

Threshold 결정 방법에 따른
*micro-computed tomography*를
이용한 교정용 미니 임플란트 주위
골조직 형태분석의 유효성

연세대학교 대학원

치 의 학 과

이 성 호

Threshold 결정 방법에 따른
*micro-computed tomography*를
이용한 교정용 미니 임플란트 주위
골조직 형태분석의 유효성

지도 박 영 철 교수

이 논문을 박사 학위 논문으로 제출함

2007년 7월 일

연세대학교 대학원

치의학과

이 성 호

이성호의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2007년 7월 일

감사의 글

오늘을 허락하신 하나님께 영광과 존귀와 감사를 드립니다. 부족한 제가 이 논문을 완성하기까지 많은 조언과 지도를 해 주신 박영철 지도 교수님께 존경과 감사를 드립니다. 그리고 논문을 완성하기까지 조언과 격려를 아끼지 않으셨던 백형선 교수님, 김경호 교수님, 심준성 교수님, 정한성 교수님께도 존경과 감사를 드립니다.

또한 논문의 연구와 실험에 세심한 관심과 헌신적인 노력을 기울여 주신 차정열 교수님과 송진욱 선생님 그리고 교정학 교실 의국원 여러분께도 감사를 드립니다. 치과 이와이의 시작과 끝을 함께 할 내 친구이자 파트너 이영준 원장에게도 감사의 마음을 전합니다.

오늘의 제가 있기까지 길러주신 부모님과 논문을 위하여 기도와 한결같은 신뢰를 보내 주신 장인, 장모님, 외할머니께도 존경과 감사를 드립니다.

부족한 저를 믿고 함께 해 준 아내 지은이에게 항상 고맙고 사랑한다고 전합니다. 또한 이 작은 기쁨을 소중한 딸 유진이와 함께 나누고자 합니다.

2007년 7월

저자 씀

차 례

차례	v
그림 차례	vii
표 차례	viii
국문 요약	ix
I. 서론	1
II. 연구 재료 및 방법	4
가. 실험 동물과 실험 재료	4
나. 연구방법	4
다. 실험 동물의 희생	5
라. Micro-computed tomography의 촬영과 이미지 재구성	5
마. 조직 슬라이드의 제작	6
바. Threshold의 설정	7
사. 조직형태학적인 분석	8
아. 통계 분석	9
III. 연구 결과	10
가. Threshold의 비교	10
나. 골면적용(bone volume)	11
IV. 고찰	18
V. 결론	23

참고 문헌	25
Abstract	29

그림 차례

Fig. 1. Implantation site of orthodontic mini-implant	5
Fig. 2. Verification of the trabecular pattern on a histologic slide and micro-computed tomographic image	7
Fig. 3. Selection of threshold between bone and bone marrow	8
Fig. 4. Selection of threshold between bone and mini-implant	8
Fig. 5. Descriptive views of histological slide and microCT image for bone and mini-implant	17

표 차례

Table 1. Values of micro-computed tomographic scanning parameters	6
Table 2. Comparison of bone and implant threshold for automatic threshold and manual threshold	11
Table 3. Tests of Within-Subjects Contrasts for automatic threshold decision	12
Table 4. Comparison of bone volume for automatic threshold	12
Table 5. Pairwise comparisons for automatic threshold method in mandible	13
Table 6. Tests of Within-Subjects Contrasts for manual threshold decision	13
Table 7. Comparison of bone volume for manual threshold	14
Table 8. Comparison of BVhisto-BV2D for automatic and manual threshold	15
Table 9. Comparison of BVhisto-BV3D for automatic and manual threshold	15
Table 10. Comparison of Pearson correlation coefficient for each variable	16

국문 요약

Threshold 결정 방법에 따른 *micro-computed tomography*를 이용한 교정용 미니 임플란트 주위 골조직 형태분석의 유효성

Micro-computed tomography (microCT)의 이미지는 2, 3차원적 골조직 형태분석에 유용한 도구이다. 그러나 선속경화현상에 의한 감약계수의 변화로 허상이 생기게 되어 피, 수질골간의 명확한 구분이 어렵고, 교정용 임플란트처럼 고밀도 물질에서는 금속성 허상이 발생하게 되어 정확한 계측과 분석에 어려움을 초래할 수 있다. 이를 개선하기 위한 가장 중요한 요소는 threshold의 설정이며, 이에 따라 binary image에서 골, 골수강, 임플란트를 구분하고 분리하는 기준이 달라지므로 각각의 계측치에 많은 영향을 미친다.

본 연구는 조직시편과 일치하는 microCT 이미지에서 manual threshold (Manual-T)와 grey level에서 자동적으로 얻어지는 automatic threshold (Auto-T)를 통해서 골면적율(BV2D, BV3D)을 상, 하악에서 각각 측정하였고, 조직시편에서 얻어지는 골면적율(BVhisto)과 비교하여 threshold의 결정이 microCT의 골조직 형태분석에 미치는 영향과 유효성을 평가하고자 하였다. 12개월 된 12 Kg의 웅성 성견(Beagle Dog) 8마리의 상, 하악 협측골에 직경 1.8 mm, self-drilling 타입의 교정용 미니 임플란트(*ORLUS*, Ortholution CO., Seoul, Korea)를 총 96개 식립하고, 12주 후 microCT를 촬영하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Implant의 threshold는 bone의 threshold에 비해 상, 하악에서 높은 평균값을 가졌고, Auto-T와 Manual-T를 비교한 경우 유의성이 없었다.

2. Bone의 threshold는 Manual-T의 평균값이 Auto-T보다 증가하였고, 하악에서 Manual-T와 Auto-T를 비교한 경우 통계학적 유의성이 있었다 ($P < 0.01$). Manual-T에서 bone의 threshold는 상, 하악간의 유의성이 있었다 ($P < 0.01$).
3. Auto-T로 골면적율을 측정 시, 하악에서 BV2D와 BV3D의 평균값이 BVhisto보다 증가하였고, BV2D와 BVhisto간의 유의성이 있었다 ($P < 0.05$). 그러나 Manual-T로 측정 시 bone volume간의 유의성이 없었다.
4. Auto-T와 Manual-T에서 측정한 골면적율은 조직시편에서 측정한 골면적율과 높은 상관성을 보였다 ($P < 0.001$).

본 실험에서는 threshold의 결정방법에 따라서 골면적율(BV/TV)을 분석한 결과 threshold 값에 따라 골면적율에 차이가 있었으며, Manual-T 방식이 Auto-T 방식보다 더 유효한 골조직 분석을 가능케 하였다. 향후에는 관찰자 간의 분석이 가능하도록 optimal manual threshold를 결정하는 표준화된 기준을 정립하는 것이 필요할 것이다.

Threshold 결정 방법에 따른 *micro-computed tomography*를 이용한 교정용 미니 임플란트
주위 골조직 형태분석의 유효성

(지도 : 박 영 철 교수)

연세대학교 대학원 치의학과

이 성 호

I. 서 론

교정용 미니 임플란트의 사용으로 손쉽게 고정원을 얻음으로써 환자의 협조도 없이 효과적으로 다양한 치아의 이동을 가능하게 되었다 (Kanomi, 1997; 1998; Wehrbein 등, 1999; Park 등, 2004). 그러나 교정용 미니 임플란트를 고정원으로 사용하기 위해서는 무엇보다 식립 후에 안정성이 보장되어야 한다 (Deguchi 등, 2003; Carano 등, 2004).

보철용 임플란트와는 달리 교정용 임플란트의 안정성은 골과의 osseointegration 보다는 골과의 기계적인 결합에 의한 초기 고정력에 영향을 받는다고 알려져 있다. 이는 임플란트-골 계면 주위 조직의 생물학적인 특성에 의해 결정되며, 주로 조직형태학적인 분석에 의해 평가된다. 골의 조직형태학적인 계측을 통해 골 접촉률(bone implant contact)과 골면적율(bone volume)을 분석할 수 있으며 골소주 두께(trabecular thickness), 소주 분리도(trabecular separation)를 포함한 골구조에 대한 정량적 분석이 가능하다 (Rebaudi 등, 2004; Romanos 등, 2005). 전통적인 임플란트에 대한 골조직 형태학적인 분석은 절단된 시편을 이용하여 주로 2차원

적인 분석을 통해 이루어져왔다 (Roberts, 1988). 그러나 조직형태학적 분석에 필수적인 조직 시편의 미세분절 제작과정은 한 조직 시편에서 얻을 수 있는 절편의 수가 제한적이고 실패와 오차의 가능성이 있으며, 제작과정 자체가 조직시편을 파괴하기 때문에 추가적인 다른 방법의 측정이 불가능한 단점이 있다. 이방성(anisotropic)을 가지는 수질골의 특성과 3차원 구조의 임플란트를 고려할 때 한 절단면만을 관찰, 평가하는 2차원적 분석은 많은 한계를 가질 수밖에 없다 (Rebaudi 등).

최근에 미세조직에 대한 3차원적인 관찰이 가능한 micro-computed tomography (microCT)가 1980년부터 개발되어 임플란트의 안정성을 평가하기 위한 정량적인 골형태 분석이 이루어지고 있다 (Feldkamp 등, 1989; Graichen 등, 1999; Park 등, 2005; Stoppie 등, 2005). microCT를 사용하여 조직형태학적 정확한 분석을 빠르고 비파괴적으로 할 수 있으며 in vivo 상태에서도 가능하다 (Kuhn 등, 1990; Odgaard, 1997; Ruegsegger 등, 1996). 또한 골의 기계적인 특성과 밀접한 관련이 있는 3차원적인 분석도 가능케 한다. 그러나 microCT로 얻은 영상에서는 선속경화현상(beam hardening effect)에 의한 감약계수(attenuation coefficient)의 변화로 artifact가 생기게 되어 피질골과 수질골간의 명확한 구분이 어려운 점이 있다. 임플란트처럼 고밀도 물질에서는 줄무늬 모양(streak type)의 금속성 허상(metal artifact)이 발생하며 이는 정확한 계측과 분석에 어려움을 초래할 수 있다.

microCT와 조직슬라이드를 이용하여 임플란트와 골면적율의 조직계측학적 분석은 높은 상관관계를 가지고 있음이 보고되었으나 골접촉률의 분석은 임플란트 주위의 골 계면에서 나타나는 금속성 허상(metal artifact)에 의해서 정확한 분석이 어렵다고 보고되었다 (Muller 등, 1998; Stoppie 등, 2005). 금속성허상을 최소화하고 최적의 이미지를 얻기 위해서 Rebaudi 등(2004)은 16 μ m의 고해상도의 microCT를 이용하였다. 보다 선명하고 정확한 이미지를 얻고자 해상도의 향상과 촬영술식의 개발이 지속되고 있다.

microCT의 이미지와 조직표본간의 조직형태학적 측정이나 계측에 가장 중요한 요소는 threshold의 설정이다. threshold의 설정에 따라 binary image에서 골, 골수강, 임플란트를 구분하고 분리하는 기준이 달라지므로 각각의 계측치에 많은 영향

을 미친다 (Ding 등, 1999; Ruegsegger 등, 1996; Stoppie 등, 2005).

microCT로 얻은 이미지의 grey level 이 모두 다르기 때문에 교정용 미니 임플란트와 골을 구분하는 threshold를 골선율이 변화되는 점으로 잡아주는 automatic global threshold 방식을 모든 이미지에 적용하는 것은 계측치의 오차를 가져올 수 있다.

본 연구에서는 조직시편과 일치하는 microCT 이미지에서 manual threshold와 grey level에서 자동적으로 얻어지는 automatic threshold를 통해 골면적율을 상, 하악에서 각각 측정하고, 조직시편에서 얻어지는 골면적율과 비교하여 threshold의 결정이 microCT의 골조직 형태분석에 미치는 영향과 유효성을 평가하고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 실험 동물과 실험 재료

본 연구는 12개월 된 12 Kg의 옹성 성견(Beagle dog) 8마리를 대상으로 self-drilling 타입의 교정용 미니 임플란트(직경 1.8 mm, 길이 7 mm, *ORLUS*, Ortholution CO., Seoul, Korea)를 식립하였으며 이들의 구입, 선택, 관리 및 실험 술식 등은 연세의료원 실험동물 위원회(IRB)의 심의를 거쳤다. 한 개체 당 12개의 미니 임플란트(상악 6개, 하악 6개), 총 96개가 사용되었으며, acid etching 및 sand blasting으로 표면처리 된 Ti-6Al-4V 조성의 임플란트가 사용되었다.

나. 연구 방법

실험 동물에 Atropine 0.05 mg/Kg을 피하 주사하고, Rompun 2 mg/Kg과 Ketamine 10 mg/Kg을 정맥 주사하여 전신마취를 유도한 후 2% Enflurane으로 마취를 유지하였고 실험 동안 보온 패드(heating pad)로 체온을 유지하며 심전도를 관찰하였다. 또 미니 임플란트 식립 시, 식립 부위에 에피네프린(1:100,000)이 포함된 2% 염산 리도케인을 이용하여 침윤 마취도 함께 실시하였다.

미니 임플란트의 식립 위치는 하악에서 제 3, 4 소구치와 제 1 대구치의 근원심 치근 사이, 상악에서는 제 2, 3 소구치와 제 1 대구치의 근원심 치근 사이로 결정하였다 (Fig. 1). 식립 전에 5-10 mm의 잇몸 절개를 시행하였으며 식염수 관주하에 스크류의 나사산이 치조골에 완전히 들어가는 것을 확인하였다. 수직적으로 유리치는 경계부에서 치근단 방향으로 4-5mm 하방에 식립하여 상악에서는 치은 점막에 하악에서는 부착치은 부위에 식립하였다. 식립 후 3일간은 감염방지를 위해서 Cefazoline 10mg/kg을 투여하였으며 실험기간 동안 동물의 구강위생을 위해 클로로헥시딘 용액을 이용하여 매일 구강양치를 시행하였다.



Fig 1. Implantation site of orthodontic mini-implant.

다. 실험 동물의 희생

교정력을 계획한 기간 동안 부여한 후 실험 동물을 희생시키고, 조직을 절단하였다. 조직 슬라이드와 microCT 이미지를 일치시키기 위해 low-speed diamond wheel을 이용하여 미니 임플란트 헤드의 중심에 근, 원심으로 notch를 형성하였다. 그 후 미니 임플란트가 포함된 조직 블록을 채취하고 microCT 촬영 전까지 4% 포르말린 용액에 보관하였다.

라. *Micro-computed tomography*의 촬영과 이미지 재구성

본 실험에서 microCT의 촬영 및 재구성 방법은 김(2006)의 연구 방법을 적용하였다. 미니 임플란트 positioner로 조직시편을 위치시킨 후, 90° 간격으로 scout view를 촬영하여 scanning width와 alignment를 결정하였고 이 때 평균 감약 투과율(attenuation transmission)이 60%가 되도록 노출시간을 다시 설정하였다. Table 1의 촬영조건에 따라 Frame averaging을 3으로 설정하고 360° 회전 촬영하

였다. 모든 이미지는 10 Megapixel (4000 x 2300 x 12bit) cooled digital X-ray camera로 전송되어 2000 x 2096 pixel의 TIFF 파일로 저장되었다. 한 시편 당 400분의 scanning time이 소요되었다. 이미지 재구성 시 나사산 내경과 첩부에서 800 μm 거리를 갖도록 ROI (region of interest)를 설정하였고, 조직 슬라이드에서도 동일하게 설정하였다.

Table 1. Values of micro-computed tomographic scanning parameters

	Pre-set values
Filter	Al 0.5 mm + Cu 0.038 mm
Resolution	9 μm
Voltage	100 kV
Current	100 mA
Exposure Time	6479 ms
Rotation Step	0.6°

마. 조직 슬라이드의 제작

microCT 촬영 후, 조직 표본을 7일간 70-100% 점진적 고농도의 알코올로 탈수하고 hydroxyethyl methacrylate (Technovit 7200 VLC)로 포매한 후 광중합기를 이용하여 진공상태에서 경화시켰다. 임플란트 헤드에 형성된 notch와 미니 임플란트의 tip을 연결한 평면을 기준으로 diamond saw (Maruto, Japan)로 절단하여 hard tissue grinding system (Maruto, Japan)으로 100-110 μm 두께의 비탈회 표본을 제작하고 toluidine blue로 염색하였다.

바. *Threshold*의 설정

조직 슬라이드와 일치된 microCT 이미지는 CTAn ver 1.5 (*Skyscan*, Aartselaar, Belgium) 프로그램으로 골과 미니 임플란트에 대한 threshold를 각각 설정하여 binary image로 변환하였다. 골과 골수강의 구분을 위해 프로그램에 의해서 자동적으로 얻어지는 automatic global threshold 값을 설정하였다. 그리고 gray scale histogram의 intermediate level에서 조직 슬라이드의 형태와 정확히 일치하는 manual optimal threshold 값을 선정하였다. 두 가지의 threshold 계측치를 각각 automatic threshold와 manual threshold로 설정하였다. 골과 미니 임플란트의 대한 threshold는 미니 임플란트 주변의 금속성 허상이 미니 임플란트 영역에 포함되도록 설정하였다 (Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4).

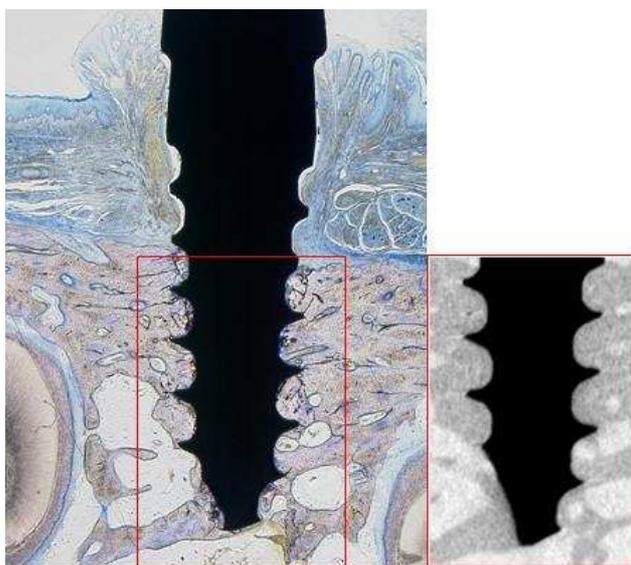


Fig 2. Verification of the trabecular pattern on a histologic slide (left) and micro-computed tomographic image (right).

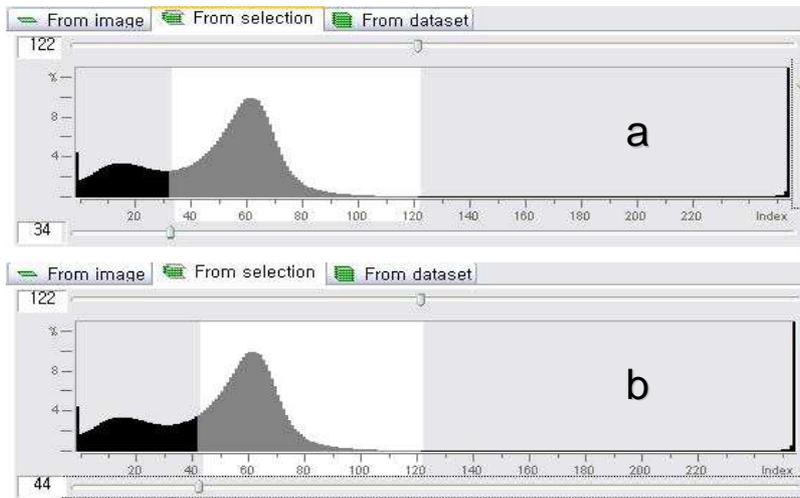


Fig. 3. Selection of threshold between of bone and bone marrow.
 (a) automatic threshold; (b) manual threshold.

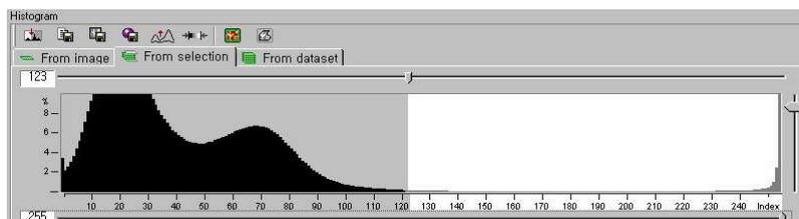


Fig. 4. Selection of threshold between bone and mini-implant.

사. 조직형태학적인 분석 (*Histomorphometric Analysis*)

1. *microCT analysis*

골면적율은 CTAn ver 1.5 프로그램으로 binary image의 ROI에서 미니 임플란트를 제외한 면적에 대한 골 부피를 측정하여 계산하였다. 골면적율은 조직 슬라이드와 microCT 이미지의 해면골 형태가 일치하는 시상 절편(sagittal slice)을 중심

으로, 조직 슬라이드의 두께(100-110 μm)와 동일하도록 12개 절편(108 μm , BV2D: 2차원 microCT 분석)에서 grey level을 automatic threshold와 manual threshold로 설정한 후 각각 측정하였다. 추가적으로 미니 임플란트 직경과 같은 200개의 절편(1800 μm , BV3D: 3차원 microCT 분석)에서도 automatic threshold와 manual threshold로 설정한 후 골면적율을 계측하였다.

2. *Histologic analysis*

조직 슬라이드를 광학 현미경하에서 100배로 촬영하여 BMP 파일로 저장하고 이를 Image-Pro Version 3.0 (Cybernetics Media, USA) 프로그램으로 ROI 내의 골면적율(BVhisto)를 측정하였다.

아. 통계 분석

SPSS Ver. 11 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램으로 상악과 하악을 구분하여 조직 슬라이드(BVhisto), 이와 동일한 두께의 microCT 이미지(108 μm , BV2D), 미니 임플란트 주위 골 전체를 반영하는 microCT 이미지(1800 μm , BV3D)를 automatic threshold와 manual threshold를 통해서 각각 골면적율의 평균과 표준편차를 구하고 t -test를 시행하였다. 그리고 BVhisto, BV2D, BV3D에 대한 유의성 분석을 위해서 repeated ANOVA 검증을 시행하였으며, 사후검정으로 least significant difference test를 시행하였다.

III. 연구 결과

가. *Threshold* 비교

microCT를 이용한 계측시 나타나는 gray level histogram에서 얻어지는 Automatic threshold (Auto-T)와 조직 시편 슬라이드와 일치된 microCT 이미지에 적용되는 manual threshold (Manual-T)를 상, 하악에서 계측하였다.

1. *Implant threshold*

Implant의 metal threshold는 상, 하악에서 높은 평균값을 가졌으며 상, 하악간의 유의성은 없었다. Auto-T와 Manual-T를 비교한 경우에서도 유의성이 없었다 (Table 2).

2. *Bone threshold*

상, 하악의 bone threshold에서는 Manual-T의 평균값이 Auto-T보다 증가하였다. 상악에서는 Manual-T와 Auto-T의 값 사이에 유의성이 없었으나, 하악에서는 Manual-T 평균값의 증가폭이 상악보다 커서 Auto-T와 Manual-T간에 유의성이 있었다 ($P < 0.01$). Auto-T에서는 상, 하악간의 유의성이 없었으며 Manual-T에서는 상, 하악간의 유의성이 있었다 ($P < 0.01$)(Table 2).

Table 2. Comparison of bone and implant threshold for automatic threshold and manual threshold

	Bone Threshold					Implant Threshold				
	Auto-T		Manual-T		Sig	Auto-T		Manual-T		Sig.
	Mean	SD	Mean	SD		Mean	SD	Mean	SD	
Maxilla (n=48)	38.7	6.0	40.6	7.0	<i>NS</i>	131.0	9.7	131.0	9.7	<i>NS</i>
Mandible (n=48)	38.6	4.7	44.3	3.5	**	131.6	11.3	131.4	11.4	<i>NS</i>
Sig.	<i>NS</i>		**			<i>NS</i>		<i>NS</i>		

Auto-T; automatic threshold, Manual-T; manual optimal threshold.

Statistical significance; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, *NS*; not significant.

나. 골면적용(*bone volume*)

조직시편에서 측정 한 골면적용(BVhisto)과 microCT를 이용하여 조직시편 일치하게 automatic threshold와 manual threshold로 측정 한 골면적용(BV2D, BV3D)을 상, 하악에서 계측하였다.

1. BVhisto, BV2D, V3D의 골면적용

Auto-T로 측정 시 상, 하악에서 BV2D와 BV3D의 평균값이 BVhisto보다 증가하였다. 그리고 하악에서는 분석방법에 따라 유의한 차이가 관찰되었고, 사후검증을 통해서 BVhisto와 BV2D 사이에서 유의한 차이가 있었다 ($P < 0.05$)(Table 3, Table 4, Table 5). 그러나 Manual-T로 측정 한 경우, BV2D와 BV3D의 평균값과 BVhisto의 평균값간의 비교에서는 통계학적 유의성이 없었다 (Table 6, Table 7).

Auto-T와 Manual-T로 측정된 BVhisto, BV2D, BV3D의 평균값을 상, 하악으로 비교한 경우, BVhisto와 BV2D에서 통계학적 유의성이 있었으며 ($P < 0.01$), BV3D에서도 높은 유의성이 있었다 ($P < 0.001$). Auto-T에서 측정된 BV2D와 BV3D의 평균값은 Manual-T로 측정된 경우보다 높았다 (Table 4, Table 7).

Table 3. Tests of Within-Subjects Contrasts for automatic threshold decision

Position	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Maxilla (n=48)	Method	96.498	1	96.498	3.349	.077
	Error (method)	864.453	47	28.815		
Mandible (n=48)	Method	156.934	1	156.934	4.689	.041*
	Error (method)	769.760	47	33.468		

Statistical significance was determined by repeated ANOVA test; * $p < 0.05$.

Table 4. Comparison of bone volume for automatic threshold

	BVhisto (%)		BV2D (%)		BV3D (%)		Sig.
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Maxilla (n=48)	48.5	14.2	52.7	16.4	51.2	13.5	<i>NS</i>
Mandible (n=48)	65.7	14.9	71.3	18.3	69.7	15.8	*
Sig.	**		**		***		

BVhisto; bone volume of the histologic slide, BV2D; bone volume of microCT image with the same thickness of its histologic slide, BV3D; bone volume of microCT image that covers bone all around the mini-implant.

Statistical significance of BVhisto, BV2D & BV3D was determined by repeated ANOVA test; * $p < 0.05$.

Statistical significance of Mx. & Mn. was determined by *t*-test; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, *NS*; not significant.

Table 5. Pairwise comparisons for automatic threshold method in mandible

(I) Method	(J) Method	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference (a)	
					Lower Bound	Upper Bound
BVhisto	BV2D	-4.701	2.258	.049*	-9.372	-0.030
	BV3D	-3.139	2.271	.180	-7.836	1.558
BV2D	BVhisto	4.701	2.258	.049*	.030	9.372
	BV3D	1.562	1.289	.238	-1.105	4.230
BV3D	BVhisto	3.139	2.271	.180	-1.558	7.836
	BV2D	-1.562	1.289	.238	-4.230	1.105

* The mean difference is significant at the .05 level.

a Adjustment for multiple comparisons: least significant difference test (equivalent to no adjustment)

Table 6. Tests of Within-Subjects Contrasts for manual threshold decision

Position	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Maxilla (n=48)	Method	.906	1	.906	.032	.860
	Error (method)	974.567	47	28.664		
Mandible (n=48)	Method	22.944	1	22.944	.687	.414
	Error (method)	1035.855	47	33.415		

Statistical significance was determined by repeated ANOVA test; * $p < 0.05$.

Table 7. Comparison of bone volume for manual threshold

	BVhisto (%)		BV2D (%)		BV3D (%)		Sig.
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Maxilla (n=48)	48.5	14.2	47.4	11.1	47.2	8.1	<i>NS</i>
Mandible (n=48)	65.7	14.9	65.1	12.8	63.6	13.1	<i>NS</i>
Sig.	**		**		***		

BVhisto; bone volume of the histologic slide, BV2D; bone volume of microCT image with the same thickness of its histologic slide, BV3D; bone volume of microCT image that covers bone all around the mini-implant.

Statistical significance of BVhisto, BV2D & BV3D was determined by repeated ANOVA test; * $p < 0.05$.

Statistical significance of Mx. & Mn. was determined by t -test; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, *NS*: not significant.

2. BVhisto-BV2D, BVhisto-BV3D의 골면적율

BVhisto의 평균값에서 BV2D의 평균값을 차감한 값(BVhisto-BV2D)을 Auto-T와 Manual-T에서 측정하였다. 각각을 상, 하악으로 비교한 경우 통계학적 유의성은 없었다. BVhisto-BV2D의 값을 Auto-T와 Manual-T로 비교한 경우 상악에서 유의성이 있었으며 ($P < 0.05$) 하악에서도 유의성이 있었다 ($P < 0.01$)(Table 8).

BVhisto의 평균값에서 BV3D의 평균값을 차감한 값(BVhisto-BV3D)을 상, 하악으로 비교한 경우에서도 통계학적 유의성은 없었으나, Auto-T와 Manual-T로 비교한 경우 상, 하악에서 모두 유의성이 있었다 ($P < 0.01$)(Table 9).

3. 각 변수들간의 상관관계 분석

조직시편의 골면적율(BVhisto), Auto-T에서 측정한 골면적율(BV2D-A, BV3D-A)과 Manual-T에서 측정한 골면적율(BV2D-M, BV3D-M)의 상관관계 분석 결

과 상관계수는 모두 통계학적으로 유의한 관련성을 보였다 ($P < 0.001$)(Table 10).

Table 8. Comparison of BVhisto-BV2D for automatic and manual threshold

	<i>BVhisto - BV2D (%)</i>				
	Auto-T		Manual-T		Sig.
	Mean	SD	Mean	SD	
Maxilla (n=48)	-2.8	8.3	0.6	8.9	*
Mandible (n=48)	-4.7	11.1	-0.5	11.7	**
Sig.	<i>NS</i>		<i>NS</i>		

BVhisto; bone volume of the histologic slide, BV2D; bone volume of microCT image with the same thickness of its histologic slide, Auto-T; automatic threshold, Manual-T; manual optimal threshold.

Statistical significance; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, *NS*; not significant.

Table 9. Comparison of BVhisto-BV3D for automatic and manual threshold

	<i>BVhisto - BV3D (%)</i>				
	Auto T		Manual T		Sig.
	Mean	SD	Mean	SD	
Maxilla (n=48)	-1.2	6.8	0.9	7.9	**
Mandible (n=48)	-3.1	11.1	1.0	11.2	**
Sig.	<i>NS</i>		<i>NS</i>		

BVhisto; bone volume of the histologic slide, BV3D; bone volume of microCT image that covers bone all around the mini-implant, Auto-T; automatic threshold, Manual-T; manual optimal threshold.

Statistical significance; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, *NS*; not significant.

Table 10. Comparison of Pearson correlation coefficient for each variable

<i>Bone Volume (%)</i>		<i>BVhisto</i>	<i>BV2D-A</i>	<i>BV3D-A</i>	<i>BV2D-M</i>	<i>BV3D-M</i>
<i>BVhisto</i>	Correlation	1.00	0.87	0.86	0.84	0.83
	Sig	.	***	***	***	***
<i>BV2D-A</i>	Congelation	0.87	1.00	0.95	0.95	0.91
	Sig	***	.	***	***	***
<i>BV3D-A</i>	Correlation	0.86	0.95	1.00	0.92	0.95
	Sig	***	***	.	***	***
<i>BV2D-M</i>	Correlation	0.84	0.95	0.92	1.00	0.96
	Sig	***	***	***	.	***
<i>BV3D-M</i>	Correlation	0.83	0.91	0.95	0.96	1.00
	Sig	***	***	***	***	.

BVhisto; bone volume of the histologic slide, *BV2D-A*; bone volume of microCT image with the same thickness of its histologic slide for autoamtic threshold, *BV3D-A*; bone volume of microCT image that covers bone all around the mini-implant for autoamtic threshold, *BV2D-M*; bone volume of microCT image with the same thickness of its histologic slide for manual threshold, *BV3D-M*; bone volume of microCT image that covers bone all around the mini-implant for manual threshold.

Statistical significance; *** $p < 0.001$, Pearson-Correlatoin is significant at the 0.01 level (2-tailed).

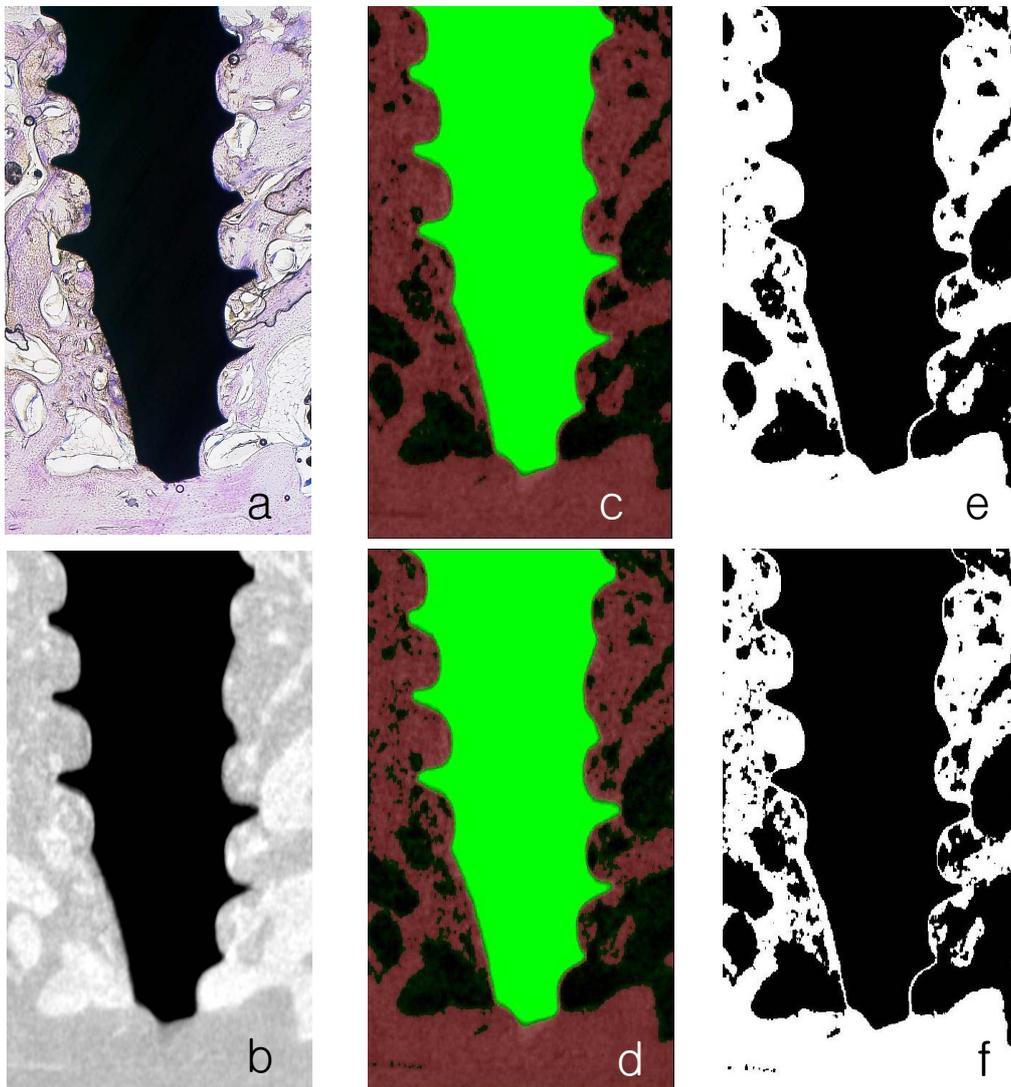


Fig 5. Descriptive views of histologic slide and microCT image for bone and mini-implant. (a) histologic slide; (b) reconstructed microCT image; (c) superimposition at automatic threshold; (d) superimposition at manual threshold; (e) binary image at automatic threshold; (f) binary image at manual threshold.

IV. 고찰

교정용 미니 임플란트의 사용은 교정치료만으로 불가능하고 외과적인 수술이 동반되어야만 했던 치료방식을 보다 빠르고, 단순하게 하여 더 좋은 치료결과를 가져오게 하였다. 특히 절대고정원을 이용한 교정치료가 가능해져 환자의 협조도 없이도 좋은 치료 결과를 가져올 수 있게 되어 교정용 미니 임플란트의 안정성은 교정치료의 결과에 큰 영향을 미치게 되었다. 이에 대한 안정성에 관한 연구는 주로 조직시편을 이용한 2차원적인 조직분석 방법을 많이 사용하여 왔다.

최근에는 microCT의 개발과 발전으로 교정용 미니 임플란트와 임플란트의 안정성 연구에 microCT가 중요한 방법으로 이용되고 있다. microCT를 통해서 biopsy 없이도 살아있는 생명체내에 있는 해면골이나 피질골 및 기타 주변물질 등의 분석을 비파괴적으로 정확하고 빠르게 할 수 있다. microCT로 얻어진 이미지는 등방성(isotropic)이기 때문에 어떤 평면에서도 2차원적 재구성이 가능하고 3차원적인 형태 분석 또한 가능하다. 이를 통해서 bone의 강도나 정량분석도 할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 아직도 microCT의 이미지에 영향을 미치는 요소가 많아 얻어진 상의 정확성을 완전히 신뢰하기는 어렵다.

해상도(resolution)는 2차원적인 크기의 pixel이나 3차원 크기의 voxel로 결정되는데 본 연구의 해상도는 $9\mu\text{m}$ 로 비교적 높았다. 높은 해상도의 microCT의 이미지를 얻기 위해서는 Voltage (kVp)를 높이고 Current (mAs)를 낮추거나 단면 두께나 얇아야 한다. 그러나 in vivo 상태에서는 조직시편을 만들 수도 없고, living tissue에 흡수되는 radiation dose를 줄여야 하므로 어려움이 있다.

microCT를 통하여 얻어진 예에서는 선속경화현상(beam hardening effect)에 의한 허상(artifact)을 관찰할 수 있다. 이상적인 grey level histogram에서 X-ray beam은 단지 임플란트와 bone 그리고 non-bone material의 농도에만 영향을 받는다고 생각할 수 있으나, 실제로는 선속경화현상에 의한 영향을 많이 받게 된다. 선속경화현상이란 X-ray선을 사용하는 모든 장치에서는 선속의 각 광자에너지가 동일한 단색선(monochromatic X-ray beam)이라고 가정하여 계산을 행한다. 그러나 실제

X-ray선은 다색선(polychromatic X-ray beam)의 특성을 갖는다. 이로 인해 X-ray선이 피사체를 통과할 때 낮은 에너지의 X-ray선은 우선적으로 피사체 내에 흡수되어 상대적으로 높은 에너지가 통과하는 피사체의 중심부에서는 주변부보다 검게 나타난다. 그리고 임플란트와 bone 그리고 non-bone material 사이의 경계부에서는 두 물질이 혼재하는 부분체적 효과에 의한 허상(partial volume artifact)이 존재한다.

이러한 현상들이 없다면 bimodal grey level histogram의 중심점을 automatic global threshold로 결정할 수 있으나, 선속경화현상에 의한 비직선적인 감약현상(non-linear attenuation effect)과 부분체적 효과에 의해서 발생하는 허상이 영상 프로세서에서 보상되지 않는다면, microCT 값의 왜곡현상이 발생할 수 있다.

microCT를 이용한 임플란트와 골조직의 형태분석에서는 줄무늬 모양(streak)의 금속성 허상(metal artifact)을 관찰할 수 있으며, Rebaudi 등(2004)은 45 μ m, Stoppie 등(2005)은 60 μ m의 금속성 허상을 보고하였다. 본 논문에서도 45 μ m의 허상이 관찰되었다. 금속성 허상은 선속경화현상과 부분체적 효과현상에 의해서 발생되며thread 형태의 임플란트의 침부에서 발생하는 2차적인 radiation의 noise와 산란(scatter)에서도 기인된다. 이를 개선하기 위해서 Bernhardt 등(2005)은 0.5mm의 알루미늄과 구리로 이루어진 metal filter를 사용하였고 본 연구에서도 metal filter를 사용하였다.

microCT의 정확한 이미지를 얻기 위해서 가장 중요한 것은 grey level histogram에서 threshold를 설정하는 것이다. 설정된 threshold 값으로 임플란트와 bone을, bone에서도 수질골, 피질골 그리고 background material을 segmentation한 후 골조직의 형태와 정량을 분석을 하기 때문이다. 일반적인 automatic global threshold로 얻어진 정량분석 방법은 쉽고, 편리하고, 관찰자와 상관없이 재현성이 있는 장점이 있다. 고해상도의 이미지와 homogeneous한 구조를 가진 조직 또는 실제 volume을 알고 있는 경우에는 manual 방식의 optimal threshold로 얻어진 정량분석과 큰 차이가 없을 것이다. 그러나 실제적으로는 선속경화현상, 부분체적 효과, noise 등에 의하여 임플란트의 금속성 허상, cortical bone의 확대, 및 thin trabecular pattern의 상실 등이 초래되어 정확한 값을 구하기 어렵게 된다. 이로

인해 실제 값과의 차이 및 오차가 생기게 되어 다른 결과를 가져오게 된다. 본 연구에서도 상, 하악의 bone threshold 값을 비교한 결과 automatic threshold에서는 상, 하악간의 유의성이 없었다. 그러나 조직시편의 형태와 일치하도록 설정한 manual threshold에서는 상, 하악간의 유의성을 보였으며 상악에서 각각 40.6, 하악에서는 44.3으로 측정되었다. 이 결과는 해부학적인 형태와 위치가 다른 경우에는 개별적인 optimal threshold가 요구될 수도 있음을 의미한다. 또한 상, 하악의 manual threshold 값이 automatic threshold 값보다 증가한 이유는 조직시편의 중간부위에 고밀도의 임플란트가 존재하기 때문에 선속경화현상이 더욱 강화되기 때문이라고 사료된다. 즉 임플란트가 없는 경우에는 중심부에서 더 많은 X-ray beam이 투과되어 농도가 낮은 해면골, 미성숙골, osteoid 등은 검게 나타나게 되어 manual threshold의 값이 보다 낮게 설정될 수 있지만, 임플란트라는 고밀도의 금속이 존재하기 때문에 주변부의 밀도가 높은 bone의 이미지가 더욱 확대되어 보일 수 있어서 해면골이 많은 상악에서조차도 manual threshold 값이 높게 측정되었다고 사료된다.

Stoppie 등(2005)은 5%의 threshold 차이가 4%의 bone volume의 차이를 보였다고 보고하였고, Ruegseggar 등(1996)과 Giesen 등(2000)은 각각 10%와 5%의 threshold 차이가 5%와 7.9%의 bone volume의 차이를 나타냈다고 보고하였다. 본 연구에서도 상, 하악에서 측정된 manual threshold 값이 automatic threshold 값보다 각각 5%, 14.8% 증가하였으며, 이때 automatic threshold에서 얻어진 상, 하악의 골면적율(BV2D-A)은 manual threshold에서 얻어진 골면적율(BV2D-M)보다 각각 11%, 9.5% 증가하였다. 또한 automatic threshold에서 얻어진 3차원적 골면적율(BV3D-A)은 상, 하악에서 manual threshold에서 얻어진 3차원적 골면적율(BV3D-M)보다 각각 8.5%, 9.6% 증가하였다. 즉 결정되는 threshold의 값이 골면적율 측정에 중요한 요소임을 알 수 있었다.

보다 정확한 골면적율의 측정을 위해서 Ding 등(1999)은 Archimedes' principle에 의한 flood filling 방법을 이용하여 BV/TV를 맞추는 adaptive threshold를 사용하였으며, Dufresne (1998)은 segmentation의 이웃 경계부에서 local threshold의 값을 구하여 정량분석을 하였다. 그러나 이 방법은 해상도가 떨어지는 경우에 계

측하기 어려운 점이 있었다. 이를 개선시키고자 Waarsing 등(2004)은 standard edge detection algorithm으로 noise를 줄이는 방식을 통해서 결정된 local threshold 값으로 정량분석을 하였다. 이 연구들의 결과는 local manual threshold 방식으로 계측된 골 정량분석이 global automatic threshold 방식보다 더 정확함을 나타냈다.

Rebaudi 등(2004)은 grey level의 intermediate 값을 threshold로 정하였고 이때 microCT에서 골면적율이 3% 감소한다고 보고하였다. automatic threshold를 이용한 Stoppie 등(2005)에서는 골면적율이 8% 증가한다고 보고하였다. Ding 등(1999)과 Dufresne (1998)에서는 각각 adaptive threshold와 local threshold로 골면적율을 측정한 결과는 global threshold 보다 각각 7.2%, 2.6% 증가한다고 보고하였다.

본 연구에서는 automatic threshold로 측정된 골면적율(BV2D, BV3D)을 조직시편에서 얻어진 골면적율(BVhisto)과 비교한 경우 상악에서는 각각 8.7%, 5.6% 증가하였고, 하악에서도 8.5%, 6.0% 증가하였다. 또한 하악에서는 분석방법에 따라 유의한 차이가 관찰되었고, 사후검증을 통해서 BVhisto와 BV2D 사이에서 유의한 차이가 있었다. 비록 상악에서는 유의한 차이가 없었으나, 사후검정 시 $P=0.077$ 로 유의수준에 가까웠다. 상악의 개체 수가 조금 더 증가되었다면 유의성이 있는 결과가 나왔을 것이다. 그러나 조직시편의 형태와 일치하게 설정한 manual threshold에서 측정된 골면적율과의 비교에서는 유의성을 보이지 않았으며, 약간 평균값이 감소하는 결과를 보였다. 또한 manual threshold와 automatic threshold로 계측한 각각의 골면적율을 상악과 하악으로 비교한 경우에는 모두 유의성이 있었다. 이러한 결과는 manual threshold 방식으로 계측한 골면적율이 automatic threshold로 측정된 골면적율보다 정확하다고 주장하는 논문들의 내용과 일치한다(Ding 등, 1999; Dufresne 등, 1998; Waarsing 등, 2004).

각각의 변수들의 상관관계를 분석한 결과 상당히 높은 유의성을 보였다. 이는 manual threshold나 automatic threshold 방식으로 구한 모든 골면적율 들이 일정한 비율로 확대되거나 감소하는 결과를 의미한다. 본 연구처럼 높은 해상도의 microCT로 작은 부위의 이미지를 얻은 경우에는 두 threshold간에 높은 상관관계가 존재할 수 있다고 사료된다. 그러나 낮은 해상도의 microCT로 이미지를 얻

은 경우나 두꺼운 cortex나 얇은 trabecular pattern이 혼재하는 이미지에서는 manual threshold 방식이 보다 정확한 평가를 가능케 하리라 사료된다.

본 연구에서 기존 연구와의 차이점은 임플란트처럼 고밀도의 물질이 bone 중심부에 함께 존재하는 경우에 manual threshold와 automatic threshold 방법에 따라서 segmentation을 시행한 후 골조직의 형태를 분석하고 선경화현상에 의한 허상과 임플란트에 의한 금속성 허상에 의하여 발생할 수 있는 골면적율의 변화량과 두 threshold간의 상관관계를 상, 하악에서 함께 평가했다는 점이다.

본 실험은 조직시편과 일치하는 microCT 이미지에서 manual threshold와 grey level에서 자동적으로 얻어지는 automatic threshold를 통해 골면적율을 측정하였고, 조직시편에서 얻어지는 골면적율과 비교하여 manual threshold와 automatic threshold가 microCT의 골조직 형태분석에 미치는 영향과 유효성을 평가하고자 하였다. 또한 microCT의 장점인 3차원적인 분석을 동시에 시행하였다.

이를 통하여 manual threshold 방식이 automatic threshold 방식보다 더 유효한 골조직 분석을 가능케 한다고 할 수 있었다. 그러나 manual threshold 방식은 주관적인 방식으로 결정되는 값이므로 다른 계측치들과 비교하는데 어려움이 있다. 향후에는 보다 정확한 연구를 위해서 manual threshold를 결정하는 표준화된 기준을 정립하는 것이 필요할 것이다. 임플란트처럼 고밀도의 물질이 존재하여 고해상도의 microCT 이미지가 요구되는 연구에서는 허상을 최소화하기 위해서 thread 형태보다는 실린더 형태의 임플란트나 아주 얇은 titanium으로 coating된 polyethylene 임플란트를 이용하는 것이 보다 정확한 연구결과를 가져올 것이며, 또한 bone contrast를 극대화하기 위한 연구도 필요할 것이다. 그리고 voltage와 hardware filter처럼 microCT의 optimal setting 기준을 정립하는 연구도 필요할 것이다. 3차원적인 분석에서는 Archimedes의 원리를 이용한 flood filling 방법으로 구해진 정량분석과 비교하는 것도 보다 정확한 microCT의 3차원적 연구를 가능케 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 조직시편과 일치하는 micro-computed tomography 이미지에서 manual threshold (Manual-T)와 grey level에서 자동적으로 얻어지는 automatic threshold (Auto-T)를 통해서 골면적율(BV2D, BV3D)을 상, 하악에서 각각 측정하였고, 조직시편에서 얻어지는 골면적율(BVhisto)과 비교하여 threshold의 결정이 microCT의 골조직 형태분석에 미치는 영향과 유효성을 평가하고자 하였다. 12개월 된 12 Kg의 웅성 성견(Beagle Dog) 8마리의 상, 하악 협측골에 직경 1.8 mm, self-drilling 타입의 교정용 미니 임플란트(*ORLUS*, Ortholution CO., Seoul, Korea)를 총 96개 식립하고, 12주 후 microCT를 촬영하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Implant의 threshold는 bone의 threshold에 비해 상, 하악에서 높은 평균값을 가졌고, Auto-T와 Manual-T를 비교한 경우 유의성이 없었다.
2. Bone의 threshold는 Manual-T의 평균값이 Auto-T보다 증가하였고, 하악에서 Manual-T와 Auto-T를 비교한 경우 통계학적 유의성이 있었다 ($P < 0.01$). Manual-T에서 bone의 threshold는 상, 하악간의 유의성이 있었다 ($P < 0.01$).
3. Auto-T로 골면적율을 측정 시, 하악에서 BV2D와 BV3D의 평균값이 BVhisto보다 증가하였고, BV2D와 BVhisto간의 유의성이 있었다 ($P < 0.05$). 그러나 Manual-T로 측정 시 bone volume간의 유의성이 없었다.
4. Auto-T와 Manual-T에서 측정한 골면적율은 조직시편에서 측정한 골면적율과 높은 상관성을 보였다 ($P < 0.001$).

본 실험에서는 threshold의 결정방법에 따라서 골면적율(BV/TV)을 분석한 결과 threshold 값에 따라 골면적율에 차이가 있었으며, Manual-T 방식이 Auto-T 방식보다 더 유효한 골조직 분석을 가능케 하였다. 그러나 Manual-T 방식에서도 선속경화현상에 의한 허상을 완전히 제거 할 수는 없었다. 향후에는 관찰자 간의 분석이 가능하도록 optimal manual threshold를 결정하는 표준화된 기준을 정립하는 것이 필요할 것이다.

참고 문헌

- 김태경 : Micro-computed tomography를 이용한 교정용 미니 임플란트 골계면 분석의 유효성. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2006
- 임중기 : 교정용 미니 임플란트 식립 후 부하시기별 골 조직형태에 대한 micro-computed tomography와 조직분석 간의 비교. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2007
- Akca K, Chang TL, et al. : Biomechanical aspects of initial intraosseous stability and implant design: a quantitative micro-morphometric analysis. Clin Oral Implants Res 17(4): 465-72, 2006
- Bernhardt R, Scharnweber D, et al. : Comparison of microfocus- and synchrotron X-ray tomography for the analysis of osteointegration around Ti6Al4V implants. Eur Cell Mater 7: 42-51, 2004
- Bernhardt R, van den Dolder J, et al. : Osteoconductive modifications of Ti-implants in a goat defect model: characterization of bone growth with SR muCT and histology. Biomaterials 26(16): 3009-19, 2005
- Burr D : Microdamage and bone strength. Osteoporosis Int 14: S67-S72, 2003
- Burr D, Turner CH, et al. : Does microdamage accumulation affect the mechanical properties of bone? J Biomech 31(4): 337-345, 1998
- Carano A, Velo S, et al. : Clinical applications of the Mini-Screw-Anchorage-System (M.A.S.) into the maxillary alveolar bone. Prog Orthod 5(2): 212-235, 2004
- Costa A, Raffaini M, et al. : Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 13(3): 201-9, 1998
- David V, Laroche N, et al. : Noninvasive in vivo monitoring of bone architecture alterations in hindlimb-unloaded female rat using novel three-dimensional microcomputed tomography. J Bone Miner Res 18:

1622-31, 2003

- Deguchi T, Nasu M, et al. : Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129(6): 721. e7-12, 2006
- Ding M, Odgaard A, et al. : Accuracy of cancellous bone volume fraction measured by micro-CT scanning. *J Bio-mech* 32: 323-6, 1999
- Dufresne T : Segmentation techniques for analysis of bone by three-dimensional computed tomographic imaging. *Tech Helth Care* 6: 351-9, 1998
- Feldkamp LA, Goldstein SA, et al. : The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. *J Bone Miner Res.* 4(1): 3-11, 1989
- Giesen EB, Eijden TM : The three-dimensional cancellous bone architecture of the human mandibular condyle. *J Dent Res* 79: 957-63, 2000
- Garetto LP, Chen J, et al. : Remodeling dynamics of bone supporting rigidly fixed titanium implants: a histomorphometric comparison in four species including humans. *Implant Dent* 4(4): 235-43, 1995
- Graichen H, Lochmuller EM, et al. : A non-destructive technique for 3-D microstructural phenotypic characterization of bones in genetically altered mice: preliminary data in growth hormone transgenic animals and normal controls. *Anat Embryol (Berl)* 199(3): 239-48, 1999
- Hara T, Tanck E, et al : The influence of microcomputed tomography threshold variation on the assessment of structure and mechanical trabecular bone properties. *Bone* 31: 107-9, 2002
- Heidemann W, Terheyden H, et al. : In vivo studies of screw-bone contact of drill-free screws and conventional self-tapping screws. *Mund Kiefer Gesichtschir* 5(1): 17-21, 2001
- Hildebrand T, Ruegsegger P : Quantification of boen micro-architecture with

- the structure model index. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 1: 15-23, 1997
- Kanomi R : Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31(11): 763-7, 1997
- Kiba H, Hayakawa T, et al. : Potential application of high-resolution microfocus X-ray techniques for observation of bone structure and bone-implant interface. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18(2): 279-85, 2003
- Kinney J, Lane, et al. : In vivo, three dimensional microscopy of trabecular bone. *J Bone Miner Res* 10: 264-70, 1995
- Kuhn JL, Goldstein SA, et al : Evaluation of a microcomputed tomography system to study trabecular bone structure. *J Orthop Res*(8): 833-42, 1990
- Laib A, Ruegsegger P : Comparison of structure extraction methods for in vivo trabecular bone measurements. *Comput Med Imaging Graph* 23:69-74, 1999
- Muller R, Van Campenhout H, et al. : Morphometric analysis of human bone biopsies: a quantitative structural comparison of histological sections and micro-computed tomography. *Bone* 23(1): 59-66, 1998
- Odgaard A : Three-dimensional methods for quantification of cancellous bone architecture. *Bone* 20: :315-28, 1997
- Odgaard A, Gundersen HJ : Quantification of connectivity in cancellous bone with special emphasis on 3-D reconstructions. *Bone* 14: 173-182, 1993
- Park HS, Kwon TG : Sliding mechanics with microscrew implant anchorage. *Angle Orthod* 74(5): 703-10, 2004
- Park YS, Yi KY, et al. : Correlation between microtomography and histomorphometry for assessment of implant osseointegration. *Clin Oral Implants Res* 16(2): 156-60, 2005
- Rebaudi A, Koller B, et al. : Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent* 24(4): 316-25, 2004

- Roberts WE : Bone tissue interface. J Dent Educ 52(12): 804-9, 1988
- Romanos GE, Testori T, et al. : Histologic and histomorphometric findings from retrieved, immediately occlusally loaded implants in humans. J Periodontol 76(11): 1823-32, 2005
- Rueggegger P, Koller B, et al. : A microtomographic system for the nondestructive evaluation of bone architecture. Calcif Tissue Int 58: 24-9, 1996
- Sharp D, Tanner KE, et al. : Measurement of the density of trabecular bone. J Biomech 23 : 853-7, 1990
- Stoppie N, van der Waerden JP, et al. : Validation of microfocus computed tomography in the evaluation of bone implant specimens. Clin Implant Dent Relat Res 7(2): 87-94, 2005
- Van Oossterwyck H, Duyck J, et al. : Use of microfocus computerized tomography as a new technique for characterizing bone tissue around oral implants. J Oral Implantol 26(1): 5-12, 2000
- Waarsing JH, Day JS, et al. : An improved segmentation method for in vivo microCT imaging. J Bone Miner Res 19(10): 1640-50, 2004
- Wehrbein H, Feifel H, et al. : Palatal implant anchorage reinforcement of posterior teeth: A prospective study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 116(6): 678-86, 1999
- Wolf E, Pompe B : Rational simplified plastic embedding with polymethacrylate for non-decalcified bone sections. Z Gesamte Inn Med 35(13): 561-4, 1980

Abstract

The validation of histomorphometric analysis of bone structure around orthodontic mini-implant using microCT according to the determination of optimal threshold level

Song Ho Lee

Department of Dentistry, The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Young-Chel Park D.D.S., M.S.D., Ph.D.)

The purpose of this study was to validate the histomorphometric analysis of bone structure around orthodontic mini-implant using microCT (*Skyscan 1076*, Skyscan, Aartselaar, Belgium) according to the determination method of optimal threshold level. The optimal thresholds of bone and implant objects were determined by automatic (Auto-T) and manual threshold (Manual-T) methods. By each threshold level, bone volume (BV2D, BV3D) was calculated and it was compared with bone volume from histologic slide. 96 orthodontic mini-implants (*ORLUS*, Ortholution CO., Korea) were placed in the buccal jaw bone of 8 beagle dogs. After 12 weeks, micro-computed tomogram of the excised specimens were preformed. The obtained results were as follows:

1. For both Auto-T and Manual-T method, the threshold of implant was higher than that of bone structure, showing no difference between Auto-T and Manual-T method.
2. The threshold of bone structure was significantly higher in Manual-T

compared with Auto-T for mandible ($P < 0.01$). For Manual-T method, there was significant difference in bone threshold between maxilla and mandible ($P < 0.01$).

3. For Auto-T method, the mean BV2D and BV3D were significantly higher than the mean BVhisto for mandible, and there was significant difference between BV2D and BVhisto ($P < 0.05$), but for Manual-T method, there was no significant difference between microCT and histologic analysis.
4. Both Auto-T and Manual-T methods showed significant high correlation with histologic analysis for measuring bone volume ($P < 0.001$).

According to the determination of optimal threshold in microCT, Manual-T method was found to have higher agreement with histologic analysis compared with Auto-T. However, the artifact image in bone structure around orthodontic mini-implant using microCT could not be deleted due to beam hardening effect for both methods. Further study should be followed for making standard method for getting high reliability of Manual-T.

Key words : beam hardening effect, optimal threshold, micro-computed tomography, bone volume