 보여주었으며 치아이동 지체기간이 끝난 날은 C, B, A군의 순서로 각각 7, 8, 9일째 끝났으나 통계학적으로

유의성있는 차이는 없었다.

3. A, B, C군 모두에서 치근의 흡수양상을 관찰할 수 있었고 특히 B군에서 가장 심한 치근흡수양상을 보여주었고 C군에서 치근흡수의 양상이 가장 적었다.

이상의 결과를 종합해볼 때, 교정력이 크다고 하여 더 빠른 치아이동이 일어난다고 볼 수 없으며 교정력이 클수록 초자양변성대가 광범위하게 형성되어 오히려 치근의 흡수도 증가하므로, 교정력을 적용할 때 초기 교정력을 보다 적게 적용하여 초자양변성대 형성범위를 줄인 뒤 교정력을 증가시키는 방법이 치근흡수를 최소화하면서 효과적인 치아이동을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 구중희, 이기수. 백서구치의 교정적 치아이동중 압박 치주조직의 초기변화에 관한 연구, 대치교정지 1989 : 19(1) : 21-44.
2. 김선혜, 서정훈. 간헐적 교정력에 의한 백서구치 치주조직의 변화에 관한 실험적 연구, 대치교정지 1989 : 19(2) : 57-67.
3. 유영규, 이인환. 백서의 실험적 치아이동에 따른 치주조직의 조직학적 연구, 대치협회지 1981 : 19(2) : 141-145.
4. 임진환. 실험적 치아이동시 나타나는 백서치주조직의 변화에 대한 조직학적 및 조직화학적 연구, 대치교정지 1976 : 6(1) : 33-37.
5. Heller IJ, Nanda R. Effect of metabolic alteration of periodontal fibers on orthodontic tooth movements, Am J Orthod 1979 : 75 : 239-258.
6. Kvam E. A Study of the cell-free zone following experimental tooth movement in the rat, Trans Europ Orthod Soc 1970 : 45 : 419-434.
7. Kvam E. Scanning electron microscopy of tissue changes on the pressure surface of human premolars following tooth movement, Scand J Dent Res 1972 : 80 : 357-368.
8. Macapanpan LC, Weinman JP, Brodie AG. Early tissue changes following tooth movement in rats, Angle Orthod 1954 : 24 : 79-95.
9. Reitan K. Tissue behavior during orthodontic tooth movements, Am J Orthod 1960 : 46 : 881-900.
10. Reitan K, Kvam E. Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement, Angle Orthod 1971 : 41 : 1-14.
11. Rygh P. Ultrastructural cellular reactions in pressure zones of rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement, Acta Odont Scand 1972 : 30 : 575-593.
12. Rygh P. Elimination of hyalinized periodontal tissues associated with orthodontic tooth movement, Scand J Dent Res 1974 : 82 : 57-73.
13. Storey E. The nature of tooth movement, Am J Orthod 1973 : 63 : 292-314.
14. Storey E, Smith R. Force in orthodontics and its relation to tooth movement, Aust J Dent 1952 : 56 : 11-18.
15. Begg, PR. Differential forces in orthodontic treatment, Am J Orthod 1956 : 42 : 481-509.
16. Burstone CJ, Baldwin JJ, Lawless DT. The application of continuous forces to orthodontics, Angle Orthod 1961 : 31 : 1-14.
17. Burstone CJ. Vistas in Orthodontics edited by Kraus B.S, Riedel R.A. Lea & Febiger : Philadelphia : 1962.
18. Weinstein S. Minimal forces in tooth movement, Am J Orthod 1967 : 53 : 881-903.
19. Hixon EH, Aasen TO, Arango J, et al. On force and tooth movement, Am J Orthod 1970 57 : 476-489.
20. Gottlieb B. Some histologic facts useful in orthodontics practice, Am J Orthod 1942 : 28 : 167-172.
21. Kvam E. Organic tissue characteristics on the pressure side of human premolars following tooth movement, Angle Orthod 1973 : 43 : 18-23.
22. Schwarz AM. Tissue changes incident to orthodontic tooth movement, Int J Orthod 1932 : 18 : 331-352.
23. Stuteville AH. A summary review of tissue changes incident to tooth movement, Angle Orthod 1938 : 8 : 1-20.
24. Reitan K. Biomechanical principles and reactions. In : Graber TM, ed. Current orthodontic principles and techniques : Philadelphia : WB Saunders, 1969 : 56-159.
25. Skillen WG, Reitan K. Tissue changes following rotation of teeth in the dog, Angle Orthod 1940 : 10 : 140-147.
26. Rygh P. Orthodontic root resorption studied by electron microscopy, Angle Orthod 1997 : 47 : 1-16.
27. 진근호, 김정기, 박병건, 김오환. 난소적출백서에서 estrogen투여가 실험적 치아이동에 미치는 영향, 대치교정지 1997 : 27(4) : 585-597.
28. Miura F. The Superelastic property of the Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics, Am J Orthod Dentofac Orthop 1986 : 90 : 1-10.
29. Buck DL, Church DH. A histologic study of human tooth movement, Am J Orthod 1972 : 62 : 507-516.
30. Kronfeld R, Weinman JP. Traumatic changes in the periodontal tissue of deciduous teeth, J Dent Res 1940

- : 19 : 441-454.
31. Zaki AE, Huysen GV. Histology of periodontium following tooth movement, J Dent Res 1963 : 42 : 1373-1379.
 32. Rygh P. Ultrastructural vascular changes in pressure zones of rat molar periodontium incident to orthodontic movement, Scand J Dent Res 1972 : 80 : 307-321.
 33. Rygh P. Ultrastructural changes of the periodontal fibers and their attachment in rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement, Scand J Dent Res 1973 : 81 : 467-480.
 34. Rudolph CE. An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment, J Dent Res 1972 : 80 : 307-321.
 35. Gottlieb B. Continuous deposition of cementum, JADA 1961 : 30 : 842-847.
 36. Reitan K. Initial tissue behavior during apical root resorption, Angle orthod 1974 : 44 : 68-82.
 37. Weinmann JP, Sicher H. Bone and bones : St Louis : CV Mosby, 1947 : 121
 38. Gulber W. Uber zement-dentin-resorptionen and deren ausheilung, Schweiz Mschr Zahnheilk 1939 : 49 : 996-1013.
 39. 이정훈, 이기수. 백서구치의 교정적 치아이동중 장력축 치주조직의 반응에 관한 전자현미경적 연구, 대치교정지 1987 : 17(2) : 223-231

- ABSTRACT -

Effect of orthodontic force on the amount of tooth movement and root resorption in rat

il-Gon Kim, Kwang-Won Kim, Young-Jooh Yoon

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chosun University

This study was undertaken to investigate the relation between orthodontic force magnitude and the amount of tooth movement. And more light force application for reducing root resorption

Twenty-four rats were divided into three experimental groups(A, B, C) based on force magnitude and application method. Springs of 50g force were applied to A group, springs of 100g force were applied to B group and springs of 25g force were applied to C group initially, and after 4 days springs of C group were changed to springs of 50g force. Two kinds of sentalloy[®](GAC U.S.A.) closed coil spring, 50g and 100g, were used. And we made 25g springs by heat treatment process of 50g springs. Each spring was inserted between the maxillary central incisor and the maxillary left first molar. Amounts of tooth movement were measured everyday by digital caliper(Digimatic[®], Mitutoyo, Japan) under inhalation anesthesia for 15 days. After 15 days, all rats were sacrificed and histological samples were obtained with Hematoxyline-Eosin stain and Masson's trichrome stain.

Following conclusion were made;

1. Group B showed the mean cumulative tooth movement of 2.19 ± 0.41 mm at 15th day, which was greatest among three groups, followed by group C(2.06 ± 0.10 mm), group A(1.90 ± 0.49 mm) respectively. However, there was no statistically difference among three groups.
2. All groups showed general tooth movement pattern and A, B, C group finished lag phase at 9th, 8th, 7th day, but there was no statistical significance.

3. Group A,B,C showed root resorption and especially group B showed the most severe root resorption and group C showed milder root resorption than other groups.

According to the above results, large initial force with the development of a fairly widespread hyalinized zone may cause severe root resorption, so initial force should be applied lightly to reduce hyalinized area and eventually root resorption and then increased force will induce efficient tooth movement.

KOREA. J. ORTHOD. 1999 ; 29 : 551-562

※ **Key words** : optimal force, tooth movement rate, root resorption