

백서에서 교정적 치아 이동에 의한
골성 퇴축의 연령군간의 차이

연세대학교 대학원
치 의 학 과
김 진 욱

백서에서 교정적 치아 이동에 의한
골성 퇴축의 연령군간의 차이

지도 이 기 준 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2009 년 6 월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 진 욱

김진욱의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2009년 6월 일

감사의 글

논문이 완성되기까지 항상 아낌없는 지도와 격려로 이끌어주신 이기준 지도 교수님께 진심으로 감사드리며, 귀중한 시간을 내주시어 부족한 논문을 세심하게 살펴주신 백형선 교수님, 김형준 교수님께 깊이 감사드립니다. 또한 저에게 교정학을 공부할 수 있도록 기회를 주시고 많은 조언과 가르침을 주신 박영철 교수님, 황충주 교수님, 김경호 교수님, 유형석 교수님, 차정열 교수님, 정주령 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

이 논문이 나오기까지 격려해주고 조언해주며, 수련 생활의 큰 힘이 되어준 의국 동기들, 그리고 바쁜 와중에서도 물심양면 도와주었던 의국 후배 최태현, 시경근 선생님에게도 감사의 마음을 전합니다. 또한 실험 과정에서 많은 도움을 주신 모성서 선생님, 3차원 CT촬영과 프로그램 활용을 도와준 이채은 선생님에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 모든 순간 저와 함께하시는 하나님께 감사드리며, 변함없이 헌신적인 희생과 사랑으로 돌보아주시는 부모님, 공부하느라 고생이 많은 동생 진호와 이 작고 소중한 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

2009년 6 월 저자 씀

차 례

표 차례	ii
그림 차례	iii
국문요약	iv
I. 서론	1
II. 연구대상 및 방법	3
1. 연구대상	3
2. 연구방법	3
(1) 실험 장치 장착	3
(2) Micro CT를 이용한 3차원 영상의 재구성	4
(3) 기준점 및 기준평면 설정	4
(4) 계측치의 측정	7
(5) 계측치의 분석 및 통계처리	9
III. 연구결과	10
1. 치아 이동에 대한 분석	10
2. 치아 주위 치조골에 대한 분석	14
3. 상관관계 분석	16
IV. 고찰	19
V. 결론	25
참고문헌	26
영문요약	31

표 차례

Table 1. Measurements of the suture width and the tooth displacement in young and adult groups	10
Table 2. Comparison of the suture width and the tooth displacement between young and adult groups according to each time point	13
Table 3. Measurements of the bone recession and the bone volume in young and adult groups	15
Table 4. Comparison of the bone recession and the bone volume between young and adult groups according to each time point	15
Table 5. Correlations of each variable in young group at T1	17
Table 6. Correlations of each variable in young group at T2	17
Table 7. Correlations of each variable in young group at T3	17
Table 8. Correlations of each variable in adult group at T1	18
Table 9. Correlations of each variable in adult group at T2	18
Table 10. Correlations of each variable in adult group at T3	18

그림 차례

Figure 1. Appliance setting	4
Figure 2. Landmarks	5
Figure 3. Reference planes	6
Figure 4. Measurements for tooth movement	8
Figure 5. Measurements for alveolar bone change	8
Figure 6. Time-dependent change in young and adult groups (frontal view)	11
Figure 7. Time-dependent change in young and adult groups (lateral view)	12
Figure 8. Distance between the center of teeth (ΔD)	13
Figure 9. Suture width (ΔS)	14
Figure 10. Tooth displacement (ΔM)	14
Figure 11. Bone recession (ΔR)	16
Figure 12. Bone volume (ΔV)	16

국문요약

백서에서 교정적 치아 이동에 의한 골성 퇴축의 연령군간의 차이

교정적 치아 이동은 치조골의 골개조에 의해 일어나며, 치조골 외측으로의 치아 이동이 일어날 경우 골성 퇴축과 같은 부작용이 있을 수 있다. 본 연구에서는 백서를 young군 (12주)과 adult군 (8-12개월)으로 나누어 중절치에 40g의 측방력을 지속적으로 가한 후, Micro CT촬영을 통해 연령 및 시간에 따른 골성 퇴축의 변화 양상을 관찰하고자 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. Young군에서 adult군보다 치아 중심 사이 거리의 변화($p < 0.05$), 봉합 사이 거리의 변화($p < 0.001$)가 유의하게 크게 나타났다. 그러나 치아 이동 거리의 변화는 연령에 따른 유의한 차이가 없었다.

2. Young군에서는 외측 피질골에서 1주 때 평균 0.82mm($p < 0.05$)의 골성 퇴축이 일어나나 2주 때 0.61mm, 3주 때 0.18mm로 골성 퇴축의 양이 점차 감소하였다. Adult군에서는 외측 피질골에서 1주 때 평균 1.04mm($p < 0.05$)의 골성 퇴축이 일어나고, 2주 때 1.50mm($p < 0.001$), 3주 때 1.54mm($p < 0.001$)로 그 양이 점차 증가하였다.

3. 골 부피는 young군에서 1주 때 평균 4.92mm³ 감소하나($p < 0.001$) 2주 때 0.84mm³, 3주 때 0.12mm³의 감소량을 보여 시간이 지날수록 점차 회복되는 양상을 보였다. Adult군에서도 1주 때 평균 5.08mm³ 감소하나($p < 0.05$) 2주 때 4.00mm³, 3주 때 2.72mm³의 감소량을 보여 young군에서와 같이 시간이 지날수록 점차 회복되는 양상을 보였다.

4. 각 변수들간의 상관관계 분석에서는 young($p < 0.001$), adult($p < 0.01$)의 2주 군에서 치아 중심 사이 거리와 골 부피 사이에서 유의성 있는 상관관계가 나타났

다. 그러나 골성 퇴축 양과 다른 변수들 간에는 두 군에서 모두 어느 시기에서도 유의한 상관관계가 나타나지 않았다.

위의 결과를 통해 교정적 치아 이동이 일어날 때에 압박측의 피질골에서 보상성 골형성이 일어나는 것을 확인하였으며 adult군에 비해 young군에서 더 활발하게 일어나는 것을 관찰하였다. Adult군의 골형성 감소는 골격성 부정교합의 절충치료 시 과도한 치아이동을 제한하는 요인이 될 것으로 생각된다.

핵심 되는 말 : 백서 전치, 연령, Micro Computed Tomography (Micro CT),
정량적 분석, 골성 퇴축, 보상성 골형성

백서에서 교정적 치아 이동에 의한 골성 퇴축의 연령군간의 차이

(지도교수 : 이기준)

연세대학교 대학원 치의학과

김진욱

I. 서론

골격성 부정교합의 절충치료를 위해선 때때로 치조골의 범위를 넘어선 과도한 치아 이동이 필요하며, 이는 최근 미니스크류 등의 사용으로 인해 그 가능성이 증대되었다. 그러나 많은 양의 치아 이동은 치근 흡수, 골 열개, 골 천공 등의 부작용을 나타낼 수 있으며(Horiuchi 등, 1998, Wainwright 등, 1973), 이에 따라 치료의 안전성에 대해 의문이 제기될 수 있다. 또한, 최근 심미적인 부분에 대한 관심이 커지면서 성인에서의 교정치료 수요도 증가하고 있으나, 치아 이동 시 나타나는 골개조의 연령에 따른 차이도 아직 명확히 밝혀지지 않은 실정이다.

치아는 주로 압력-신장 이론에 따라 이동한다고 알려져 있다(Proffit 등, 2007). 교정력에 의한 혈류 변화가 세포 변화를 야기하고, 이에 따라 치아 이동이 일어난다. 이 때 압박측에서는 치주인대측의 골 흡수와 골막측의 골 형성이 동시에 일어난다고 알려져 있으며, 골막측의 적극적인 골 형성이 일어날 때에 안전한 치아 이동이 가능하다. 이는 보상성 골형성(Epker 등, 1965)이라 명명되었다.

Yuji 등(1998)은 치아에 교정력을 적용하였을 때, 압박측에서의 보상성 골형성을 관찰하고 그 부피를 측정하였고, Verna 등(1999)은 동물 실험에서 쥐의 대구치를 이동시켰을 때에 압박측의 골막측 치조골에서 새로운 뼈가 생성되는 것을 보고하였다. 또한, Frost(2000)는 교정력 또한 하나의 자극으로 인식되어 인체의 생물학적 활성이 증가함으로써 골개조가 촉진된다고 보고하였다.

이러한 긍정적 보고에 반해, Garib 등(2006)은 rapid maxillary expansion 사용시 외측 피질골 부위의 변화를 computed tomography(CT)를 이용하여 관찰한 결과, 평균 12.4세의 성장기 환자에서 제1 소구치에서 평균 7.1mm, 제1 대구치에서 평균 3.8mm의 골 천공이 일어남을 보고하였다. 또한, 그 밖의 다른 여러 연구들에서도 하악 전치의 전방 혹은 후방 이동 시 치은 퇴축, 치조골의 흡수 등의 부작용을 보고하였다(Artun 등, 1987, Sarikaya 등, 2002).

최근 성인에서의 교정치료 수요가 증가하면서 보상성 골형성이 연령에 따라 차이가 있는지에 대해서도 관심이 증대되고 있다. 선학들의 연구에서는 성인일수록 성장기 청소년보다 골 반응이 느리며, 치아 이동에 따른 골개조도 활발하지 않은 것으로 보고하고 있다. Jager 등(1996)과, Kyomen 등(1997)은 연령에 따른 골형성 능력 및 자극에 대한 반응의 차이, 치주인대 세포의 재생능력의 차이 등에 의해 성인에서 골개조가 더 느리다고 하였다. 또한, Bridges 등(1988)은 백서에서 연령에 따른 치아 이동을 비교한 결과 치조골의 골밀도 차이에 의해 젊은 군에서 더 빠르고 많은 치아이동이 나타남을 관찰하였다.

그러나 위의 연구와 상반되는 보고를 하는 연구들도 있는데, Kabasawa 등(1996)은 백서의 치조골에 스트레스를 가했을 때의 연령에 따른 변화를 관찰한 실험에서 일단 자극이 가해지면 연령에 따른 골개조의 차이는 미미하다고 하였고, King 등(1991)은 나이든 백서에서 특정 부위의 골세포 능력이 떨어지나 이는 그 부위에 골세포 숫자가 보충됨에 따라 보상되기 때문에 연령에 따른 큰 차이 없이 골개조가 일어난다고 보고하였다.

이처럼 보상성 골형성에 대해서는 여러 가지 연구가 있었으나, 연령에 따른 차이에 대해선 아직까지 명확히 밝혀지지 않은 실정이다. 본 연구의 목적은 피질골 판을 향한 치아 이동 시 나타나는 골성 퇴축의 변화 양상을 3차원적으로 정량 분석함으로써 보상성 골형성의 연령 및 시간에 따른 차이를 고찰하고자 함이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

총 40마리의 Male Sprague-Dawley rat을 연령에 따라 young군 (12주, 358.2g body wt) 20마리, adult군 (8-12개월, 607.5g body wt) 20마리로 구분하였다. 또한, 각 연령군별로 장치 장착 시간에 따라 장치를 장착하지 않은 대조군, 1주, 2주, 3주의 실험군 각각 5마리로 구분하였다. Pellet diet와 tap water가 제공되었고, 항온, 항습의 환경이 유지되었으며, stainless-steel cage에서 보관되었다.

2. 연구방법

(1) 실험 장치 장착 (Fig 1.)

실험군은 럽퐁(Rompun, Bayer, Korea)과 졸레틸(Zoletil 50, Virbac Lab Carros, France)을 복강 내 주사하여 마취 후 high speed 1/4 round bur를 사용하여 좌우 중절치에 구멍을 형성하였다. 그 후 0.014" stainless-steel wire로 double helical spring을 제작하여 구멍에 삽입하여 장착하였다. 와이어가 치아를 감싸도록 구부려 주어 장치가 탈락되지 않도록 하였다. helical spring은 40g의 힘으로 좌우 중절치를 측방으로 이동시킬 수 있도록 활성화 하였으며 실험기간 동안 추가적인 활성화를 시행하지 않았다. 실험 기간 동안 스프링에 의한 연조직의 외상은 관찰되지 않았다. 희생 후 스프링의 탄성이 남아있는 것을 확인하여 지속적인 힘이 가해진 것을 확인하였다.

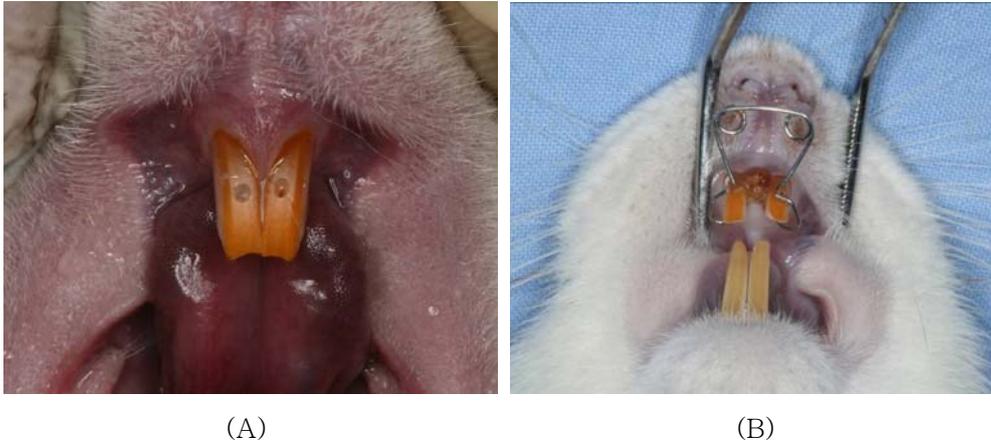


Fig 1. Appliance setting

(A) : Holes made on rat incisors

(B) : Lateral movement of rat incisors after double helical spring activation

(2) Micro computed tomography (Micro CT)를 이용한 3차원 영상의 재구성

Micro computed tomography (Skyscan micro CT 1076, Skyscan, Kontich, Belgium)를 이용하여 절개된 백서의 전상악골 부위를 촬영하였다. 촬영하여 얻은 영상을 Rapidform 2006(Inus Technology Inc., Seoul, Korea)을 이용하여 재건하여 3차원적 영상을 형성하였다.

(3) 기준점 및 기준평면 설정

연령과 시간에 따른 치아이동 및 외측 피질골의 변화를 정량적으로 분석하기 위해서는 일정한 기준이 되는 기준점과 기준평면이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 동물 실험(Ulgen 등, 1997)에서 사용되었던 측정 방법에 근거하여 기준점과 기준평면을 설정하였다.

① Landmarks (Fig 2.)

- a) Internasal point (N): Most anterior point of the internasal suture in the midsagittal plane

- b) Prosthion point (P): Most inferior point on the alveolar bone between the upper two incisors
- c) A point (A): Most concave point on anterior border of maxilla
- d) Incisive superior alveolar point (S): Most superior edge point on the vestibular marginal alveolar bone of the upper central incisor
- e) Foramen incisivum anterior point (F): Most anterior point of foramen incisivum

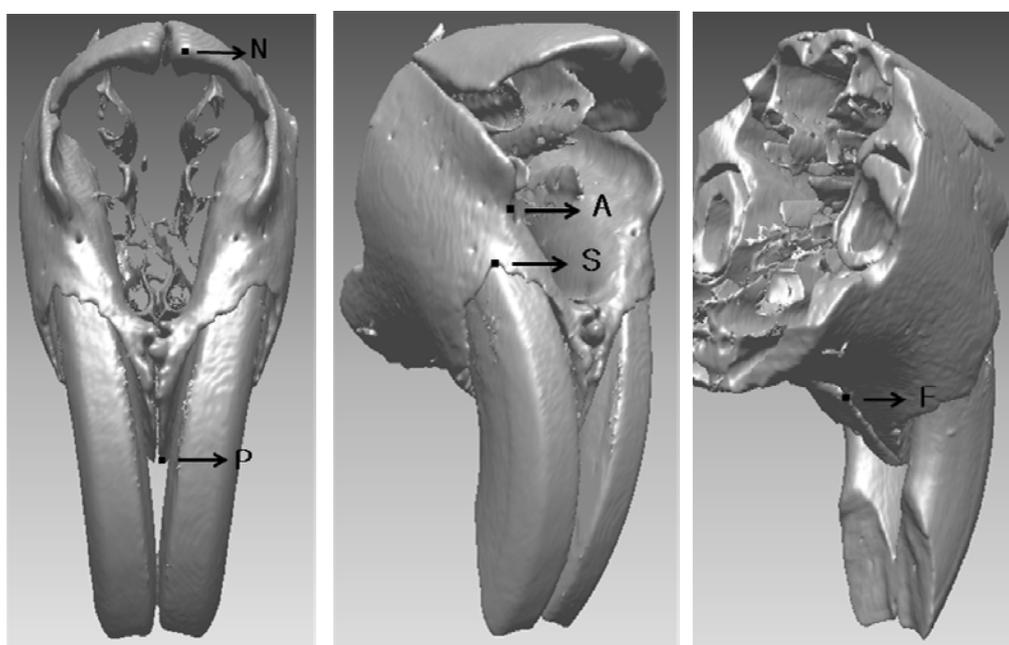


Fig 2. Landmarks

N (Internasal point)

P (Prosthion point)

A (A point)

S (Incisive superior alveolar point)

F (Foramen incisivum anterior point)

② Reference planes (Fig 3.)

- a) Midsagittal reference plane : midpoint of Internasal point, Prosthion point, and A point의 세 점을 지나는 평면
- b) Horizontal reference plane : 좌우측의 Prosthion point를 지나면서 Midsagittal plane에 수직인 평면
- c) Reference plane for ROI(region of interest): 좌우측의 A point와 midpoint of Foramen incisivum anterior point를 지나는 평면 (ROI는 reference plane 하방의 bone을 의미)

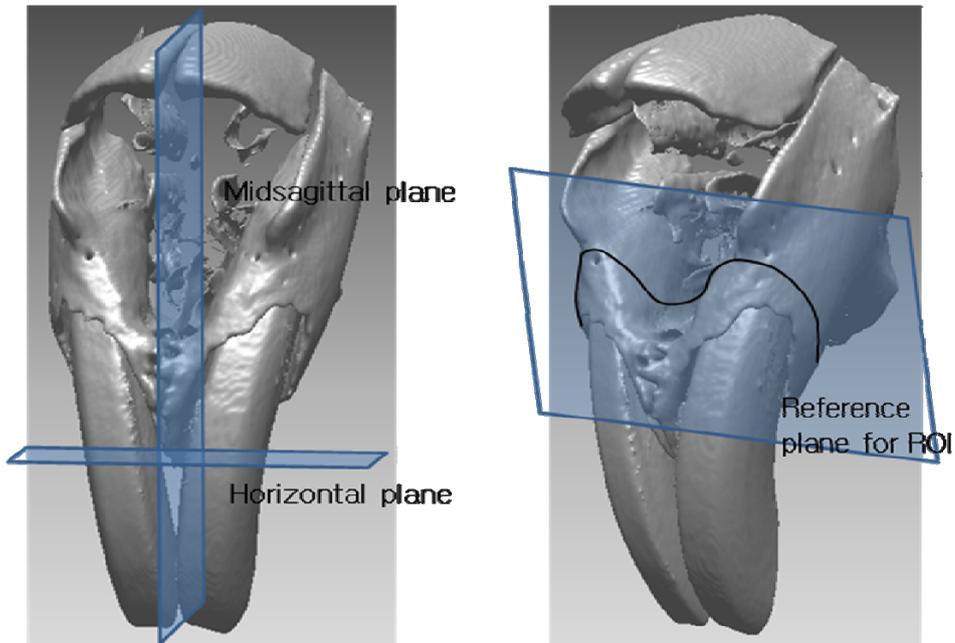


Fig 3. Reference planes
ROI(region of interest)

(4) 계측치의 측정 (Fig 4, 5.)

연령에 따라 young, adult군으로 나누고, 장치 장착 시간에 따라 T0(0week), T1(1week), T2(2weeks), T3(3weeks)군으로 나누어, 이에 따른 치아 중심 사이 거리, 봉합 사이 거리, 치아 이동 거리, 골성 퇴축, 골 부피의 총 5개 변수를 계측하였다.

① 치아 중심 사이 거리 (D)

: Prosthion point 1mm 상방의 단면에서 좌우 중절치 중심 사이의 거리

② 봉합 사이 거리 (S)

: Prosthion point 1mm 상방의 단면에서 좌우 중절치 중심을 지나는 직선상에서의 내측 치조골 사이 거리

③ 치아 이동 거리 (M)

: ‘치아 중심 사이 거리(D) - 봉합 사이 거리(S)’

④ 골성 퇴축 (R)

: Horizontal plane에서 Incisive superior alveolar point까지의 수직거리

⑤ 골 부피(V)

: Reference plane for ROI(region of interest) 하방의 좌우 중절치를 둘러싼 골의 부피

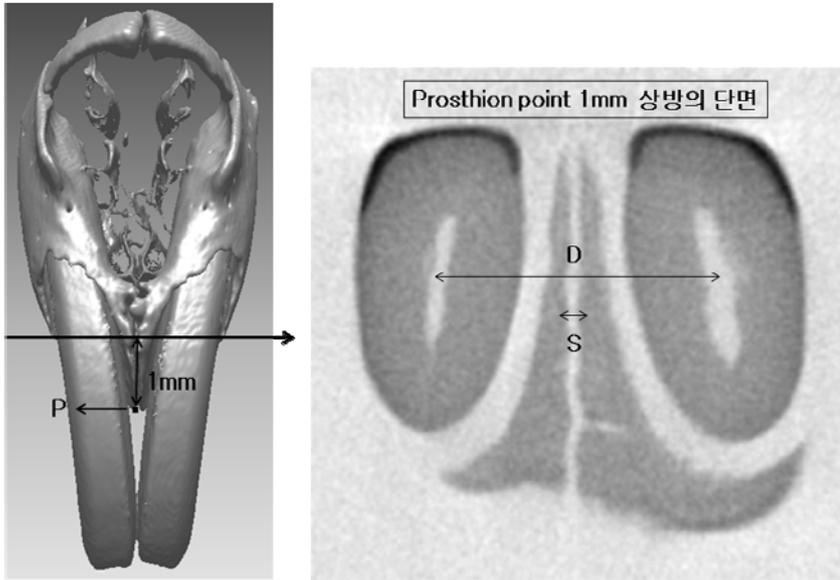


Fig 4. Measurements for tooth movement

D: Distance between the center of teeth, S: Suture width

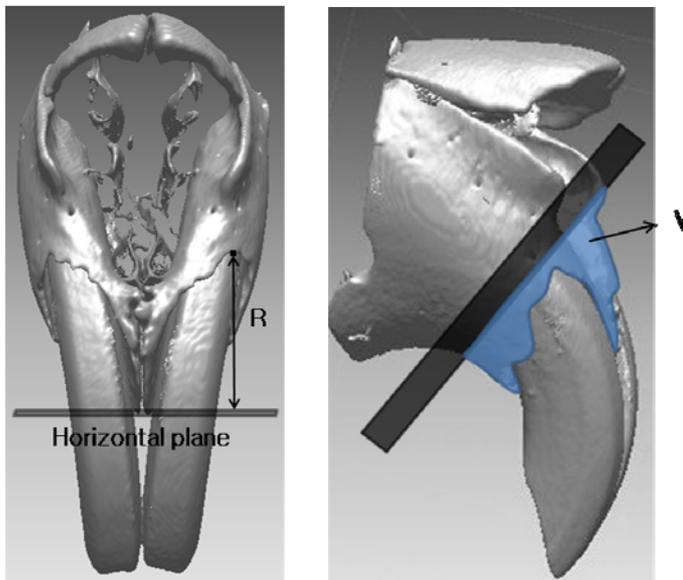


Fig 5. Measurements for alveolar bone change

R: The perpendicular distance of Incisive superior alveolar point to the Horizontal plane

V: The volume of bone below the Reference plane for ROI

(5) 계측치의 분석 및 통계처리

계측된 자료들을 SAS 9.1 Ver(SAS Inc., North Carolina)을 이용하여 통계처리 하였다.

- ① 치아 중심 사이 거리, 봉합 사이 거리, 치아 이동 거리, 골성 퇴축, 골 부피의 총 5개 변수의 평균과 표준편차를 구하였다.
- ② 시간에 따른 비교를 위해 young군과 adult군을 나누어 ANOVA test후 사후검정으로 Tukey test를 시행하였다.
- ③ 연령군간 비교를 위해 각 시간대별로 young군과 adult군의 Independent t-test를 시행하였다.
- ④ 5개 변수의 연령 및 시간에 따른 상관관계 분석을 위하여 Spearman's Rank Correlation분석을 시행하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 치아 이동에 대한 분석

(1) 시간에 따른 치아 중심 사이 거리, 봉합 사이 거리, 치아 이동 거리의 변화

Young군과 adult군에서 모두 치아 중심 사이 거리, 봉합 사이 거리, 치아 이동 거리는 시간이 지날수록 증가하였다. (Table 1.)

봉합 사이의 거리는 young군과 adult군에서 모두 1주 때 유의성 있는 차이가 없었으나, 시간이 지날수록 점차 증가하여 2주 때 young군($p<0.05$), adult군($p<0.05$), 3주 때 young군($p<0.001$), adult군($p<0.01$)의 유의성 있는 차이를 보였다. 치아 이동 거리는 young군과 adult군에서 모두 시간이 지날수록 1주($p<0.05$), 2주($p<0.01$), 3주($p<0.001$)에 걸쳐 유의성 있게 증가하였다. (Table 2.)

Table 1. Measurements of the suture width and the tooth displacement in young and adult groups(mm)

Age	Variables	T0		T1		T2		T3	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	SD
Young group	D	2.44	0.13	3.31	0.12	3.93	0.24	4.84	0.68
	S	0.08	0.01	0.36	0.06	0.86	0.33	1.51	0.44
	M(D-S)	2.36	0.14	2.95	0.07	3.07	0.18	3.33	0.28
Adult group	D	2.84	0.13	3.39	0.26	3.68	0.17	3.95	0.36
	S	0.09	0.02	0.15	0.04	0.32	0.03	0.43	0.21
	M(D-S)	2.75	0.12	3.24	0.24	3.36	0.17	3.51	0.20

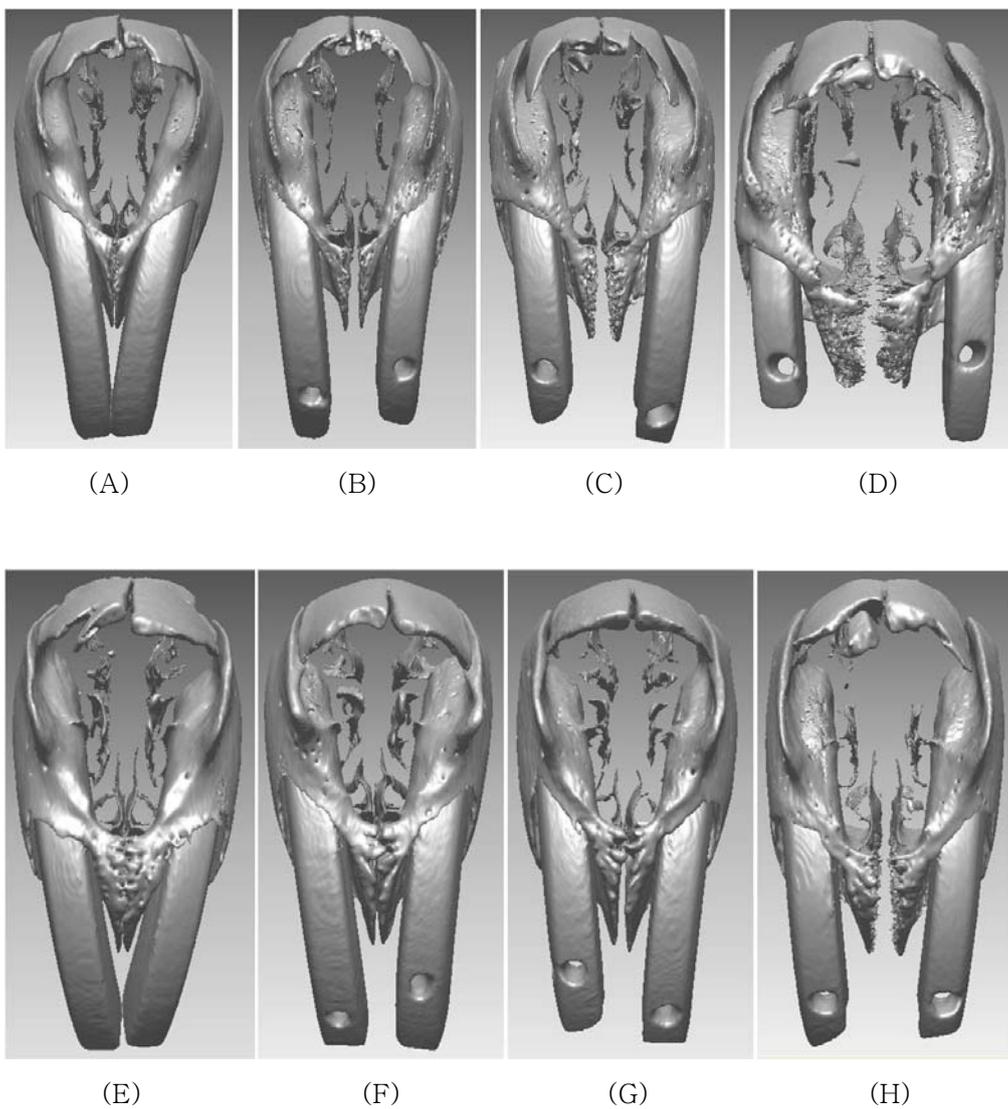


Fig 6. Time-dependent change in young and adult groups (frontal view)

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| (A) : Young T0 group, | (B) : Young T1 group |
| (C) : Young T2 group, | (D) : Young T3 group |
| (E) : Adult T0 group, | (F) : Adult T1 group |
| (G) : Adult T2 group, | (H) : Adult T3 group |

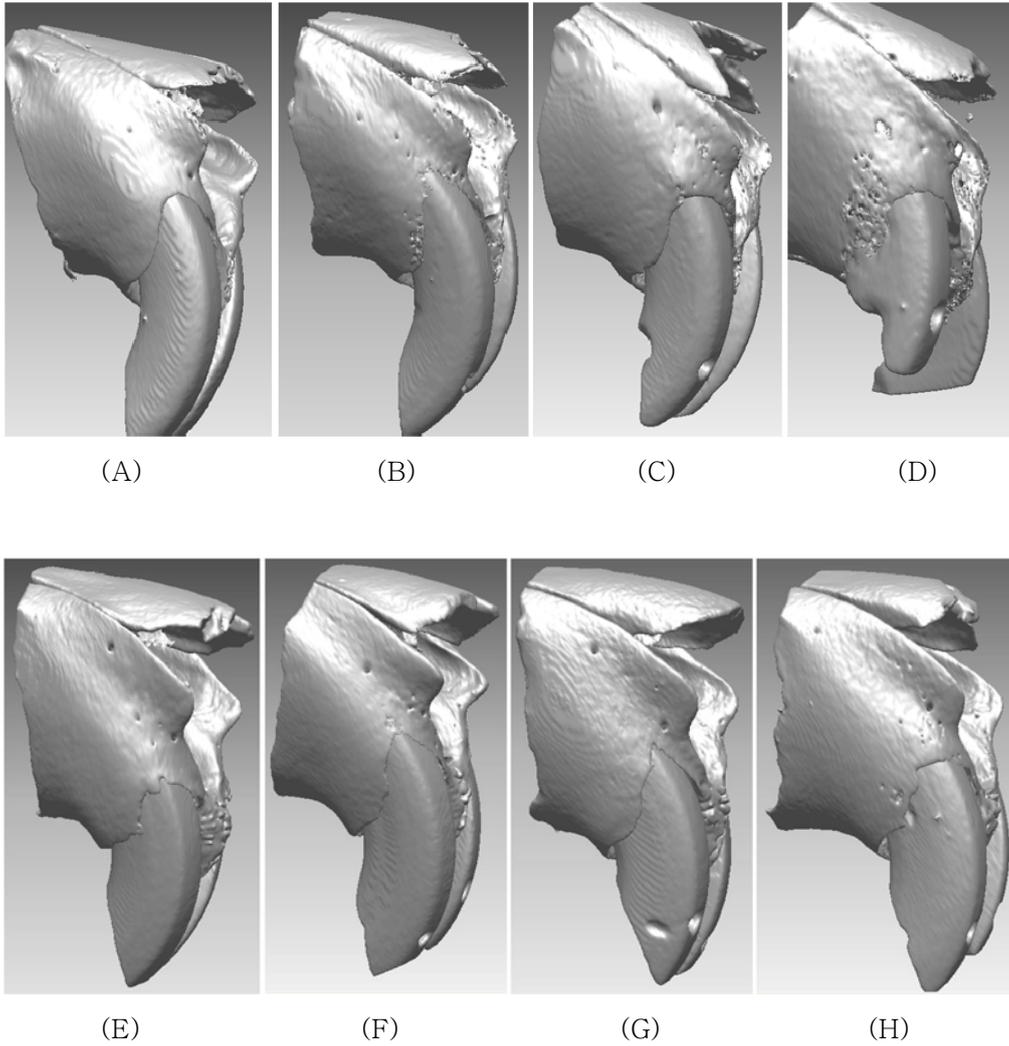


Fig 7. Time-dependent change in young and adult groups (lateral view)

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| (A) : Young T0 group, | (B) : Young T1 group |
| (C) : Young T2 group, | (D) : Young T3 group |
| (E) : Adult T0 group, | (F) : Adult T1 group |
| (G) : Adult T2 group, | (H) : Adult T3 group |

(2) 연령에 따른 치아 중심 사이 거리, 봉합 사이 거리, 치아 이동 거리의 비교

시간에 관계없이 치아 중심 사이 거리의 변화량($p < 0.05$), 봉합 사이 거리의 변화량($p < 0.001$)은 young군이 adult군보다 유의성 있게 큰 값을 나타냈으나, 치아 이동 거리의 변화량은 두 군간의 유의차가 없었다. (Table 2.)

Table 2. Comparison of the suture width and the tooth displacement between young and adult groups according to each time point (mm)

Time	Variables	Young group			Adult group			Sig.
		Mean	S.D.	Sig.	Mean	S.D.	Sig.	
ΔT (T1-T0)	D	0.87	0.12	**	0.55	0.26	*	*
	S	0.28	0.06	NS	0.06	0.04	NS	***
	M(D-S)	0.59	0.07	*	0.49	0.24	*	NS
ΔT (T2-T0)	D	1.49	0.24	***	0.84	0.17	**	*
	S	0.78	0.33	*	0.23	0.03	*	*
	M(D-S)	0.71	0.18	**	0.61	0.17	**	NS
ΔT (T3-T0)	D	2.40	0.38	***	1.10	0.36	***	*
	S	1.43	0.68	***	0.34	0.21	**	***
	M(D-S)	0.97	0.44	***	0.76	0.20	***	NS

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, NS: not significant

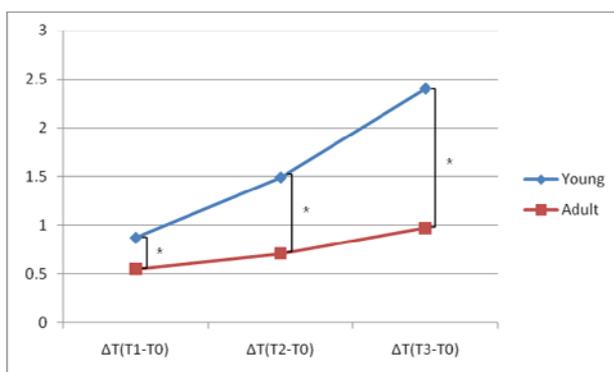


Fig 8. Distance between the center of teeth (ΔD)

The change in the distance between the center of teeth were greater significantly in the young group than those in the adult

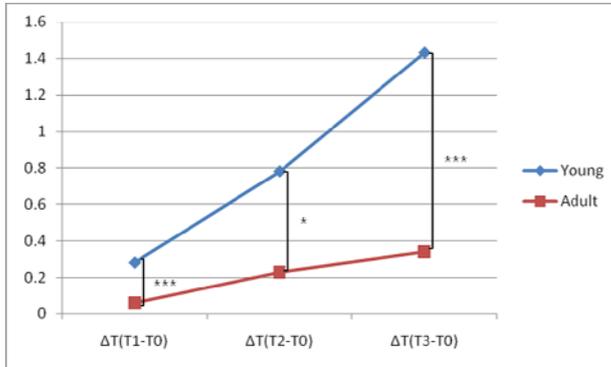


Fig 9. Suture width (ΔS)

The change in the suture width were greater significantly in the young group than those in the adult

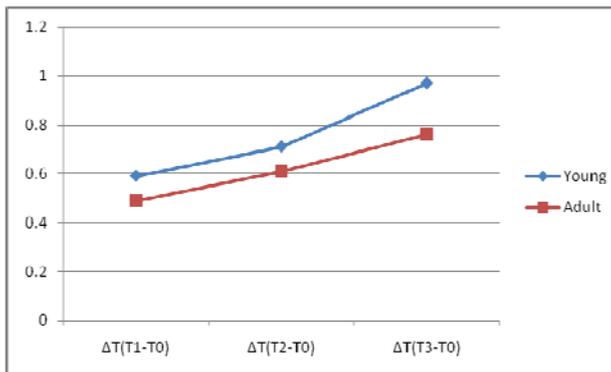


Fig 10. Tooth displacement (ΔM)

The change in the tooth displacement showed no significant difference between groups

2. 치아 주위 치조골에 대한 분석

(1) 시간에 따른 골성 퇴축 및 골 부피의 변화

Young군에서는 외측 피질골에서 1주 때 평균 0.82mm($p < 0.05$)의 골성 퇴축이 일어나나, 2주 때 0.61mm, 3주 때 0.18mm로 골성 퇴축의 양이 점차 감소하였다. 골 부피는 1주 때 평균 4.92mm³로 유의성 있게 감소하나($p < 0.001$), 2주 때

0.84mm³, 3주 때 0.12mm³의 감소량을 보여 대조군과 유의한 차이가 없었다. Adult군에서는 외측 피질골에서 1주 때 평균 1.04mm(p<0.05), 2주 때 1.50mm(p<0.001), 3주 때 1.54mm(p<0.001)의 골성 퇴축이 일어났다. 골 부피는 1주 때 평균 5.08mm³로 유의성 있게 감소하나(p<0.05), 2주 때 4.00mm³, 3주 때 2.72mm³의 감소량을 보여 대조군과 유의한 차이가 없었다. (Table 4.)

Table 3. Measurements of the bone recession and the bone volume in young and adult groups

Age	Variables	T0		T1		T2		T3	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	SD
Young group	R(mm)	4.64	0.32	5.46	0.64	5.25	0.86	4.82	0.70
	V(mm ³)	32.69	0.68	27.77	2.02	31.86	1.67	32.57	1.26
Adult group	R(mm)	4.64	0.40	5.68	0.44	6.14	0.50	6.18	0.44
	V(mm ³)	59.55	1.54	54.47	3.61	55.55	1.73	56.83	1.42

(2) 연령에 따른 골성 퇴축 및 골 부피의 비교

1주군에서는 young군이 adult군보다 골성 퇴축 양과 골 부피의 감소량이 작으나 통계적으로 유의차는 없었다. 2주군에서는 골성 퇴축 양은 유의차가 없었으나, 골 부피의 감소량은 young군이 adult군보다 유의성 있게 작았다(p<0.05). 3주군에서는 골성 퇴축 양(p<0.01)과 골 부피의 감소량(p<0.05) 모두 young군이 adult군보다 유의성 있게 작았다. (Table 4.)

Table 4. Comparison of the bone recession and the bone volume between young and adult groups according to each time point

Time	Variables	Young group			Adult group			Sig.
		Mean	S.D.	Sig.	Mean	S.D.	Sig.	
ΔT (T1-T0)	R(mm)	0.82	0.44	*	1.04	0.44	*	NS
	V(mm ³)	-4.92	2.02	***	-5.08	3.61	*	NS
ΔT (T2-T0)	R(mm)	0.61	0.86	NS	1.50	0.50	***	NS
	V(mm ³)	-0.84	1.67	NS	-4.00	1.73	NS	*
ΔT (T3-T0)	R(mm)	0.18	0.70	NS	1.54	0.44	***	**
	V(mm ³)	-0.12	1.26	NS	-2.72	1.42	NS	*

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, NS: not significant

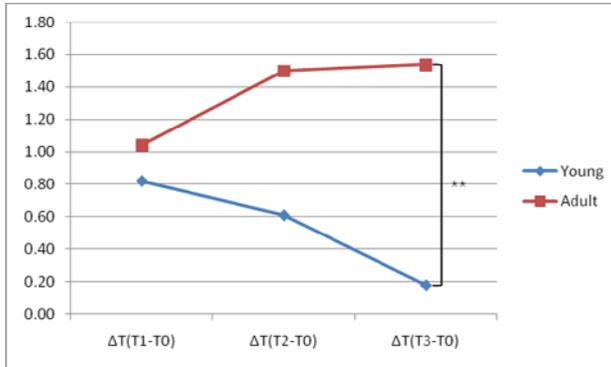


Fig 11. Bone recession (ΔR)

The amount of bony recession gradually decreased in the young group, however, it gradually increased in the adult group

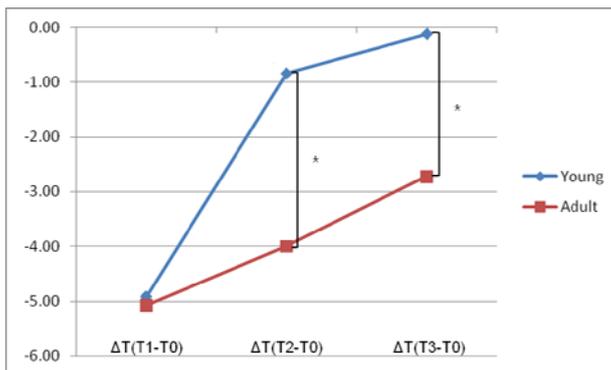


Fig 12. Bone volume (ΔV)

The bone volume decreased in the first week, but gradually recovered with time in both groups

3. 상관관계 분석

각 변수들간의 상관관계 분석에서는 young 2주군 ($p < 0.001$), adult 2주군 ($p < 0.01$)에서 치아 중심 사이 거리와 골 부피 사이에서 유의성 있는 상관관계를 보였다. 그러나 골성 퇴축 양과 다른 변수들 간에는 두 군에서 모두 어느 시기에서도 유의한 상관관계가 나타나지 않았다.

Table 5. Correlations of each variable in young group at T1

Young (T1)	D	S	M	R	V
D	1.000				
S	0.872 0.054	1.000			
M	0.872 0.054	0.600 0.285	1.000		
R	-0.359 0.553	-0.200 0.747	-0.400 0.505	1.000	
V	-0.154 0.805	-0.600 0.285	0.200 0.747	-0.400 0.505	1.000

Table 6. Correlations of each variable in young group at T2

Young (T2)	D	S	M	R	V
D	1.000				
S	0.700 0.188	1.000			
M	0.051 0.935	-0.667 0.219	1.000		
R	0.100 0.873	0.100 0.873	-0.205 0.741	1.000	
V	1.000 <.0001(***)	0.700 0.188	0.051 0.935	0.100 0.873	1.000

Table 7. Correlations of each variable in young group at T3

Young (T3)	D	S	M	R	V
D	1.000				
S	0.800 0.104	1.000			
M	0.800 0.104	0.300 0.624	1.000		
R	-0.700 0.188	-0.700 0.188	-0.500 0.391	1.000	
V	-0.800 0.104	-0.700 0.188	-0.700 0.188	0.800 0.104	1.000

Table 8. Correlations of each variable in adult group at T1

Adult (T1)	D	S	M	R	V
D	1.000				
S	0.700 0.188	1.000			
M	0.667 0.219	0.051 0.935	1.000		
R	0.051 0.935	0.205 0.741	-0.026 0.967	1.000	
V	0.200 0.747	-0.200 0.747	0.667 0.219	0.616 0.269	1.000

Table 9. Correlations of each variable in adult group at T2

Adult (T2)	D	S	M	R	V
D	1.000				
S	0.000 1.000	1.000			
M	0.821 0.089	-0.564 0.322	1.000		
R	0.154 0.805	-0.359 0.553	0.300 0.624	1.000	
V	0.975 0.005(**)	-0.154 0.805	0.900 0.037	0.100 0.873	1.000

Table 10. Correlations of each variable in adult group at T3

Adult (T3)	D	S	M	R	V
D	1.000				
S	0.800 0.104	1.000			
M	0.900 0.037(*)	0.500 0.391	1.000		
R	-0.500 0.391	-0.100 0.873	-0.800 0.104	1.000	
V	0.600 0.285	-0.400 0.505	-0.700 0.188	0.700 0.188	1.000

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, NS: not significant

IV. 고찰

치조골의 순설측 혹은 협설측 방향으로의 치아 이동은 외측 피질골에 의해 제한이 있으며, 치조골의 범위를 넘어선 치아 이동 시에는 골성 퇴축과 같은 부작용이 나타날 수 있다. 본 연구에서는 교정력 적용 시, 연령 및 시간에 따른 골성 퇴축의 변화 양상을 정량적으로 분석하고자 하였다.

이를 위해 백서 전치에 교정력을 가하여 측방 이동을 시행하였고, 이에 따른 외측 피질골의 변화를 살펴보았다. 전치를 실험 대상으로 선택한 것은 백서 전치의 외측 피질골이 얇기 때문에 골성 퇴축과 골 형성이 잘 나타나며, 다른 복잡한 해부학적 구조물이 없기 때문에 치조골의 높이 및 부피 변화를 비교적 정확히 측정할 수 있기 때문이다. 백서는 기존의 연구(Ren 등, 2004)에서도 언급된 것처럼 실험모델로서 많은 장단점을 가지고 있다. 사람과의 비교 시 치조골 밀도가 높으며, 치주인대 섬유 배열 및 주위 지지 조직의 구조가 차이가 있다는 단점이 있으나, 가격이 비교적 저렴하고 많은 수의 개체를 사용하는데 용이하며, 오랜 기간 관리가 가능하다는 장점이 있다. 또한 골 흡수와 형성의 과정에서 좋은 균형을 유지하고, 높은 골 대사율을 보이므로 치아 이동을 통한 외측 피질골 부위의 골성 퇴축 및 골 형성을 비교적 잘 재현할 수 있는 모델이라 할 수 있다.

연령에 따른 비교를 위해서 사춘기 성장기 무렵의 청소년과, 30대 이상의 성인군을 재현하는 것이 필요하다. 기존의 연구에 따르면 백서는 7-8주부터 성적으로 성숙하기 시작하고, 13주까지 골대사가 활발히 일어난다. 그리고 8개월이 되면 골격적 성장이 급격히 감소하고, 12개월 정도에는 치조골의 성장이 거의 멈추게 된다(Quinn, 2005). 이에 따라 본 연구에서 이용된 백서의 연령은 young군(12주)은 사춘기 성장기 무렵의 청소년에, adult군(8-12개월)은 30대의 성인에 해당한다고 할 수 있다.

이번 실험에서는 암컷은 생리기간에 있는 경우 호르몬 변화가 있다는 점을 감안하여 수컷을 사용하였고(Akin 등, 2004), 전치에 적절한 힘을 가하기 위해 기존의 백서 전치에서 측방 이동을 시행한 연구를 참고하여 40g의 힘을 설정하였다(Engstrom 등, 1988, Magdalena 등, 2004). 힘이 모든 시간에 걸쳐 일정하게 가해지기는 어려웠을 것으로 생각되며, 최대한 지속적인 힘을 가하고자 백서 희생 후에도 힘이 남아있는 것을 확인하였다. 또한 치아에 장치를 장착하는 과정에서

치수 손상이 있을 수 있으나, 치아 이동에 있어서 치수 생활력의 영향이 미미하다는 기존의 연구(Hamilton 등, 1999)를 참고할 때, 실험에 큰 영향은 없었을 것으로 생각된다. 쥐의 전치에 힘을 가하였을 때 맹출이 지연되기는 하나(Steigman 등, 1988), 완전히 억제되기는 힘들었을 것으로 사료되므로 맹출에 따른 치조골의 변화는 본 실험의 한계로 생각된다.

실험 결과 치아 중심 사이 거리, 봉합 사이 거리, 치아 이동 거리는 young군과 adult군 모두에서 시간이 지날수록 유의성 있게 증가하였다. 측방 확장을 위해 교정력을 가하면 이 힘은 초기에 봉합을 이개하는데 집중되지만, 실제 가해진 힘만큼 봉합에서의 골격적 변화가 일어나지 못한다. 이에 따라 잔존하는 힘이 생기게 되어 치조골과 내에서의 치아 이동을 야기하게 된다(Garib, 등, 2006). 이는 본 실험에서 1주 때 치아 이동 거리는 유의하게 증가하는 반면($p < 0.05$), 봉합 사이 거리는 유의한 차이를 보이지 않은 것을 설명해준다. 그러나 시간이 지날수록 봉합이 이개되는 양이 치조골과 내에서 치아가 이동하는 양에 비해 커지는 것을 알 수 있는데, 이는 일정 이상의 힘이 축적되어 봉합이 이개되기 시작하면서 힘이 그곳에 집중되기 때문인 것으로 생각된다.

연령에 따른 비교에서는 치아 중심 사이 거리 변화($p < 0.05$)와 봉합 사이 거리 변화($p < 0.001$)는 young군이 adult군보다 유의성 있게 큰 값을 나타냈다. 이는 기존의 연령에 따른 치아이동의 차이에 관한 연구와 일치한다. Young군이 adult군보다 골밀도가 작아서 bone bending이 쉽게 일어나게 되고 이에 의해 골개조가 증가하여 치아 이동의 차이가 나타나게 된다(Bridges 등, 1988). 또한 나이가 들수록 치주인대 공간이 감소하여 초자양화가 증가하는 것도 하나의 원인이다(Abiko 등, 1998). Stolzing 등(2008)은 미분화 간엽세포가 조골세포, 파골세포 등으로 변화하여 골조직의 재생에 관여하게 되는데, young군이 adult군보다 인접 조직에 분포하는 미분화 간엽세포가 풍부하여 조직 반응의 속도가 빠르다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서 치아 이동 거리의 변화는 연령에 따른 유의한 차이가 없었다. 이는 봉합의 이개와 같은 골격성 변화에 있어서는 연령에 따른 차이가 있을 수 있으나, 순수한 치조골과 내에서의 치아 이동은 연령에 따른 큰 차이가 없음을 의미한다.

치아 주위 치조골의 변화를 관찰한 결과, 연령과 시간에 따라 차이가 있는 것을

발견하였다. 먼저 시간에 따른 변화를 살펴보면, young군에서는 1주군에서 골성 퇴축이 유의성 있게 증가하였으나($p < 0.05$) 2주군, 3주군에서는 점차 감소되었다. 힘이 계속 적용되어 치아가 측방으로 이동하고 있음에도 불구하고 골성 퇴축이 감소한 것은 압박측 치주인대측 치조골의 흡수와 거의 동시에 골막측 치조골에서 보상성 골형성이 일어난 것으로 해석할 수 있다. 실제로 모 등(2008)이 이를 조직학적으로 관찰한 연구에서도 압박측 치주인대측 치조골의 흡수와 함께 혹은 그보다도 더 신속한 골막측 치조골의 형성을 관찰하였다. 또한 Shimpo 등(2003)은 백서 구치를 설측으로 경사시켰을 때에 골개조 양상을 관찰한 연구에서 압박측에서 보상성 골형성이 상당량 일어나는 것을 조직학적으로 확인하였다. 본 실험에서도 장치 적용 초기부터 압박측에서 골성 퇴축이 감소되기 시작했으며, 이는 백서의 빠른 골대사 능력과도 연관 있는 것으로 생각된다.

Engelking 등(1982)과 Thilander 등(1983)은 동물실험을 통하여 전치의 과도한 순측 이동으로 생긴 골 열개가 교정력을 가해 치아를 설측으로 재위치시켰을 때에 골 재생에 의해 회복되는 것을 관찰하였다. 또한 King 등(1997)은 교정력을 가한 실험군에서 장치를 제거한 후, 골개조가 일어나 대조군과 비슷한 정도로 회복되는 것을 보고하였다. 그러나 본 연구에서처럼 교정력이 적용되고 있을 때 아무런 조치 없이도 압박측에서 새로운 골 형성이 일어나 골성 퇴축이 감소하는 것을 보고한 연구는 미미하다. 이의 기전은 치주적 재생의 관점에서 설명될 수 있다. Hughes 등(2001)은 치주조직의 손상이 있을 때 rhBMP-2(recombinant human bone morphogenetic protein-2)등에 의해 주위의 손상받지 않은 치주인대에서 손상받은 부위로의 세포이동이 일어나고 이들이 증식하면서 cell recruitment가 일어난다고 하였으며, 이로 인해 골과 백악질의 재생이 나타나는 것을 관찰하였다. 본 연구에서처럼 교정력에 의한 골성 퇴축이 일어났을 때에도 손상 받지 않은 치주인대에서 퇴축이 일어난 부위로 세포이동과 증식이 일어나 새로운 골 형성이 일어나는 것으로 생각된다.

골성 퇴축은 연령에 따른 차이도 보였다. Adult군에서의 변화를 살펴보면, young군과는 다르게 시간이 지날수록 골성 퇴축이 증가하는 소견을 보였다. 이는 연령에 의한 골 반응의 차이 때문인 것으로 생각된다. Jager 등(1996)은 나이가 들수록 골 형성에 관여하는 세포들의 숫자가 감소하여 골 개조 능력이 떨어진다고 하였고, 다른 많은 연구에서도 연령에 따른 감소된 골 반응을 보고하였다. 그

러나 본 실험에서 adult군에서의 골성 퇴축의 단위 시간당 증가량은 점차 감소하였으며, 특히 2주군에서 1.50mm, 3주군에서 1.54mm로 거의 변화하지 않은 것으로 측정되었다. 비록 적용되는 힘의 크기가 다소 감소하였겠지만 계속해서 치아가 측방으로 이동하고 있음을 고려할 때, adult군에서도 young군과 차이가 있을 뿐 제한된 보상성 골형성 기전이 존재함을 추론할 수 있다.

골 부피의 시간에 따른 변화를 살펴보면 young군($p < 0.001$)과 adult군($p < 0.05$) 모두 1주군에서 통계적으로 유의한 감소를 보였으나 시간이 지날수록 회복되는 양상을 보였다. 백서 전치의 측방 이동 시 나타나는 골 부피의 변화는 크게 3부분으로 나누어 설명할 수 있다. 봉합 부위에서의 변화, 치조골 내측에서의 변화, 치조골 외측에서의 변화가 그것이다. 본 연구에서 측정한 골 부피는 기준 평면 하방의 치아 주위 골 모두를 포함하였으므로, 치조골 외측에서의 변화를 설명하기 위해선 나머지 2부분에 대한 고려가 필요하다. 봉합 부위에서는 이미 알려진 것처럼 교정력에 의해 봉합이 이개될 경우, 이개된 부위에서 골 형성이 일어난다(Kanekawa 등, 1998). 치조골 내측에서는 압박측 치주인대 측의 골흡수와 인장측 치주인대 측의 골형성이 비슷한 정도로 일어난다. Melsen 등(1991)은 치아이동 시 치조골 범위를 넘어서지 않는 한 치주인대측에서의 골흡수와 골형성은 균형을 이루며, 전체적인 골 양은 유지된다고 하였다. 따라서 본 실험에서 골 부피의 변화는 치조골 내측의 변화를 제외한 봉합부위의 변화와 외측 치조골에서의 변화에 의한 것으로 생각된다. Young군과 adult군 모두 1주때에 골 부피가 감소한 것은 외측 피질골의 골흡수가 봉합 부위에서의 골 형성보다 더 많이 일어났기 때문이며, 시간이 지날수록 증가한 것은 봉합부위의 골형성과 외측에서의 골형성 모두의 영향인 것으로 생각된다.

골 부피의 연령에 따른 차이를 살펴보면 1주군에서는 young군과 adult군의 골 부피의 감소량이 통계적으로 유의차가 없었으나, 2주, 3주군에서는 young군이 adult보다 작은 값을 나타냈으며, 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 연령에 따라 봉합 부위 골형성 정도의 차이가 있을 수 있음을 감안하면, 측정된 골 부피의 변화는 외측 치조골의 변화로 한정지을 수 없다는 한계가 있다. 그러나 골성 퇴축의 변화를 함께 고려할 경우, 치조골 외측의 보상성 골형성은 골 부피의 변화와 연관성이 높으며, 연령에 따른 차이가 있는 것으로 생각할 수 있다. Adult군에서도 그 양은 young군에 비해 작지만, 감소되었던 골 부피가

2, 3주군에서 점차 증가하는 것을 볼 때에 제한된 보상성 골형성이 일어나는 것을 유추할 수 있다

골개조는 initiation, transition, termination의 3단계로 나뉘어진다(Matsuo 등, 2008). 교정력이 가해지면 압박측에서는 초기 initiation stage에서 파골세포가 활성화되어 골흡수가 진행된다. 그 후 transition stage에서는 파골세포가 조골세포 전구세포에 신호를 전달하여 조골세포의 형성을 돕는다. 그 후 termination stage에서는 형성된 조골세포에 의해 골형성이 일어난다. 이 때에 파골세포에 의한 압박측의 골 흡수는 매우 단기간에 일어나고, 골 흡수와 동시에 조골세포의 형성을 도와 빠른 시간내에 골 형성을 가능케 한다. 본 실험에서도 지속적인 교정력으로 파골세포가 활성화되지만 이는 거의 동시에 조골세포의 형성을 도와 짧은 시간내에 새로운 골형성이 일어나는 것으로 추측된다. 이는 또한 연령에 따른 차이를 보이는데, 기존의 많은 연구에서 연령의 증가에 따라 주위 미분화세포의 숫자가 감소되고, 이들이 조골세포, 파골세포로 분화하는 능력도 감소하는 것을 보고하였다. 이에 따라 골개조의 지연이 나타나며 이는 본 실험의 결과와도 일치한다.

각 변수들간의 상관관계 분석에서는 골성 퇴축 양과 다른 변수들 간에는 두 군에서 모두 어느 시기에서도 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 이를 통해 골성 퇴축은 치아 이동량보다는 개인적 골형성 능력과 연관이 있을 것으로 사료된다.

이번 연구 결과 치아에 측방력을 가했을 때에 압박측의 피질골에서 보상성 골형성이 일어나는 것을 정량적으로 측정할 수 있었으며, 연령에 의한 차이도 관찰할 수 있었다. Young군이 adult군보다 더 활발한 골 형성을 나타내었고, adult군의 제한된 골 반응은 교정 치료 시 과도한 치아 이동을 제한하는 요인이 될 것으로 생각된다. 기존의 연령에 의한 차이가 없다는 연구에서는 초기 치아 이동에는 차이가 있으나, 일정기간 이후를 비교 시에는 차이가 없다고 보고하고 있다. Ren 등(2003)은 쥐에서 초기의 치아이동은 나이가 어릴수록 빠르나, 교정력 적용 후 4주가 지나 linear phase에 도달하게 되면 그 때부터는 연령에 따른 차이가 없다고 주장하였다. 즉, 골 대사 능력 자체는 연령에 크게 좌우되지 않으나, 초기 자극에 대한 생물학적 반응은 성인에서 더 느리게 때문에 초기 치아이동에 차이가 있다는 것이다. 본 실험은 3주간 교정력을 가하여 초기 반응만을 살펴보았고, 3주

이후의 변화에 대해서는 관찰하지 못하였기 때문에 이에 대한 보다 장기간의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

교정력 적용 시 연령과 시간에 따른 압박측 피질골의 변화를 관찰하기 위해 백서 중절치에 40g의 측방력을 지속적으로 가한 후, Micro CT를 촬영하여 3차원적 영상을 형성하였다. 이를 정량적으로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Young군에서 adult군보다 치아 중심 사이 거리의 변화($p<0.05$), 봉합 사이 거리의 변화($p<0.001$)가 유의하게 크게 나타났다. 그러나 치아 이동 거리의 변화는 연령에 따른 유의한 차이가 없었다.

2. Young군에서는 외측 피질골에서 1주 때 평균 0.82mm($p<0.05$)의 골성 퇴축이 일어나나 2주 때 0.61mm, 3주 때 0.18mm로 골성 퇴축의 양이 점차 감소하였다. Adult군에서는 외측 피질골에서 1주 때 평균 1.04mm($p<0.05$)의 골성 퇴축이 일어나고, 2주 때 1.50mm($p<0.001$), 3주 때 1.54mm($p<0.001$)로 그 양이 점차 증가하였다.

3. 골 부피는 young군에서 1주 때 평균 4.92mm³ 감소하나($p<0.001$) 2주 때 0.84mm³, 3주 때 0.12mm³의 감소량을 보여 시간이 지날수록 점차 회복되는 양상을 보였다. Adult군에서도 1주 때 평균 5.08mm³ 감소하나($p<0.05$) 2주 때 4.00mm³, 3주 때 2.72mm³의 감소량을 보여 young군에서와 같이 시간이 지날수록 점차 회복되는 양상을 보였다.

4. 각 변수들간의 상관관계 분석에서는 young($p<0.001$), adult($p<0.01$)의 2주 군에서 치아 중심 사이 거리와 골 부피 사이에서 유의성 있는 상관관계가 나타났다. 그러나 골성 퇴축 양과 다른 변수들 간에는 두 군에서 모두 어느 시기에서도 유의한 상관관계가 나타나지 않았다.

위의 결과를 통해 교정적 치아 이동 시 압박측 피질골에서 보상성 골형성이 나타나며, adult군에 비해 young군에서 더 활발하게 일어나는 것을 알 수 있었다. Adult군의 골형성 감소는 골격성 부정교합의 절충치료 시 과도한 치아이동을 제한하는 요인이 될 것으로 생각된다.

참고문헌

Horiuchi A, Hotokezaka H, Kobayashi K. Correlation between cortical plate proximity and apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:311-8

Wainwright WM. Faciolingual tooth movement: its influence on the root and cortical plate. *Am J Orthod* 1973;64:278-302

Proffit WR, Fields HW, Saver DM. *Contemporary Orthodontic* 4th 2007.

Shimpo S, Horiguchi Y, Nakamura Y, Lee M, Oikawa T, Noda K, et al. Compensatory bone formation in young and old rats during tooth movement. *Eur J Orthod* 2003;25:1-7

Ashizawa Y, Sahara N. Quantitative evaluation of newly formed bone in the alveolar wall surrounding the root during the initial stage of experimental tooth movement in the rat. *Arch Oral Biol* 1998;43:473-84

Verna C, Zaffe D, Siciliani G. Histomorphometric study of bone reactions during orthodontic tooth movement in rats. *Bone* 1999;24:371-9

Frost HM. The Utah paradigm of skeletal physiology: an overview of its insights for bone, cartilage and collagenous tissue organs. *J Bone Miner Metab* 2000;18:305-16

Garib DG, Henriques JF, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:749-58

Artun J, Krogstad O. Periodontal status of mandibular incisors following excessive proclination. A study in adults with surgically treated mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:225–32

Sarikaya S, Haydar B, Ciger S, Ariyurek M. Changes in alveolar bone thickness due to retraction of anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:15–26

Jager A. Histomorphometric study of age-related changes in remodelling activity of human desmodontal bone. *J Anat* 1996;189 (Pt 2):257–64

Kyomen S, Tanne K. Influences of aging changes in proliferative rate of PDL cells during experimental tooth movement in rats. *Angle Orthod* 1997;67:67–72

Bridges T, King G, Mohammed A. The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:245–50

Kabasawa M, Ejiri S, Hanada K, Ozawa H. Effect of age on physiologic and mechanically stressed rat alveolar bone: a cytologic and histochemical study. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1996;11:313–27

King GJ, Keeling SD, Wronski TJ. Histomorphometric study of alveolar bone turnover in orthodontic tooth movement. *Bone* 1991;12:401–9

Ulgen M, Baran S, Kaya H, Karadede I. The influence of the masticatory hypofunction on the craniofacial growth and development in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:189–98

Ren Y, Maltha JC, Kuijpers–Jagtman AM. The rat as a model for orthodontic tooth movement—a critical review and a proposed solution. *Eur J Orthod* 2004;26:483–90

Quinn R. Comparing rat's to human's age: how old is my rat in people years? *Nutrition* 2005;21:775–7

Akin E, Gurton AU, Olmez H. Effects of nitric oxide in orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:608–14

Engstrom C, Granstrom G, Thilander B. Effect of orthodontic force on periodontal tissue metabolism. A histologic and biochemical study in normal and hypocalcemic young rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:486–95

Magdalena CM, Navarro VP, Park DM, Stuani MB, Rocha MJ. C–fos expression in rat brain nuclei following incisor tooth movement. *J Dent Res* 2004;83:50–4

Abiko Y, Shimizu N, Yamaguchi M, Suzuki H, Takiguchi H. Effect of aging on functional changes of periodontal tissue cells. *Annals of periodontology* 1998;3:350–69

Stolzing A, Jones E, McGonagle D, Scutt A. Age–related changes in human bone marrow–derived mesenchymal stem cells: consequences for cell therapies. *Mech Ageing Dev* 2008;129:163–73

Engelking G, Zachrisson BU. Effects of incisor repositioning on monkey periodontium after expansion through the cortical plate. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1982;82:23–32

모성서. 백서 전치에 교정력 적용시 연령에 따른 골막측 치조골 개조. 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 2008.

Thilander B, Nyman S, Karring T, Magnusson I. Bone regeneration in alveolar bone dehiscences related to orthodontic tooth movements. *Eur J Orthod* 1983;5:105-14

King GJ, Latta L, Rutenberg J, Ossi A, Keeling SD. Alveolar bone turnover and tooth movement in male rats after removal of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:266-75

King GN, Hughes FJ. Bone morphogenetic protein-2 stimulates cell recruitment and cementogenesis during early wound healing. *Journal of clinical periodontology* 2001;28:465-75

Kanekawa M, Shimizu N. Age-related changes on bone regeneration in midpalatal suture during maxillary expansion in the rat. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:646-53

Melsen B. Limitation in adult orthodontics; 1991.

Matsuo K, Irie N. Osteoclast-osteoblast communication. *Archives of biochemistry and biophysics* 2008;473:201-9

Ren Y, Maltha JC, Van 't Hof MA, Kuijpers-Jagtman AM. Age effect on orthodontic tooth movement in rats. *J Dent Res* 2003;82:38-42

Hamilton RS, Gutmann JL. Endodontic-orthodontic relationships: a review of integrated treatment planning challenges. *International Endodontic Journal* 1999;32:343-360

Epker B N, Frost H M. Correlation of bone resorption and formation with physical behavior of loaded bone. *J Dent Res* 1965;44:33-41

Steigman S, Barad A, Michaeli Y. The effect of load duration on long-term recovery of the eruptive function in the rat incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:310-4

Abstract

A Micro CT study on the age-related changes in the bony recession induced by orthodontic tooth movement in rats

Jin-Wook Kim

Department of Dentistry

Graduate School, Yonsei University.

(Directed by Professor Kee-Joon Lee, D.D.S., Ph.D.)

Orthodontic tooth movement is induced by the bone remodeling of alveolar bone. Various side effects such as bone recession, however, may follow the excessive tooth movement over the limit of alveolar bone. Thus, this study divided the rats into young(12weeks) and adult(8~12months) groups constantly applying 40g of lateral force on central incisors to observe the pattern of bone recession according to age and time through Micro CT. The results are as follows.

1. The changes in the distance between the center of teeth($p<0.05$) and the suture width($p<0.001$) were greater significantly in the young group than those in the adult. In contrast, the change in the tooth displacement showed no significant difference between groups.

2. In the young group, an average of 0.82mm($p<0.05$) bony recession of outer cortical layer was shown in the first week, but the amount of recession gradually decreased displaying 0.61mm in the second and 0.18mm in the third week. In the adult group, the amount of bony recession of outer cortical layer was an average of 1.04mm($p<0.05$) in the first week gradually increasing to 1.50mm($p<0.001$) in the second and 1.54mm($p<0.001$) in the third week.

3. The bone volume, in the young group, decreased an average of 4.92mm³($p<0.001$) in the first week, but gradually recovered with time by 0.84mm³ decrease in the second and 0.12mm³ in the third week. In the adult group, the bone volume decreased an average of 5.08mm³($p<0.05$) in the first week, 4.00mm³ in the second, and 2.72mm³ in the third as the recovery pattern of the young group.

4. In the correlation analysis of each variable, significant correlation was found between the distance of tooth centers and the bone volume in the young ($p<0.001$) and the adult ($p<0.01$) groups in the second week. However, there were no significant correlations between the amount of bone recession and the other variables in both groups in any period of time.

The results verify that the compensatory bone formation occurs in the pressure side of cortical bone during the orthodontic tooth movement with more activity in the young group than in the adult. The reduced bone formation in the adult group is considered the limiting factor of the excessive tooth movement in the compromised treatment of skeletal malocclusion.

Key word : Central incisor of rat, Age, Quantitative analysis, Micro Computed Tomography (Micro CT), Bone recession, Compensatory bone formation