

Micro-computed tomography를
이용한 교정용 미니 임플란트
골계면 분석의 유효성

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 태 경

Micro-computed tomography를
이용한 교정용 미니 임플란트
골계면 분석의 유효성

지도 박 영 철 교수

이 논문을 박사 학위 논문으로 제출함

2006년 7월 일

연세대학교 대학원

치의학과

김 태 경

김태경의 박사 학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2006년 7월 일

감사의 글

본 논문을 쓰면서 모든 일에는 때가 있다는 말이 더욱 더 마음에 와 닿았습니다. 개원을 하면서 실험을 하고 논문을 쓴다는 것은 미흡한 제게는 매우 어려운 과정이었습니다. 그러기에 너무나도 부족한 점이 많았고 그 과정을 극복해 나갈 수 있도록 도와주시고 지도 해주신 모든 분들께 감사드리고 싶습니다. 먼저 지난 15년 이상 부족한 저를 지도해 주신 박영철 교수님께 무한한 감사와 존경을 드리고 싶습니다. 그리고 논문이 완성되기까지 세심한 조언을 아끼지 않으셨던 김진 교수님, 황충주 교수님, 최광철 교수님, 김희진 교수님 께도 감사드립니다.

또한 실험을 하는데 많은 도움을 주신 차정열 선생님과 윤태민, 송진욱 선생님, 이노우에 다카시 교수님 그리고 교정학 교실 의국원 여러분께도 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 또 하나의 과정을 통과한 이 작은 기쁨을 항상 저를 믿고 후원해 준 가족들과 함께 나누고 싶습니다.

마지막으로 이제 제 곁에 계시진 않지만 아마도 가장 기뻐하실 아버님께 이 논문을 바칩니다.

2006년 7월

저자 씀

차 례

차 례	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. 교정용 미니 임플란트의 식립	4
다. 실험 동물의 희생	5
라. Micro-computed tomography의 촬영	6
마. Image reconstruction	8
바. 조직 슬라이드의 제작	10
사. Reslice of micro-computed tomographic image	11
아. Optimal threshold의 설정	12
자. 골 면적비율과 골 접촉률의 계측	13
차. 통계 분석	13
III. 연구 결과	15
가. 골 면적비율(bone volume)	15
나. 골 접촉률(bone implant contact)	18
IV. 고찰	20
V. 결론	25

참 고 문 헌	27
Abstract	31

그림 차례

Fig. 1. Implantation site of orthodontic mini-implant	5
Fig. 2. Coronal & sagittal view of the notch on the head of mini-implant	5
Fig. 3. Skyscan 1076 micro-computed tomography	6
Fig. 4. Custom made object holder	7
Fig. 5. Reconstructed axial image of a mini-implant	8
Fig. 6. Re-sliced sagittal image of a mini-implant	9
Fig. 7. Micro-computed tomographic image limited to ROI(region of interest)	9
Fig. 8. Establishing the ROI(region of interest)	10
Fig. 9. Verification of the trabecular pattern on a histologic slide and micro-computed tomographic image	11
Fig. 10. Selection of threshold between bone and bone marrow	12
Fig. 11. Selection of threshold between bone and mini-implant	12
Fig. 12. Scattered plot of regression model on bone volume	17
Fig. 13. Scattered plot of regression model on bone implant contact	18
Fig. 14. Comparison of micro-computed tomographic images with different resolutions	20
Fig. 15. Three dimensional reconstruction of a specimen	23

표 차례

Table 1. Values of micro-computed tomographic scanning parameters	6
Table 2. Comparison of bone volume according to screw position and image (μ CT108 and histomorphometry)	16
Table 3. Comparison of bone volume according to screw position and image (μ CT108 and μ CT1800)	16
Table 4. Pearson correlation coefficient between groups in bone volume (%).	17
Table 5. Comparison of bone implant contact according to screw position and image (μ CT108 and histomorphometry)	18
Table 6. Pearson correlation coefficient between groups in bone implant contact (%)	18

국문 요약

Micro-computed tomography를 이용한 교정용 미니 임플란트 골계면 분석의 유효성

임플란트의 골계면 분석은 실험동물에서 비탈회 표본을 제작하고 이를 광학 현미경으로 관찰하는 것이 널리 이용되어 왔다. 이는 조직 계측학적 분석이 가능하다는 장점이 있지만, 절편 제작 과정에 장시간이 소요될 뿐만 아니라 한 조직 시편에서 얻을 수 있는 미세 절편의 수가 제한적이어서 오차의 가능성이 있고, 입체적 분석은 불가능한 이차원적인 분석이라는 단점이 있다.

본 연구는 이러한 단점을 보완할 수 있는 micro-computed tomography(μ CT)로 골과 교정용 미니 임플란트의 계면 분석을 시도하고, 조직 계측학적 분석과 비교하여 그 유효성을 평가하고자 하였다. 성견 3마리에 직경 1.8mm, 길이 7mm의 교정용 미니 임플란트(ORLUS, Ortholution CO., Korea) 36개를 식립하고, 12주 후, micro-computed tomogram(Skyscan 1076, Skyscan, Aartselaar, Belgium)으로 촬영한 후 비탈회 표본을 제작하여 각각에서 골 면적비율(bone volume)과 골 접촉률(bone implant contact)을 계측, 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 면적 비율은 유의차가 있으며($p < 0.05$) 상관계수는 0.900로 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있었다($p < 0.01$).
2. 조직 슬라이드와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)와 미니 임플란트 주위 골 전체를 반영하는 μ CT 이미지(μ CT1800)에서 측정된 골 면적비율은 유의차가 있었으며($p < 0.05$) 상관계수는 0.969로 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있었다($p < 0.01$).

3. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 면적 비율간의 회귀 방정식을 구할 수 있었고 그 결정 계수는 0.87로 두 측정치 간에 강한 연관성이 있었다.
4. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 접촉률은 유의차가 있으며($p<0.05$) 상관계수는 0.829로 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있었다($p<0.01$).
5. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 접촉률간의 회귀 방정식을 구할 수 있었고 그 결정 계수는 0.69였다.

본 연구를 통하여 교정용 미니 임플란트 골계면 분석을 위한 μ CT 촬영과 분석 방법의 하나의 표준을 제시하였으며, μ CT 이미지에서 측정된 계측치와 조직 계측학적 분석의 유의한 연관성이 입증되었다.

핵심되는 말 : 교정용 미니 임플란트, 골 유착, micro-computed tomography,
조직 계측학적 분석

Micro-computed tomography를 이용한

교정용 미니 임플란트 골계면 분석의 유효성

(지도 : 박 영 철 교수)

연세대학교 대학원 치의학과

김 태 경

I. 서 론

교정용 미니 임플란트를 고정원으로 이용함으로써 환자의 협조 없이도 효율적인 치아이동이 가능해졌을 뿐만 아니라, 미니 임플란트를 이용하지 않고는 불가능하였던 치아 이동도 가능해짐에 따라 치아 이동의 효율성과 그 영역이 크게 확대되었다(Kanomi, 1997; Park 등, 2001; Kyung 등, 2003; Lee 등, 2004; Roth 등, 2004; Carano 등, 2005; Kyung 등, 2005; Park 등, 2005). 하지만 미니 임플란트를 고정원으로 이용하기 위해서는 식립 후 그 안정성이 전제되어야 함은 물론이다(Deguchi 등, 2003; Carano 등, 2004). 외과용 미니 스크류를 응용하였던 초기에는 골과 스크류의 기계적 결합에 의하여 고정원을 얻는다는 견해도 있었으나(박, 2001) 점차 교정용 미니 임플란트와 골간의 생물학적인 작용들이 밝혀짐에 따라(Deguchi 등, 2003) 교정용 미니 임플란트의 안정성에도 골유착이 필수적이며 골유착이 교정용 미니 임플란트의 안정성을 보장할 수 있음을 인식하게 되었다. 따라서 보철용 임플란트와는 다른 부하(load) 특성을 갖는 교정용 미니 임플란트에서도 골 유착으로 그 안정성을 증가시키고자 하는 시도가 있었다(Brown 등,

2000).

골 유착이 일어나는 임플란트와 골 계면을 평가하는 방법으로는 제거 회전력 측정(Heidermann 등, 1998; Brown 등, 2000; Homolka 등, 2002; Hitchon 등, 2003; 강 2003; Carano 등, 2005a)과 같은 생역학적 방법(biomechanical test)과 조직 계측학적 분석 방법이 있으며 조직 계측학 분석으로는 골 접촉률(bone implant contact)과 골 면적비율(bone volume)을 계측하는 것이 가장 일반적이다(Senneby 등, 1992; 한 등, 1997; Iamoni 등, 1999). 제거 회전력 측정과 같은 간접적인 방법 만으로도 매우 유용한 정보를 얻을 수는 있지만, 골 접촉을 평가하기 위해서는 무엇보다도 조직 계측학적 분석을 시행하는 것이 가장 정확한 방법이라 할 수 있다. 하지만 조직 계측학적 분석에 필수적인 조직 시편의 미세분절 제작 과정은 보통의 조직 슬라이드 제작 과정과는 달리 한 조직 시편에서 얻을 수 있는 절편의 수가 매우 제한적이고 실패와 오차의 가능성이 있으며 제작과정 자체가 조직 시편을 파괴하기 때문에 제거 회전력 측정과 같은 추가적인 측정이 불가능한 단점이 있다. 또 이방성(異方性, anisotropic)을 지니는 수질골의 특성과 3차원 구조의 임플란트를 고려할 때 한 절단면만을 관찰, 평가하는 이와 같은 이차원 분석은 한계를 가질 수밖에 없다(Rebaudi 등, 2004).

하지만 1980년대부터 미세조직에 대한 3차원적인 관찰이 가능한 micro-computed tomography(μ CT)가 개발되어(Feldkamp 등, 1989) 의학 및 생물학 분야에서의 미세조직 관찰뿐 아니라 전자회로나 화석의 미세 구조 분석과 같은 매우 다양한 분야에서 응용되고 있다. 골조직을 관찰하기 위한 μ CT의 응용은 발생 생물학 분야(Guldberg 등, 2004)와 골다공증의 병인과 진행 과정을 설명하기 위한 여러 연구(Kapadia 등, 1998; Patel 등, 2003)에 응용되어 피질골 두께에 대한 정보뿐 아니라 수질골의 두께와 그 구조적 특성들에 관한 정량화된 계측법이 소개된 바 있고(Feldkamp 등, 1989; Kuhn 등, 1990), 치의학 분야에서도 다양한 영역에서의 응용(Balto 등, 2000; Gissen 등, 2000; Bergmans 등, 2001)과 함께 보철용 임플란트 골계면의 정량 분석이 시도된 바 있다(Oosterwyck 등, 2000; Sennerby 등, 2001; Rebaudi 등, 2004; Stoppie 등, 2005). 하지만 μ CT로는 금속 성분의 임플란트가 포함된 시편에서 골 계면의 금속성 허상(metal artifact)을 완전히 피할 수 없기 때

문에 Stoppie 등(2005)은 골 면적비율은 89% 정도 조직 계측학적 분석과의 일치 하였지만 골 접촉률을 계측하는 데에는 한계가 있다고 하였고, Rebaudi 등(2004)도 금속성 허상을 최소화하고 최적의 이미지를 얻기 위한 μ CT의 촬영 기법에 대한 연구의 필요성을 강조하였다. 이와 같이 μ CT를 이용한 이미지로는 임플란트의 골 계면을 직접 관찰할 수 없다는 본질적인 한계가 있지만 이러한 어려움은 μ CT 해상도의 향상과 촬영 술식의 개발로 최소화할 수 있다고 생각된다.

따라서 본 연구는 보철용 임플란트와는 다른 부하 특성을 갖는 교정용 미니 임플란트의 연구 방법으로써 μ CT의 촬영과 분석 방법의 표준을 정립하고, 이를 적용한 후 조직 계측학적 분석과 비교하여 교정용 미니 임플란트의 골계면 분석을 위한 μ CT의 유효성을 평가하고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 실험 동물과 실험 재료

본 연구는 12개월 된 건강한 웅성 성견(Beagle dog) 3마리를 대상으로 하였으며 그 체중은 12-13Kg이었다. 실험 동물의 구입, 선택, 관리 및 실험 술식 등은 연세의료원 실험동물 위원회의 동물실험 규정에 의거하였다.

교정용 미니 임플란트는 drill free type으로 직경 1.8mm, 길이 7mm의 ORLUS(Ortholution CO., Korea)를 사용하였다.

나. 교정용 미니 임플란트의 식립

실험 동물에 Atropine 0.05mg/Kg을 피하 주사하고, Rompun 2mg/Kg과 Ketamine 10mg/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. 마취 후 거즈에 적신 요오드와 70% 에탄올의 혼합액으로 식립 부위를 소독하고 상악에서는 제 2, 3 소구치와 제 1 대구치 치근 사이에, 하악에서는 제 2, 3, 4 소구치의 치근 사이에 미니 임플란트를 식립하여 실험 동물 한 마리에 12개씩, 모두 36개의 미니 임플란트를 식립하였다(Fig 1). 미니 임플란트는 수직적으로 유리치은 경계부에서 치근단 방향으로 4-5mm 하방에 식립하여, 상악에서는 치은 점막에, 하악에서는 부착 치은에 식립되었다. 식립 시에는 마찰열을 감소시키기 위하여 생리식염수 주수 하에 식립하였다. 식립 후에는 감염을 방지하기 위한 Cefazoline 10mg/Kg을 3일간 투여하였고 실험 기간 동안 매일 클로르헥시딘 구강양치로 구강위생을 유지하였다.



Fig 1. Implantation site of orthodontic mini-implant.

다. 실험 동물의 희생

식립 12주 후 실험 동물을 희생시키고, 조직 슬라이드와 micro-computed tomography(μ CT) 이미지를 일치시키는데 이용하고자, low-speed diamond wheel 을 이용하여 미니 임플란트 헤드의 중심에 근,원심으로 notch를 형성하였다(Fig 2). 그 후 미니 임플란트가 포함된 조직 블록을 채취하고 μ CT 촬영 전까지 10% 포르름 알데하이드 용액에 보관하였다.

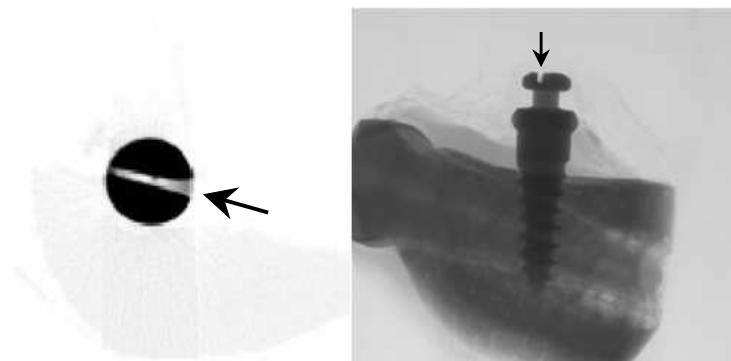


Fig 2. Coronal & sagittal view of the notch on the head of mini-implant.

라. Micro-computed tomography의 촬영

1. Pre-set of μ CT

μ CT는 Skyscan 1076(Skyscan, Aartselaar, Belgium)(Fig 3.)을 사용하였다. 예비 촬영을 통하여 가장 좋은 이미지를 얻을 수 있도록 μ CT를 pre-set한 후(Table 1) -100mm object position에서 flat field를 설정하였다.

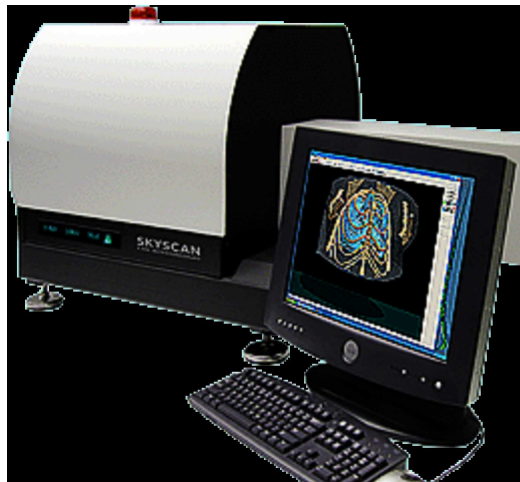


Fig 3. Skyscan 1076 micro-computed tomography.

Table 1. Values of micro-computed tomographic scanning parameters.

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

2. 시편의 positioning

최적의 이미지를 얻고 분석을 용이하게 하고자 미니 임플란트 드라이버로 custom made object holder를 제작하였다(Fig 4). Object holder로 조직시편을 위치시킨 후, 90° 간격으로 scout view를 촬영하여 scanning width를 결정하였고 이때 평균 감약 투과율(attenuation transmission)이 60%가 되도록 노출시간을 다시 설정하였다.

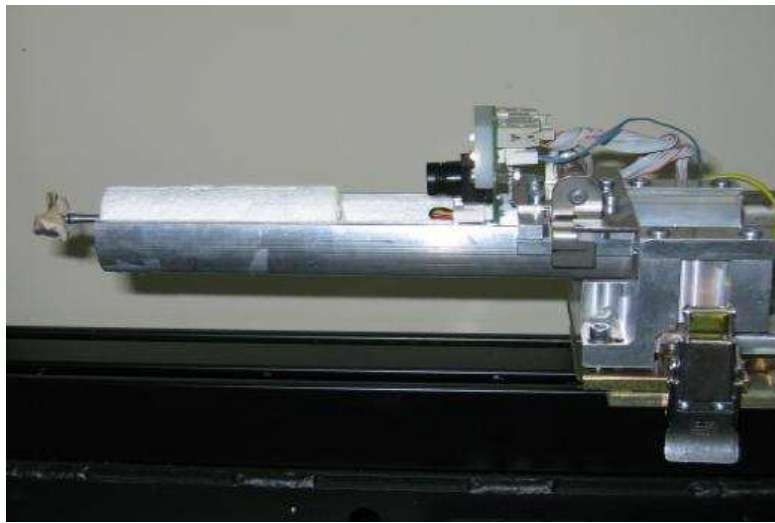


Fig 4. Custom made object holder.

3. μ CT의 촬영

Frame averaging을 3으로 설정하고 360° 회전 촬영하였다. 모든 이미지는 10 Megapixel(4000x2300x12bit) cooled digital X-ray camera with fiber-optic coupling to scintillator로 전송되어 2000x2096 pixel의 TIFF 파일로 저장되었다. 한 시편 당 400분의 scanning time이 소요되었다.

마. Image Reconstruction

1. Image Reconstruction

획득된 영상정보는 Dual Intel Xeon 3GHz CPU와 2G memory를 내장한 컴퓨터에 Nvidia quadro FX 1300의 비디오 카드를 이용하여 BMP파일로 재구성하고 이는 다시 Nrecon Ver 1.3(Skyscan, Aartselaar, Belgium) 프로그램으로 0-0.0731 범주의 gray scale level로 재건하였다. 이때 smoothing level은 1, ring artifact reduction level은 7, beam hardening은 37%로 설정하였다. 이 데이터는 다시 미니 임플란트의 axial image로 재건하였다(Fig 5). 재건된 시편의 axial image는 조직 슬라이드와 비교할 수 있도록 미니 임플란트 헤드에 형성된 notch와 미니 임플란트의 tip을 연결한 sagittal plane에 평행하게 9 μ m의 두께로 reslice하였고(Fig 6) 이렇게 생성된 sagittal image는 다시 ROI(region of interest)로 제한하여 저장하였다(Fig 7).

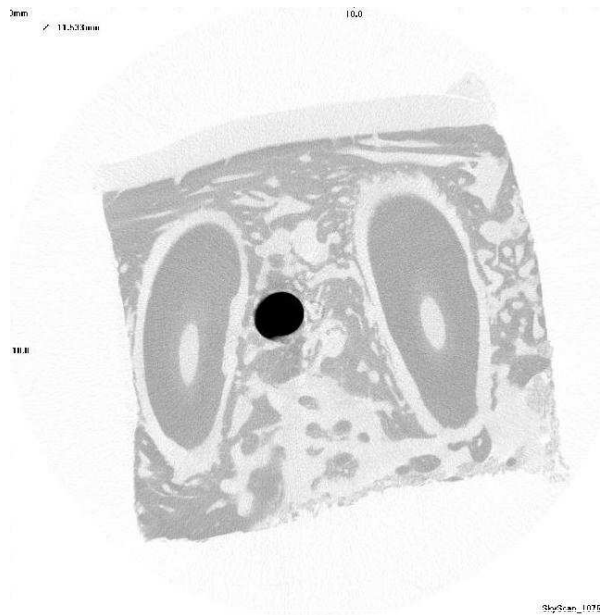


Fig 5. Reconstructed axial image of a mini-implant.

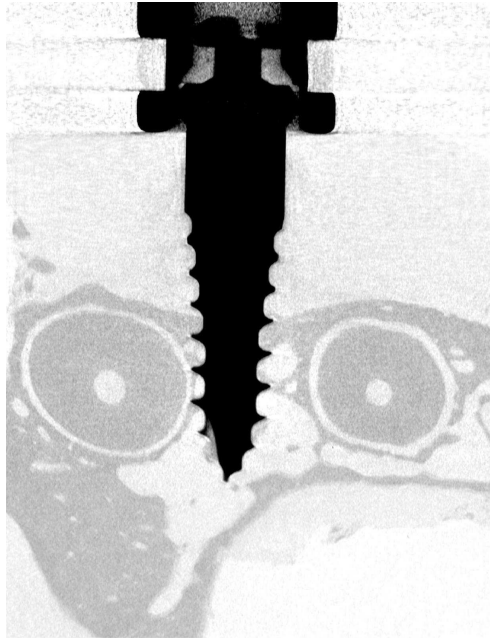


Fig 6. Re-sliced sagittal image of a mini-implant.

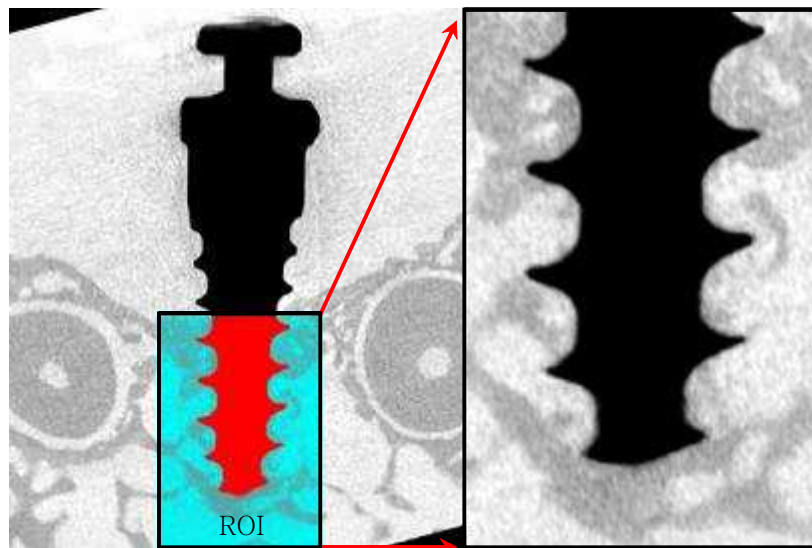


Fig 7. Micro-computed tomographic image limited to ROI(region of interest).

2. Region of interest(ROI)의 설정

골내에 위치하는 미니 임플란트의 중간에 위치하는 나사산 내경과 침부에서 800 μm 거리를 갖도록 직사각형의 ROI를 설정하였고, 이는 조직 슬라이드와 μCT 이미지에서 동일하도록 하였다(Fig 8).

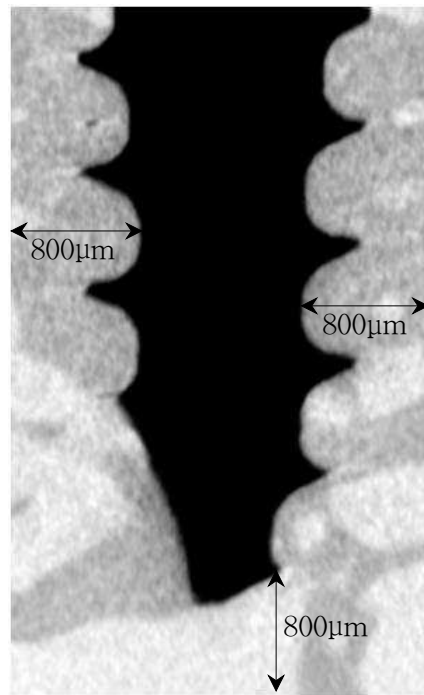


Fig 8. Establishing the ROI(region of interest).

바. 조직 슬라이드의 제작

μCT 촬영 후, 조직 표본을 7일간 70-100%의 점진적 고농도의 알코올로 탈수하고 polymethylmethacrylate로 포매한 후 광중합기를 이용하여 진공상태에서 경화시켰다. 레진 포매된 조직 블록은 미니 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 μ m 두께의 비탈회 표본을 제작하고 toluidine blue로 염색하였다.

사. Reslice of micro-computed tomographic image

20배의 광학 현미경하에서 촬영된 조직 슬라이드에서의 수질골 형태(trabecular pattern)와 μ CT 이미지의 수질골 형태를 비교하여 일치하지 않는 경우, 두 이미지의 수질골 형태가 일치될 때까지 μ CT 이미지의 slicing line을 0.1°씩 회전시켜 이미지를 재건하였다(Fig 9).

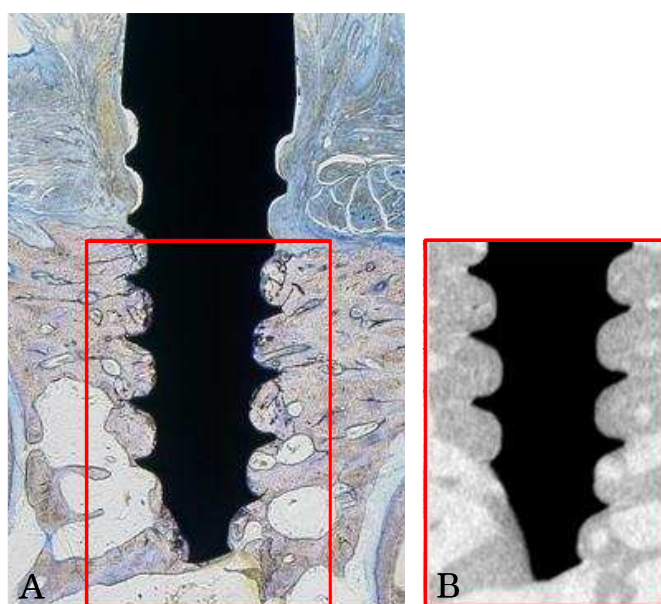


Fig 9. Verification of the trabecular pattern on a histologic slide(A) and micro-computed tomographic image(B).

아. Optimal threshold의 설정

조직 슬라이드와 일치된 μ CT 이미지는 CTAn ver 1.5(Skyscan, Aartselaar, Belgium) 프로그램으로 골과 미니 임플란트에 대한 threshold를 각각 설정하여 binary image로 변환하였다. 골과 골수강의 구분을 위해서는 프로그램의 automatic threshold 기능을 이용하여 gray scale histogram의 intermediate level을 선정하였고(Fig 10), 골과 미니 임플란트의 대한 threshold는 미니 임플란트 주변의 금속성 허상이 미니 임플란트 영역에 포함되도록 설정하였다(Fig 11).

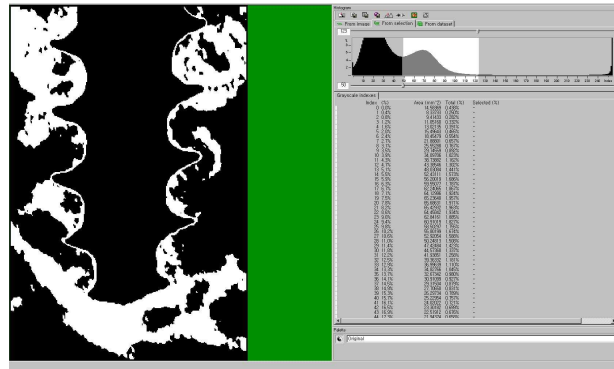


Fig 10. Selection of threshold between bone and bone marrow.

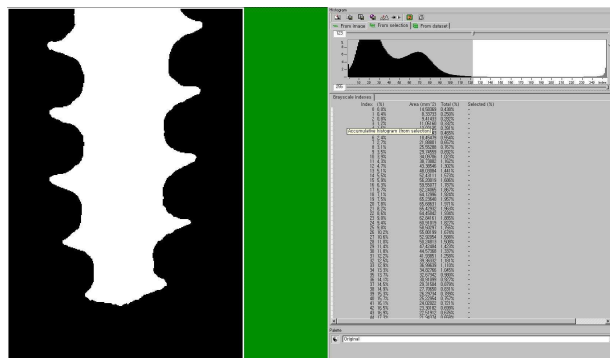


Fig 11. Selection of threshold between bone and mini-implant.

자. 골 면적비율과 골 접촉률의 측정

1. μ CT 이미지에서의 측정

골 면적비율은 CTAn ver 1.5 프로그램으로 binary image의 ROI에서 미니 임플란트를 제외한 면적에 대한 골 부피를 측정하여 계산하였다.

골 접촉률은 골과 미니 임플란트에 대하여 설정된 threshold를 기준으로 변환된 binary image를 이용하여 CTAn ver 1.5 프로그램의 ROI shrink wrap, reload plug-in, volumetric operation 기능으로 골과 접촉하는 미니 임플란트 부분을 mm 단위로 측정하여 이를 ROI에 포함된 미니 임플란트의 나사산 길이에 대한 %로 계산하였다.

골 접촉률과 골 면적비율은 조직 슬라이드와 μ CT 이미지의 수질골 형태가 일치하는 sagittal slice를 중심으로, 조직 슬라이드의 두께(100-110 μ m)와 동일하도록 12개 slice(108 μ m)에서 측정하였다. 또, 추가적으로 미니 임플란트 주위 골 전체의 골 면적비율을 미니 임플란트 직경과 같은 200개의 slice(1800 μ m)에서 측정하였다.

2. 조직 슬라이드에서의 측정

조직 슬라이드를 광학 현미경하에서 100배로 촬영하여 BMP파일로 저장하고 이를 Image-Pro Version 3.0(Cybernetics Media, U.S.A.) 프로그램으로 ROI내의 골 접촉률과 골 면적비율을 측정하였다.

차. 통계 분석

1. 골 면적비율

SPSS Ver 11(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램으로 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108), 미니 임플란트 주위 골 전체를 반영하는 μ CT 이미지(μ CT1800)에서 측정된 골 면적비율의 평균과 표준 편차를 구하

고 t-test를 실시하였다. 또 각 변수간의 상관 분석을 실시하고 단순 회귀모형을 구하였다.

2. 골 접촉률

조직 슬라이드와 μ CT108 이미지의 골 접촉률의 평균과 표준 편차를 구하고 t-test를 실시하였다. 또 상관 분석을 실시하고 단순 회귀모형을 구하였다.

III. 연구 결과

가. 골 면적비율(bone volume)

골 면적비율은 조직 슬라이드와 micro-computed tomography(μ CT) 이미지 모두에서 하악에서 더 큰 값을 나타내었다(Table 2, Table 3).

조직 슬라이드와 동일한 두께의 μ CT108과 조직 슬라이드에서의 골 면적비율을 비교한 결과 상, 하악 모두에서 μ CT108에서의 값이 더 컸고($p < 0.05$) 그 차이는 상, 하악 모두에서 약 4%였다. 다른 계측치들의 표준 편차는 비슷하였지만 하악 μ CT108의 경우, 다른 계측치의 표준 편차보다 컸다(Table 2).

μ CT108과 미니 임플란트 주위 골 전체를 포함하는 μ CT1800에서의 골 면적비율의 비교 결과, μ CT1800에서의 골 면적비율이 크게 나타났다($p < 0.05$). 하지만 그 차이는 일정치 않아 하악에서 더 작은 차이가 나타났지만 표준 편차는 하악에서 더 컸다(Table 3).

조직 슬라이드와 μ CT108, 조직 슬라이드와 μ CT1800, μ CT108과 μ CT1800의 상관 분석 결과, 조직 슬라이드와 μ CT108의 상관 계수는 0.900($p < 0.01$), 조직 슬라이드와 μ CT1800간의 상관 계수는 0.941($p < 0.01$), μ CT108과 μ CT1800간의 상관 계수는 0.969($p < 0.01$)로 모두 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있음을 알 수 있었다(Table 4).

조직 슬라이드와 μ CT108간의 회귀 분석 결과 $\text{Bone volume(Histo)} = 3.37 + 0.81 \times \text{Bone volume}(\mu\text{CT108})$ 의 단순 회귀모형을 얻을 수 있었으며 그 결정 계수는 (R^2)는 0.81이었다(Fig 12).

Table 2. Comparison of bone volume according to screw position and image(μ CT108 and histomorphometry).

Position	Bone volume (%)				<i>p</i> value
	Histomorphometry		μCT108		
	Mean	SD	Mean	SD	
Upper	40.80	7.98	44.04	5.63	0.03*
Lower	66.46	5.29	70.31	12.43	0.02*

* Statistical significance ; * $p < 0.05$

* μ CT108 ; μ CT image with the same thickness of its histologic slide.

Table 3. Comparison of bone volume according to screw position and image(μ CT108 and μ CT1800).

Position	Bone volume (%)				<i>p</i> value
	μCT108		μCT1800		
	Mean	SD	Mean	SD	
Upper	44.04	5.63	47.68	7.13	0.02*
Lower	70.31	12.43	71.51	11.93	0.04*

* Statistical significance ; * $p < 0.05$

* μ CT108 ; μ CT image with the same thickness of its histologic slide.

* μ CT1800 ; μ CT image that covers bone all around the mini-implant.

Table 4. Pearson correlation coefficient between groups in bone volume(%).

Bone volume			
	Histomorphometry	μCT108	μCT1800
Histomorphometry	1	.900**	.941**
μCT108	.900**	1	.969**
μCT1800	.941**	.969**	1

* Statistical significance ; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

* μCT108 ; μCT image with the same thickness of its histologic slide.

* μCT1800 ; μCT image that covers bone all around the mini-implant.

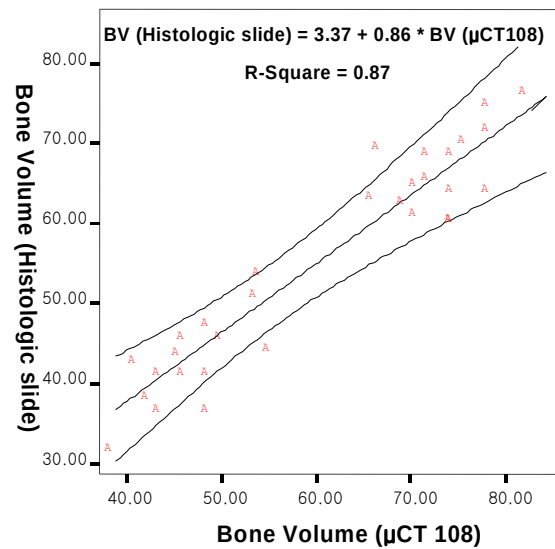


Fig 12. Scattered plot of regression model on bone volume.

* BV ; bone volume.

* μCT108 ; μCT image with the same thickness of its histologic slide.

나. 골 접촉률(bone implant contact)

상, 하악 모두에서 조직 슬라이드에서의 골 접촉률 보다는 μ CT108에서의 골 접촉률이 크게 나타났다($p < 0.05$)(Table 5). 상관 분석 결과 상관 계수는 0.829였고($p < 0.01$)(Table 6) 또 회귀 분석결과 Bone implant contact(Histo) = $3.28 + 0.84 \times$ Bone implant contact(μ CT108)의 단순 회귀모형을 얻었으며 그 결정 계수(R^2)는 0.69였다(Fig 13).

Table 5. Comparison of bone implant contact according to screw position and image(μ CT108 and histomorphometry).

Position	Bone implant contact (%)				
	Histomorphometry		μ CT108		<i>p</i> value
	Mean	SD	Mean	SD	
Upper	50.79	12.74	57.31	8.99	0.03*
Lower	78.83	7.20	88.55	6.97	0.02*

* Statistical significance ; * $p < 0.05$

* μ CT108 ; μ CT image with the same thickness of its histologic slide.

Table 6. Pearson correlation coefficients between groups in bone implant contact(%)

	Bone implant contact(%)	
	Histomorphometry	μ CT108
Histomorphometry	1	.829**
μ CT108	.829**	1

* Statistical significance ; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

* μ CT108 ; μ CT image with the same thickness of its histologic slide.

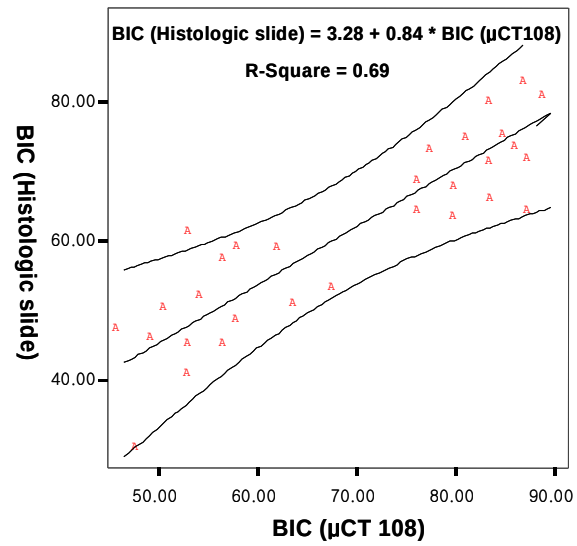


Fig 13. Scattered plot of regression model on bone implant contact.

* BIC ; bone implant contact.

* μCT108 ; μCT image with the same thickness of its histologic slide.

IV. 고찰

Albrektsson과 Branemark 등(1981)은 골유착을 광학 현미경으로 관찰할 때 골과 임플란트가 직접적 접촉을 이루고 있는 상태라 정의하고 있다. micro-computed tomography(μ CT)로 광학 현미경 정도의 해상도나 대조도를 기대할 수는 없지만, μ CT 이미지로 골과 임플란트 계면을 평가하고자 한다면 가장 먼저 우수한 질의 이미지를 얻기 위한 노력이 우선되어야 할 것이다. 따라서 이번 연구의 가장 첫 단계는 좋은 이미지를 얻기 위한 μ CT의 설정이었다. 큰 원자번호를 가지는 titanium으로 만들어진 미니 임플란트에 방사선이 통과하면 골에 비하여 매우 큰 감약 효과(attenuation effect)가 나타난다. 이렇게 매우 상이한 감약 효과를 갖는 금속과 골이라는 주어진 조건에서 최적의 이미지를 얻기 위해서 여러 설정들을 조절하면서 많은 예비 촬영을 시행하였고 얻어진 이미지들을 비교하여 설정값들을 최종 결정하였다(Table 1). 우선 해상도는 Skyscan 1076의 최대 해상도인 $9\mu\text{m}$ 로 하였다. 촬영 시간(scanning time)이 400분 정도로 매우 길어졌지만 예비 촬영 결과(Fig 14) 수질골의 형태나 기타 미세 구조를 관찰하기 위해서는 최대 해상도의 이미지가 필요한 것으로 판단되었다. 또 골 계면에서 나타나는 금속성 허상을 최소화하고자 copper 0.038mm 를 0.5mm 의 aluminum에 부착한 filter를 제작, 사용하였고, 미니 임플란트 드라이버를 이용한 custom object holder도 제작하여 scanning bed에 의한 미세한 화질 저하도 방지하였다. 그리고 고화질의 이미지를 얻기 위한 360° scanning도 시행하였다. 이러한 노력들로 금속성 허상이 최소화된 좋은 질의 μ CT 이미지를 얻을 수 있었다. 얻어진 μ CT 이미지에서 금속성 허상은 미니 임플란트 내경과 tip 부위에서 좀 더 관찰되었지만 2-4 voxel을 넘지는 않았으며 평균 3 voxel($27\mu\text{m}$)로 비교적 균일한 양상을 보여주었다. 이는 기존의 Rebaudi 등(2004)의 $45\mu\text{m}$, Stoppie 등(2005)의 연구에서의 약 $60\mu\text{m}$ 와 비교할 때 최소화되었다고 볼 수 있다. 하지만 금속성 허상은 촬영 조건뿐만 아니라 임플란트의 직경에 따라서도 영향을 받을 수 있음도 고려하여야 할 것이다. 이러한 μ CT 이미지와 조직 슬라이드에서 골 면적비율과 골 접촉률을 계측하였다.

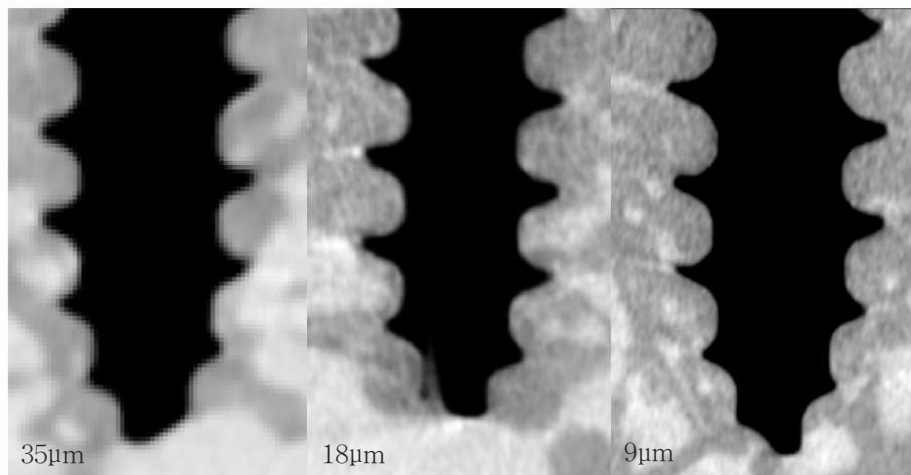


Fig 14. Comparison of micro-computed tomographic images with different resolutions.

골 면적비율의 측정 결과, 조직 슬라이드보다 조직 슬라이드와 동일한 두께의 μ CT108에서 약 4% 크게 측정되었다. 이는 임플란트가 없는 사람의 뼈를 대상으로 한 Muller 등(1998)의 연구에서의 2.5% 증가와 유사한 결과를 보이며, Stoppie 등(2005)의 7.95% 증가와도 동일한 경향을 보여주고 있다. Rebaudi 등(2004)은 이와는 다른 약 3%의 감소를 보고한 바 있지만 이 결과는 단 하나의 시편에서 얻어진 3개의 슬라이드에 의한 결과임을 감안하여야 할 것이다. 또, 미니 임플란트 주위 전체의 골 면적비율을 측정한 μ CT1800의 골 면적비율 또한 μ CT108보다 상악에서는 약 3%, 하악에서는 약 1%가 증가된 양상을 보여 주었다.

실제 μ CT 이미지에서의 측정이나 계측에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 threshold의 설정이라 할 수 있다. Threshold의 설정에 따라 binary image에서 골과 골수강, 미니 임플란트를 구분하는 기준이 달라지므로 threshold의 설정은 매우 중요한 과정이다. 박 등(2005)의 연구에서는 하나의 threshold 값을 모든 이미지에 적용하였으나 이미지에 따라 그 grey level이 모두 다르므로 고정된 threshold를 사용하는 것은 계측 오차를 크게 할 가능성이 높은 방법이라고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 grey level histogram에서 peak들의 중간 값을 선택하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 각 이미지의 grey level을 가장 잘 반영하는

threshold를 선택할 수 있지만 두 개의 peak 사이에서 변곡점을 찾기가 어려운 경우, 즉 두 개의 peak 사이가 일직선에 가까울 경우, 선정 오차의 가능성이 높아질 수 있다는 문제점이 있다. 본 연구에서 사용된 threshold는 상악의 골에서 45.00 ± 6.32 , 하악의 골은 35.67 ± 4.62 , 상악의 미니 임플란트는 137.5 ± 9.71 , 하악의 미니 임플란트에서는 131.67 ± 24.01 이었다.

조직 슬라이드와 μ CT108에서 측정된 골 면적비율의 상관분석 결과, 상관 계수는 0.900으로 조직 슬라이드와 μ CT108에서 측정된 골 면적비율은 매우 유의한 선형적 관계가 있음을 확인할 수 있었고, Muller 등(1998)의 0.93이나 Stoppie 등(2005)의 0.86과 매우 유사한 결과를 보여주었다. 또 조직 슬라이드와 μ CT1800 간의 상관계수는 0.941, μ CT108과 μ CT1800 간의 상관계수는 0.969로 모두 매우 유의한 선형적 관계가 있음을 알 수 있었다. 또 단순 회귀 방정식을 구해본 결과 그 결정 계수가 0.87로 조직 슬라이드 제작 없이도 의미 있는 골 면적비율을 측정할 수 있으리라 생각된다.

임플란트의 안정성을 평가하는데 가장 중요한 측정 항목은 골 접촉률이다. 하지만 골과 임플란트의 상이한 감약계수 때문에 μ CT는 골과 임플란트의 계면을 직접 관찰할 수 없는 본질적인 한계를 가지고 있다. 본 연구에서 금속성 허상을 27 μ m 정도까지 최소화할 수는 있었지만, 그 어떠한 경우에도 μ CT 이미지에서 미니 임플란트와 골의 직접 접촉 부위는 관찰할 수 없기 때문에 완전한 의미의 골 접촉률을 측정할 수는 없다. Stoppie 등(2005)은 60 μ m의 금속성 허상 때문에 골 접촉률의 측정은 불가능하다고 하였고, Rebaudi 등(2004)은 금속성 허상을 임플란트에 포함시켜 골 접촉률을 측정하고 이 측정치를 Bone Implant Apposition(BIA)이라 하였다. Rebaudi 등(2004)이 측정한 BIA는 조직학 슬라이드에서 측정된 골 접촉률보다 9-15%가 작은 값을 보였다. 박(2005) 등도 조직학 슬라이드에서 측정된 골 접촉률보다 약 10%가 작은 값을 보고 하였지만 금속성 허상의 처리에 관한 명확한 설명은 하지 않고 있다. 다만 통계 처리를 통하여 상관계수가 0.855임을 보고하였고 회귀 방정식과 0.731의 결정 계수를 보고하면서 조직 슬라이드와 μ CT에서 측정된 골 접촉률이 강한 연관(association)이 있다고 하였다.

본 연구에서는 위의 두 연구와는 다르게 조직학 슬라이드에서 측정된 골 접촉률

보다 μ CT에서 측정된 골 접촉률이 상악에서는 약 7% 하악에서는 약 10%의 증가된 양상을 보였다. 위의 두 연구가 논문에서 구체적인 측정 방법을 적시하지 않았기 때문에 그 차이의 원인을 규명하기는 어렵지만 박 등(2005)의 연구는 조직 슬라이드가 절단된 동일한 면에서의 μ CT 이미지를 비교한 것이 아니며, 골 접촉률의 측정 역시 수동 계측 한 것이 본 연구와 차이점이라고 할 수 있다.

본 연구로써 조직 계측학적 분석과 μ CT 이미지 상에서 계측된 변수들의 유의한 연관성은 입증이 되었다고 할 수 있다. 하지만 μ CT에서의 골 접촉률은 실제 미니 임플란트와 골의 접촉을 반영하는 것이 아니라 금속성 허상이 포함된 미니 임플란트와 골의 접촉을 반영하는 것이므로 조직 계측학적 분석에서 사용되는 골접촉률이라는 용어와는 다른 의미를 갖는 용어가 필요할 것으로 생각되며, μ CT 이미지 상에서 계측된 골 접촉률과 제거 회전력 비교와 같은 추가적인 유효성 검증이 수반된다면 골 접촉률에서도 조직 계측학적 분석의 배제가 가능하리라 판단된다.

또 연구자 간의 계측치의 비교와 분석을 위해서 μ CT의 촬영과 분석에 관한 표준적 방법의 정립이 필요하리라 생각되며 본 연구에서 제시된 방법이 하나의 기준이 될 수 있으리라 생각된다.

본 실험은 조직 계측학적 분석과의 비교를 통한 μ CT의 유효성 검증에 초점을 맞추었다. 하지만 향후 μ CT는 조직 계측학적 분석에 비하여 빠르고 정확하며 비파괴적이라는 장점 이외에도 3차원의 이미지를 제공함으로써 3차원적인 임플란트의 골계면(Fig 15) 연구와 더불어 임플란트 주위 골의 치유과정과 부하 특성에 따른 수질골의 반응 등 미니 임플란트나 임플란트 주위의 골 생리를 연구, 이해하는데 그 응용 가능성이 매우 크다고 할 수 있다.

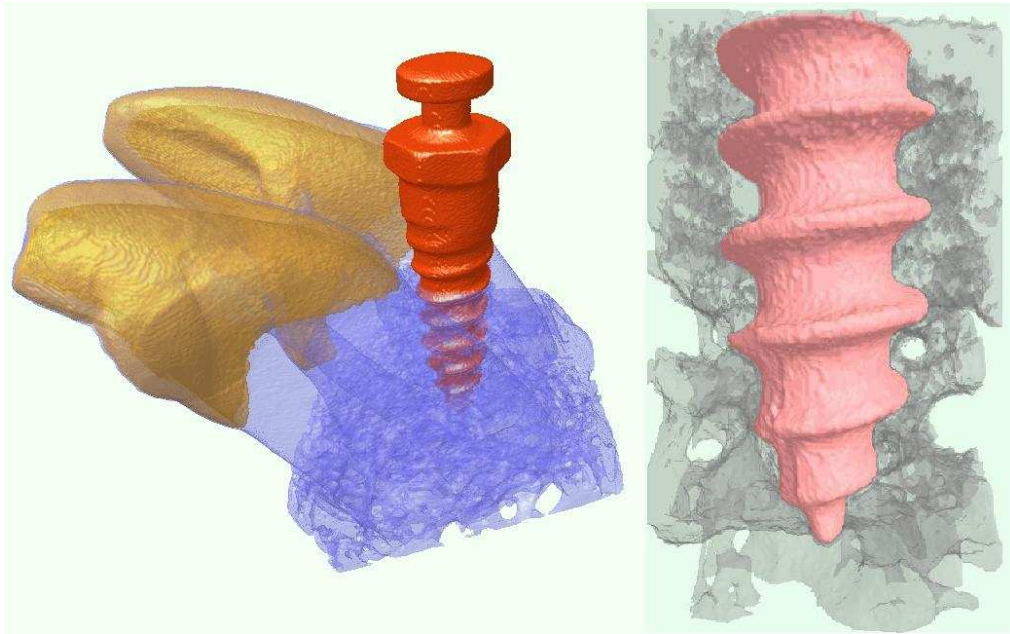


Fig 15. Three dimensional reconstruction of a specimen.

V. 결론

본 연구는 성견 3마리의 상, 하악 협측골에 교정용 미니 임플란트(*ORLUS*, Ortholution CO., Korea) 36개를 식립하고, 12주 후, micro-computed tomogram(*Skyscan 1076*, Skyscan, Aartselaar, Belgium)으로 촬영한 후 미니 임플란트를 포함한 비탈회 표본을 제작하여 골 면적비율과 골 접촉률을 계측, 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 micro-computed tomography(μ CT) 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 면적비율은 유의차가 있으며($p < 0.05$) 상관계수는 0.900로 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있었다($p < 0.01$).
2. 조직 슬라이드와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)와 미니 임플란트 주위 골 전체를 반영하는 μ CT 이미지(μ CT1800)에서 측정된 골 면적비율은 유의차가 있었으며($p < 0.05$) 상관계수는 0.969로 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있었다($p < 0.01$).
3. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 면적비율간의 회귀 방정식을 구할 수 있었고 그 결정 계수는 0.87로 두 계측치 간에 강한 연관성이 있었다.
4. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 접촉률은 유의차가 있으며($p < 0.05$) 상관계수는 0.829로 통계학적으로 유의한 선형적 관련성이 있었다($p < 0.01$).
5. 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 μ CT 이미지(μ CT108)에서 측정된 골 접촉률간의 회귀 방정식을 구할 수 있었고 그 결정 계수는 0.69였다.

이상의 결과로 조직 계측학적 분석과 μ CT 이미지 상에서 계측된 변수들의 유의한 연관성은 입증되었다. 하지만 μ CT에서의 골 접촉률은 금속성 허상이 포함된 미니 임플란트와 골의 접촉을 반영하는 것이므로 조직 계측학적 분석에서와는 다른 용어가 필요할 것으로 생각된다. 또 연구자간에 상이한 μ CT의 촬영과 분석에 표준적인 방법의 정립이 필요하리라 생각되며 본 연구가 하나의 기준이 될 수 있으리라 생각된다.

참고 문헌

- 강승택 : Grade 2, 4 티타늄 마이크로 임플란트의 식립 및 제거 시의 토크 비교와 식립 후 조직학적 관찰. 석사학위논문, 경북대학교 대학원 치의학과, 2003.
- 박효상 : Micro-implant를 이용한 교정치료. 서울, 2001, *나래출판사*
- 한종현, 허성주, 정종평, 구영, 류인철, 최용창 : 임플란트 생체금속들과 골조직간의 생체적합도에 관한 연구. *대한치과보철학회지* 35(3): 557-564, 1997.
- Albrektsson T, Branemark PI, Hansson HA, Lindstrom J. : Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand.* 52(2): 155-170, 1981.
- Balto K, Muller R, Carrington DC, Dobeck J, Stashenko P. Quantification of periapical bone destruction in mice by micro-computed tomography. *J Dent Res.* 79(1): 35-40, 2000.
- Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J.* 34(5): 390-398, 2001.
- Brown GA, McCarthy T, Bourgeault CA, Callahan DJ : Mechanical performance of standard and cannulated 4.0-mm cancellous bone screws. *J Orthop Res* 18: 307-312, 2000.
- Carano A, Velo S, Incorvati C, Poggio P : Clinical applications of the Mini-Screw-Anchorage-System (M.A.S.) in the maxillary alveolar bone. *Prog Orthod* 5(2): 212-235, 2004.
- Carano A, Lonardo P, Velo S, Incorvati C : Mechanical properties of three different commercially available miniscrews for skeletal anchorage. *Prog Orthod* 6(1): 82-97, 2005a.
- Carano A, Velo S, Leone P, Siciliani G : Clinical applications of the Miniscrew Anchorage System. *J Clin Orthod* 39(1): 9-24, 2005b.

- Deguchi T, Yamamoto T, Kanomi R, J. K. Hartsfield, Jr., Roberts WE, Garetto LP : The use of small titanium screws for orthodontic anchorage. *J Dent Res* 82(5): 377-381, 2003.
- Feldkamp LA, Goldstein SA, Parfitt AM, Jasion G, Kleerekoper M. The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. *J Bone Miner Res.* 4(1): 3-11, 1989.
- Giesen EB, van Eijden TM. The three-dimensional cancellous bone architecture of the human mandibular condyle. *J Dent Res.* 79(4): 957-963, 2000.
- Guldborg RE, Lin AS, Coleman R, Robertson G, Duvall C. Microcomputed tomography imaging of skeletal development and growth. *Birth Defects Res.* 72(3): 250-259, 2004.
- Heidemann W, Gerlach KL, Gröbel KH, Köllner HG : Influence of different pilot hole sizes on torque measurements and pullout analysis of osteosynthesis screws. *J Cranio-Maxillofac Surg* 26: 50-55, 1998.
- Hitchon PW, Brenton MD, Coppes NK, From AM, Torner JC : Factors affecting the pullout strength of self-drilling and self-tapping anterior cervical screws. *Spine* 28(1): 9-13, 2003.
- Homolka P, Beer A, Birkfellner W, Nowotny R, Gahleitner Tschabitscher M, Bergmann H : Bone Mineral Density Measurement with Dental Quantitative CT Prior to Dental Implant Placement in Cadaver Mandibles : Pilot Study. *Radiology* 224(1): 247-252, 2002.
- Iamoni F, Rasperini G, Trisi P, Simion M. Histomorphometric analysis of a half hydroxyapatite-coated implant in humans: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 14(5): 729-735, 1999.
- Kanomi R : Mini-Implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31(11): 763-767, 1997.

- Kapadia RD, Stroup GB, Badger AM, Koller B, Levin JM, Coatney RW, Dodds RA, Liang X, Lark MW, Gowen M. Applications of micro-CT and MR microscopy to study pre-clinical models of osteoporosis and osteoarthritis. *Technol Health Care*. 6(5-6): 361-372, 1998.
- Kuhn JL, Goldstein SA, Feldkamp LA, Goulet RW, Jasion G. Evaluation of a microcomputed tomography system to study trabecular bone structure. *J Orthop Res*. 8(6): 833-842, 1990.
- Kyung SH, Choi JH, Park YC : Miniscrew anchorage used to protract lower second molars into first molar extraction sites. *J Clin Orthod* 37(10): 575-579, 2003.
- Kyung SH, Choi HW, Kim KH, Park YC : Bonding orthodontic attachments to miniscrew heads. *J Clin Orthod* 39(6): 348-353, 2005.
- Lee JS, Kim DH, Park YC, Kyung SH, Kim TK : The efficient use of midpalatal miniscrew implants. *Angle Orthod* 74(5): 711-714, 2004.
- Muller R, Van Campenhout H, Van Damme B, Van Der Perre G, Dequeker J, Hildebrand T, Rueggsegger P. Morphometric analysis of human bone biopsies: a quantitative structural comparison of histological sections and micro-computed tomography. *Bone*. 23(1): 59-66, 1998.
- Park HS, Bae SM, Kyung HM, Sung JH : Micro-Implant Anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. *J Clin Orthod* 35(7): 417-422, 2001.
- Park HS, Lee SK, Kwon OW : Group distal movement of teeth using micro-screw implant anchorage. *Angle Orthod* 75(4): 602-609, 2005.
- Park YS, Yi KY, Lee IS, Jung YC. Correlation between microtomography and histomorphometry for assessment of implant osseointegration. *Clin Oral Implants Res*. 16(2): 156-160, 2005.

- Patel V, Issever AS, Burghardt A, Laib A, Ries M, Majumdar S. microCT evaluation of normal and osteoarthritic bone structure in human knee specimens. *J Orthop Res.* 21(1): 6-13, 2003.
- Rebaudi A, Koller B, Laib A, Trisi P. Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 24(4): 316-325, 2004.
- Roth A, Yildirim M, Diedrich P : Forced eruption with microscrew anchorage for preprosthetic leveling of the gingival margin. *J Orofac Orthop* 65(6): 513-519, 2004.
- Sennerby L, Thomsen P, Ericson LE. A morphometric and biomechanic comparison of titanium implants inserted in rabbit cortical and cancellous bone. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 7(1): 62-71, 1992.
- Sennerby L, Wennerberg A, Pasop F. A new microtomographic technique for non-invasive evaluation of the bone structure around implants. *Clin Oral Implants Res.* 12(1): 91-94, 2001.
- Stoppie N, van der Waerden JP, Jansen JA, Duyck J, Wevers M, Naert IE. Validation of microfocus computed tomography in the evaluation of bone implant specimens. *Clin Implant Dent Relat Res.* 7(2): 87-94, 2005.
- Van Oosterwyck H, Duyck J, Vander Sloten J, Van der Perre G, Jansen J, Wevers M, Naert I. Use of microfocus computerized tomography as a new technique for characterizing bone tissue around oral implants. *J Oral Implantol.* 26(1): 5-12, 2000.

Abstract

Validation of micro-computed tomographic analysis of bone around orthodontic mini-implant

Tae Kyung Kim

Department of Dentistry, The Graduate School, Yonsei University

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

The implant-bone interface is commonly evaluated in histologic section by morphometrical measurements. But, the processing of sample containing implant is critical, tedious and time consuming, and the procedure has a destructive nature that does not allow a three dimensional analysis of the bone structure around mini-implant.

The aim of this study was to validate the efficacy of a micro-computed tomography(*Skyscan 1076*, Skyscan, Aartselaar, Belgium) for analysis of bone structure around orthodontic mini-implant by comparing micro-computed tomographic images with their histologic homologues.

36 orthodontic mini-implants(*ORLUS*, Ortholution CO., Korea) were placed in the buccal jaw bone of 3 beagle dogs. After 12 weeks, micro-computed tomogram of the excised specimens were preformed, and histologic sections were subsequently made. After matching the homologues, bone volume and bone implant contact were measured.

The obtained results were as follows:

1. The bone volume, measured on the histologic slide and micro-computed tomographic image which has same thickness with histologic section(μ CT108),

had statistically significant differences($p<0.05$) and significant linear correlation.

2. The bone volume, measured on the μ CT108 and μ CT1800 that covers bone all around the mini-implant, had statistically significant differences ($p<0.05$) and significant linear correlation.

3. The regression equation between the bone volume on the histologic section and the bone volume on the μ CT108 was calculated. The coefficient of determination was 0.87.

4. The bone implant contact, measured on the histologic slide and μ CT108 had statistically significant differences($p<0.05$) and significant linear correlation.

5. The regression equation between the bone implant contact on the histologic section and the bone implant contact on the μ CT108 was calculated and its coefficient of determination was 0.69.

These results showed significant correlation between parameters measured through histologic slide and micro-computed tomography. And this study presented a standard method of taking micro-computed tomography and a way of analysis on bone around orthodontic mini-implant with micro-computed tomographic image.

Key words : orthodontic mini implant, osseointegration,
micro-computed tomography, histomorphometric analysis.