

교정용 미니 임플란트 식립 후
부하시기별 골 조직형태에 대한
Micro-computed tomography와
조직분석 간의 비교

연세대학교 대학원

치의학과

임 중 기

교정용 미니 임플란트 식립 후
부하시기별 골 조직형태에 대한
Micro-computed tomography와
조직분석 간의 비교

지도 박 영 철 교수

이 논문을 박사 학위 논문으로 제출함

2006년 12월 일

연세대학교 대학원

치의학과

임 중 기

임중기의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2006년 12월 일

감사의 글

작은 학문의 결과를 먼저 하나님께 감사드립니다. 먼저 이 논문의 완성을 위하여 아낌없는 조언과 지도를 주셨던 박영철 지도 교수님께 무한한 존경과 감사를 드립니다. 그리고 논문이 완성되기까지 세심한 조언을 아끼지 않으셨던 황충주 교수님, 김경호 교수님, 육종인 교수님, 문홍석 교수님께도 감사드립니다.

또한 실험을 위해 헌신적인 노력을 하신 차정열 선생님과 윤태민, 송진욱 선생님 그리고 교정학 교실 의국원 여러분께도 감사의 말씀을 드립니다. 늘 한결같은 신뢰를 보내준 연치과의 모든 식구들에게도 고마움의 마음을 전합니다.

마지막으로 오늘의 결실이 있기까지 변함없는 믿음과 사랑으로 돌봐주신 부모님과 항상 든든한 후원자가 되어준 아내에게 고마운 마음을 간직하면서 이 작은 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

2006년 12월

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	6
라. Micro-computed tomography의 촬영과 이미지 재구성	6
마. 조직 슬라이드의 제작	7
바. Optimal threshold의 설정	7
사. 조직형태학적인 분석	8
아. 통계 분석	9
III. 연구 결과	10
가. 교정력 부하기간별 비교	10
나. 즉시, 지연 부하 간 비교	12
다. Subgroup에 대한 교정력 부하기간별 안정성 비교	15
라. 부하기간별 조직시편과 microCT 분석 간의 골 접촉률과 골 면적비율 차이	18
IV. 고찰	19

V. 결론	25
참고 문헌	27
Abstract	31

그림 차례

Fig. 1. Implantation site of orthodontic mini-implant	5
Fig. 2. Timetable for placing mini-implants	5
Fig. 3. Verification of the trabecular pattern on a histologic slide and micro-computed tomographic image	8
Fig. 4. Descriptive views of three bone volumes of interests for bone volume fraction (BV/TV) microCT analysis at 3, 6, and 12 weeks of loading periods with implant and without implant	14

표 차례

Table 1. Values of micro-computed tomographic scanning parameters	7
Table 2. Bone implant contact values in percent for different analysis and loading times	11
Table 3. Bone volume values in percent for different analysis and loading times	11
Table 4. Bone implant contact values in percent for different analysis and subgroups	13
Table 5. Bone volume values in percent for different analysis and subgroups	13
Table 6. Bone implant contact in percent of each subgroup for different loading period	16
Table 7. Bone volume in percent of each subgroup for different loading period	17
Table 8. Comparison of histological and microCT analysis for bone implant contact and bone volume at different loading periods	18

국문 요약

교정용 미니 임플란트 식립 후 부하시기별 골 조직형태에 대한 Micro-computed tomography와 조직분석 간의 비교

최근 micro-computed tomography (microCT)를 이용하여 임플란트 안정성을 평가하기 위한 정량적인 골형태 분석이 가능하게 되었다. MicroCT는 조직의 손상 없이 간접적으로 임플란트 계면에 대한 3차원적인 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 이러한 분석방법은 교정용 미니 임플란트의 안정성 평가에 응용될 수 있으며 미니 임플란트 주변골의 치유과정을 설명할 수 있게 되었다.

본 연구는 microCT를 이용하여 교정용 임플란트 주변조직의 3차원적 분석을 통해 식립 후 교정력 부여시기에 따른 미니 임플란트 주변조직의 치유과정을 3주, 6주, 12주에 걸쳐 조직시편과 비교 분석하고자 하였다. 12개월된 12 Kg의 용성 성견(Beagle Dog) 8마리를 대상으로 직경 1.8 mm, 길이 7 mm의 self-drilling 타입의 교정용 미니 임플란트(*ORLUS*, Ortholution CO., Seoul, Korea)를 식립하였으며 총 96개가 사용되었다. 상악에서 각각 식립 직후 교정력을 가하는 즉시 부하군과 3주간의 치유기간 후에 교정력을 가하는 지연 부하군으로 나누고 미니 임플란트 주변 골조직의 골 접촉률과 골 면적비율을 microCT와 조직 슬라이드에서 계측하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 즉시 부하군과 지연 부하군 간의 조직시편 분석에서 골 접촉률은 상악에서 실험군 간에 부하기간별 유의한 차이는 발견되지 않았다. 하악에서는 지연 부하군이 12주째에 즉시 부하군보다 유의하게 높았고, 3차원 microCT 분석에서 동일한 결과를 보였다.
2. 조직시편 분석에서 골 면적비율은 상악에서 모두 6주째 감소하다가 12주째 다시 증가하였으며 실험군 간에 유의한 차이는 발견되지 않았다. 하악에서 골 면

적비율은 6주째 즉시 부하군이 높았으며, 12주째에는 유의한 차이가 없었다. 이는 3차원 microCT에 대한 분석결과와 일치하였다.

3. MicroCT 분석을 통한 골 면적비율은 조직시편과 평균 2% 내외로 일치하였으나, 골 접촉률은 2-14% 정도의 차이를 보여주었다.

본 실험에서 교정용 미니 임플란트 식립 후 주변 골조직에 대한 microCT 분석의 정확성을 조직시편 분석을 통해 검증하였다. 상악에서 교정력 부하 12주에 즉시 부하군과 지연 부하군 간에 골 접촉률과 골 면적비율에 유의한 차이가 없었지만 하악에서는 골 접촉률에 유의한 차이가 관찰되었다. 그러나 즉시 부하군에서도 높은 골 접촉률을 보였기 때문에 임상적인 안정성 대한 결과를 검증하기 위해 추후 장기간의 유지기간과 제거 토오크와 동요도와 같은 부가적인 실험이 필요하다고 본다.

핵심되는 말 : 교정용 미니 임플란트, micro-computed tomography, 골 접촉률,
골 면적비율

교정용 미니 임플란트 식립 후 부하시기별 골 조직형태에 대한 Micro-computed tomography와 조직분석 간의 비교

(지도 : 박 영 철 교수)

연세대학교 대학원 치의학과

임 중 기

I. 서 론

교정치료 시 환자의 협조도 없이 적용할 수 있는 새로운 형태의 고정원으로 미니 임플란트, 미니 플레이트, 온플란트가 개발되고 있다 (Kanomi, 1997; Costa 등, 1998; Wehrbein 등, 1999; Park 등, 2004). 각각 시스템의 디자인 차이로 인하여 식립방법과 교정력 부하시기가 다르며, 골조직의 생역학적인 치유기간이 다르므로 교정치료기간 동안 기계적, 생물학적인 안정성을 보장할 수 있는 적용 프로토콜에 대한 개발 및 이해가 필요하다 (Wilmes 등, 2006). 미니 임플란트를 응용한 교정치료결과에 대한 예측도 향상과 적용 범위를 확대시키기 위해 임플란트 주변골에 대한 생물학적인 치유과정에 근거한 안정성 연구가 필요하다.

임플란트의 안정성은 임플란트-골 계면 주위 조직의 생물학적인 특성에 의해 결정되며 주로 조직형태학적인 분석에 의해 평가된다. 골의 조직형태학적인 계측을 통해 골 접촉률(bone implant contact)과 골 면적비율(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). 임플란트에 대한 골 조직형태학적인 분석은 전통적인 방식으로는 절단된

시편을 이용해야 하며 주로 2차원적인 분석을 통해 이루어져왔다 (Roberts, 1988).

최근 micro-computed tomography (microCT)를 이용하여 임플란트 안정성을 평가하기 위한 정량적인 골형태 분석이 이루어지고 있다 (Graichen 등, 1999; Park 등, 2005; Stoppie 등, 2005). MicroCT는 많은 절편의 2차원적인 절단면에 대한 자동적인 분석을 통해 3차원적인 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 분석방법은 임플란트의 안정성 평가에 응용되었으며 3차원적인 분석을 통해 임플란트 주변골의 치유과정에 대한 이해를 높여 주었다 (Van Oossterwyck 등, 2000; Kiba 등, 2003).

MicroCT의 정확도는 엑스 선 광원(x-ray source)의 조사방식(Bernhardt 등, 2004)과 CCD (charge-coupled device) 카메라의 해상도 그리고 이미지 재건 방식과 촬영조건에 다양하게 영향을 받을 수 있으며 특히 임플란트와 같은 높은 에너지 흡수율을 보이는 물체에 대해서는 매식체의 종류와 크기가 주변조직에 선상오류(beam hardening effect)를 발생시킬 수 있으므로 조직시편과의 비교를 통하여 microCT를 이용한 조직형태학적인 분석의 정확도를 검증하는 연구들이 진행되고 있다 (Muller 등, 1998; De Smet 등, 2006).

임플란트 주위의 골 면적비율에 대해 조직 슬라이드와 microCT 사이에는 높은 상관도가 있음이 보고되었으며 이를 이용하여 서로 다른 표면성질의 임플란트의 조기 부하에 대한 안정성 평가 및 치유과정의 분석에 응용된 바 있다 (Bernhardt 등, 2004; Bernhardt 등, 2005; De Smet 등, 2006). 아직까지 골 접촉률에 있어서는 임플란트 주위의 40-100 μm 의 금속허상(metal artifact)에 의해 정확한 분석이 어렵다고 보고되었으나 Rebaudi 등(2004)은 16 μm 고해상도의 microCT를 이용하여 골부착에 대한 개념을 임플란트의 안정성에 응용하여 계측하였으며, Kuroda 등(2004)은 microCT로 임플란트 계면의 골접촉을 계측한 후 스크루를 제거 시 제거(pull-out) 강도를 측정하여 임플란트의 고정력과 골 접촉률과의 상관도를 보고하여 microCT의 응용범위를 확대시켰다.

교정용 미니 임플란트는 보철용 임플란트와는 달리 식립 후 초기 고정력으로도 고정력에 저항할 수 있으므로 미니 임플란트 주변 연조직과 골의 짧은 치유기간 후에 교정치료에 적용할 수 있는 장점이 있다. Deguchi 등(2006)은 self-tapping

타입의 미니 임플란트를 식립할 때 6주, 12주의 치유기간과 비교하여 3주간의 치유기간 후 교정력을 부여해도 미니 임플란트의 장기적인 안정성에 차이가 없다고 보고하였다. 그러나 치유기간은 미니 임플란트의 식립 방법에 영향을 받을 수 있으며 특히 self-tapping 타입의 미니 임플란트의 경우 식립 과정 중 드릴링의 사용으로 임플란트 주변골의 손상 정도가 상대적으로 클 수 있어 교정력을 부여하기 전에 일정기간의 치유기간이 요구된다 (Kerawala 등, 1999; Heidemann 등, 2001; Sowden 등, 2002).

반면 self-drilling 타입의 미니 임플란트의 경우 골 접촉률이 self-tapping 타입의 미니 임플란트에 비해 높아 초기 안정성이 우수하다고 보고되었으나 식립 후 교정력을 개시하기 위한 최소한의 치유기간에 대한 연구와 임상적인 탈락율에 대한 보고는 미비한 상태이다. 따라서 이번 연구의 목적은 self-drilling 타입의 미니 임플란트를 성견에 식립 후 치유기간 동안의 골 조직형태 변화를 상하악으로 나눠서 알아보고, 3주 동안의 치유기간 후 교정력을 부여하는 지연 부하군과, 식립 후 즉시 교정력을 부여하는 즉시 부하군 간에 부하기간별 안정성을 평가하기 위해 조직시편과 함께 microCT를 이용하여 3차원적인 조직형태 분석을 시도하였다. 또한 조직형태 분석에 있어 아직까지 표준적 방법(golden standard)으로 여겨지는 조직 슬라이드의 결과를 이용하여 microCT 분석의 응용가능성을 평가하고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 실험 동물과 실험 재료

본 연구는 12개월 된 12 Kg의 웅성 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.

교정력 부하시기에 따라 세 군으로 분류하였는데, 즉시 부하 실험군(immediate loading group, IL)은 미니 임플란트 식립 직후에 force gauge를 이용하여 250-300 gm 범위의 힘을 탄성체인을 이용하여 부여하였다. 지연 부하 실험군(delayed loading group, DL)의 경우 식립 후 3주의 치유기간 후 동일한 교정력을

부여하였으며 탄성체인은 매 3주마다 교체하였다. 대조군(unloading group)의 경우 힘을 부여하지 않았으며 각각의 실험군은 3주, 6주, 12주 동안 교정력을 부하시켰다. 실험기간 동안 동물의 구강위생을 위해 클로로헥시딘 용액을 이용하여 매일 구강양치를 시행하였다 (Fig. 2).



Fig 1. Implantation site of orthodontic mini-implant.

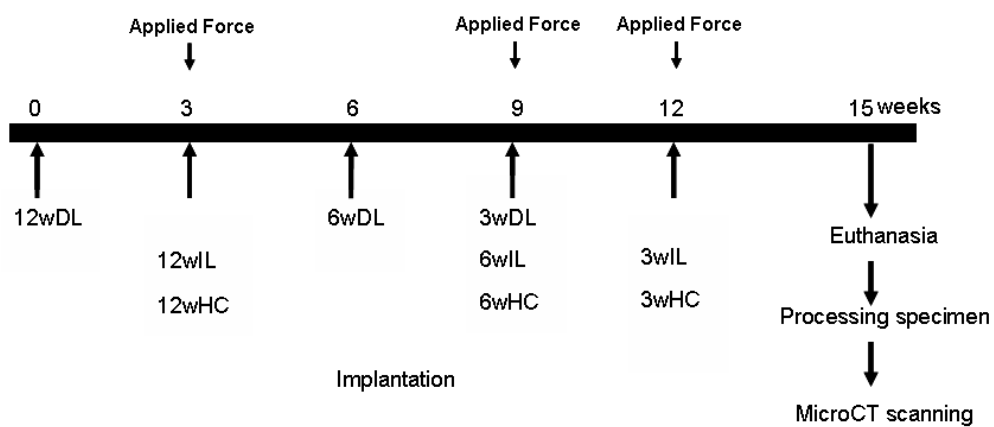


Fig 2. Timetable for placing mini-implants (w=weeks; DL=delayed loading group; IL=immediate loading group; HC=healing control group)

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 tomography의 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 촬영하였다. 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 침부에서 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%의 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. Optimal threshold의 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 manual threshold 기능을 이용하여 gray scale histogram의 intermediate level을 선정하였고 골과 미니 임플란트의 대한 threshold는 미니 임플란트 주변의 금속성 허상이 미니 임플란트 영역에 포함되도록 설정하였다 (Fig. 3).

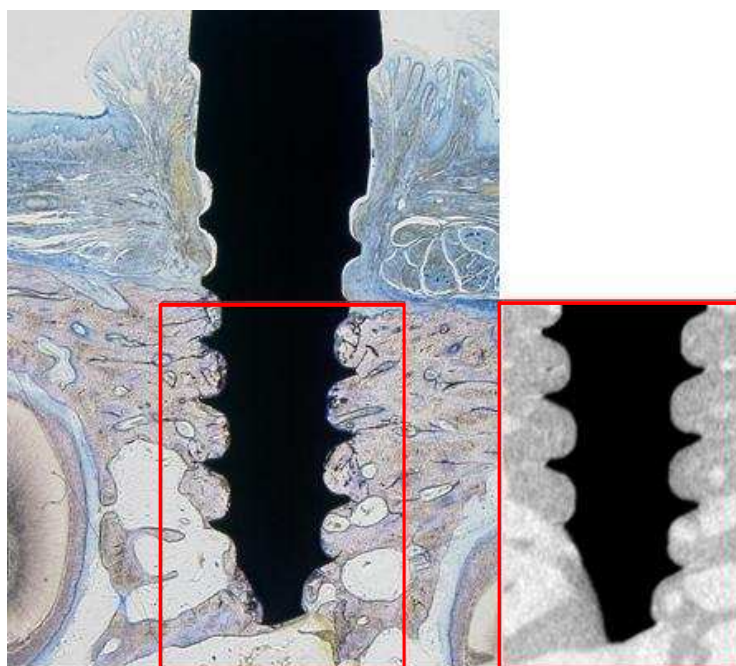


Fig 3. Verification of the trabecular pattern on a histologic slide (left) and micro-computed tomographic image (right).

사. 조직형태학적인 분석 (Histomorphometrical Analysis)

1. MicroCT analysis

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 계측하여 이를 ROI에 포함된 미니 임플란트의 나사산 길이에 대한 %로 계산하였다. 골 접촉률과 골 면적비율은 조직 슬라이드와 microCT 이미지의 해면골 형태가 일치하는 시상 절편(sagittal slice)을 중심으로, 조직 슬라이드의 두께(100-110 μm)와 동일하도록 12개 절편(108 μm , μCT2D : 2차원 microCT 분석)에서 측정하였다. 추가적으로 미니 임플란트 직경과 같은 200개의 절편(1800 μm , μCT3D : 3차원 microCT 분석)에서 골 면적비율과 골 접촉률을 계측하였다.

2. Histological analysis

조직 슬라이드를 광학 현미경하에서 100배로 촬영하여 BMP 파일로 저장하고 이를 Image-Pro Version 3.0 (Cybernetics Media, USA) 프로그램으로 ROI내의 골 접촉률과 골 면적비율을 측정하였다.

아. 통계 분석

SPSS Ver. 11 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램으로 각각의 subgroup에 대하여 상악과 하악을 구분하여 조직 슬라이드와 이와 동일한 두께의 microCT 이미지(108 μm , μCT2D), 미니 임플란트 주위 골 전체를 반영하는 microCT 이미지(1800 μm , μCT3D)에서 계측된 골 면적비율과 골 접촉률의 시기별 평균과 standard error를 구하고 각 변수에 대해 3, 6, 12주에 대한 차이를 Kruskal-Wallis H test를 이용하여 검증하였다.

III. 연구 결과

가. 교정력 부하기간별 비교

상악에서 교정력 부하 3, 6, 12주 후의 골 접촉률과 골 면적비율을 조직시편과 microCT (μ CT2D, μ CT3D)에서 계측하였다.

1. 골 접촉률 (Bone Implant Contact, BIC)

상악의 조직시편 분석에서 6주에서 12주 사이에 유의한 증가가 관찰되었고, 3주에서 6주 사이에서는 유의한 감소가 관찰되었다 ($P < 0.05$). 하악에서는 조직시편 분석에서 3주에서 6주 사이에 유의한 증가를 관찰하였으며 ($P < 0.05$), 3차원 microCT 분석(μ CT3D)에서도 유의한 증가가 관찰되었다 ($P < 0.05$)(Table 2).

2. 골 면적비율 (Bone Volume, BV)

상악에서 골 면적비율은 조직시편 분석에서 3주에서 6주 사이에 유의한 감소가 관찰되었으며 ($P < 0.05$), μ CT3D에서도 유의한 감소가 관찰되었고 6주에서 12주 사이에서는 증가가 관찰되었다 ($P < 0.05$).

하악에서는 조직시편 분석에서 3주에서 6주 사이에 골 면적비율의 유의한 감소가 ($P < 0.01$) 6주에서 12주 사이에서는 증가가 있었으며, microCT 분석에서도 3주에서 6주 기간에 유의한 감소가 관찰되었다 ($P < 0.05$)(Table 3).

Table 2. Bone implant contact values in percent for different analysis and loading times

Bone Implant Contact (%)													
Loading period (wks)	Maxilla						Mandible						
	Histology		μ CT2D		μ CT3D		Histology		μ CT2D		μ CT3D		
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	
3	52.9	7.4	54.2	1.9	60.1	2.4	66.9	4.2	63.8	4.1	68.2	3.0	
6	48.4	3.3	47.1	3.5	53.7	3.0	74.1	4.7	69.2	6.9	79.6	1.3	
12	65.5	6.1	45.7	4.4	56.7	3.5	75.3	3.2	70.8	4.3	74.0	3.5	
Sig	*		NS		NS		*		NS		*		

μ CT2D; μ CT image with the same thickness of its histologic slide, μ CT3D; μ CT image that covers bone all around the mini-implant, SE; standard error of mean, statistically significant difference between periods by Kruskal-Wallis H test, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; NS, not significant.

Table 3. Bone volume values in percent for different analysis and loading times

Bone Volume (%)													
Loading Period (wks)	Maxilla						Mandible						
	Histology		μ CT2D		μ CT3D		Histology		μ CT2D		μ CT3D		
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	
3	56.9	4.0	63.3	5.6	59.0	4.0	69.8	5.7	78.7	3.9	76.7	3.5	
6	44.5	3.3	44.7	2.0	43.5	2.0	50.6	10.3	52.8	6.0	59.1	1.6	
12	53.0	8.5	50.1	9.6	52.1	7.5	66.0	6.5	70.0	9.4	66.3	7.3	
Sig	*		NS		*		**		*		**		

μ CT2D; μ CT image with the same thickness of its histologic slide, μ CT3D; μ CT image that covers bone all around the mini-implant, SE; standard error of mean, statistically significant difference between periods by Kruskal-Wallis H test, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; NS, not significant.

나. 즉시, 지연 부하 간 비교

미니 임플란트 식립 직후에 교정력을 부하한 즉시 부하군과 3주간 치유기간 후에 부하한 지연 부하군, 교정력을 가하지 않은 대조군에서 골 접촉률과 골 면적비율을 조직시편과 microCT에서 측정하였다.

1. 골 접촉률

상악에서 전체 교정력 부하기간 동안 즉시 부하군이 가장 높은 골 접촉률을 보여주었으며 ($P < 0.05$), 대조군과 지연 부하군 간의 유의성은 관찰되지 않았다. 2차원 microCT 분석(μ CT2D)에서는 그룹 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았으며 μ CT3D에서 즉시 부하군이 가장 높은 골 접촉률을 보였으나 그룹 간에 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 하악의 골 접촉률은 대조군에서 가장 낮게 관찰되었으나 그룹 간에 유의성은 관찰되지 않았으며 μ CT2D와 μ CT3D에서도 그룹간의 유의성은 관찰되지 않았다 (Table 4).

2. 골 면적비율

상악에서 골 면적비율은 조직시편 분석과 μ CT2D 및 μ CT3D에서 즉시 및 지연 부하군 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았으나 대조군에서 가장 낮은 골 면적비율이 관찰되었다. 하악에서도 실험군 간에 유의한 차이는 관찰되지 않았으나 대조군에서 가장 높은 골 면적비율이 측정되었다 (Table 5).

Table 4. Bone implant contact values in percent for different analysis and subgroups

Bone Implant Contact (%)												
Subgroup	Maxilla						Mandible					
	Histology		μCT2D		μCT3D		Histology		μCT2D		μCT3D	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
IL	57.9	7.7	48.8	3.0	59.5	3.6	71.1	2.4	69.5	4.0	71.1	3.4
DL	51.7	6.6	48.4	2.9	54.9	2.8	73.0	6.1	61.8	6.7	70.5	5.8
Control	53.6	4.3	49.8	5.0	55.4	2.8	65.9	5.8	68.3	3.8	72.7	2.4
Sig	*		NS		NS		NS		NS		NS	

μCT2D; μCT image with the same thickness of its histologic slide, μCT3D; μCT image that covers bone all around the mini-implant, IL; immediate loading group, DL; delayed loading group, Control; unloading group, SE; standard error of mean, statistically significant difference between periods by Kruskal-Wallis H test, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; NS, not significant.

Table 5. Bone volume values in percent for different analysis and subgroups

Bone Volume (%)												
Subgroup	Maxilla						Mandible					
	Histology		μCT2D		μCT3D		Histology		μCT2D		μCT3D	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
IL	51.7	5.1	56.6	6.0	53.6	5.0	62.7	5.5	65.2	7.8	63.2	6.5
DL	53.7	6.0	52.1	6.0	50.5	4.8	64.8	9.6	70.4	7.9	68.9	5.4
Control	48.4	4.7	47.5	6.8	48.2	5.3	72.2	5.0	77.7	6.7	76.7	5.2
Sig	NS		NS		NS		NS		NS		NS	

μCT2D; μCT image with the same thickness of its histologic slide, μCT3D; μCT image that covers bone all around the mini-implant, IL; immediate loading group, DL; delayed loading group, Control; unloading group, SE; standard error of mean, statistically significant difference between periods by Kruskal-Wallis H test, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; NS, not significant.

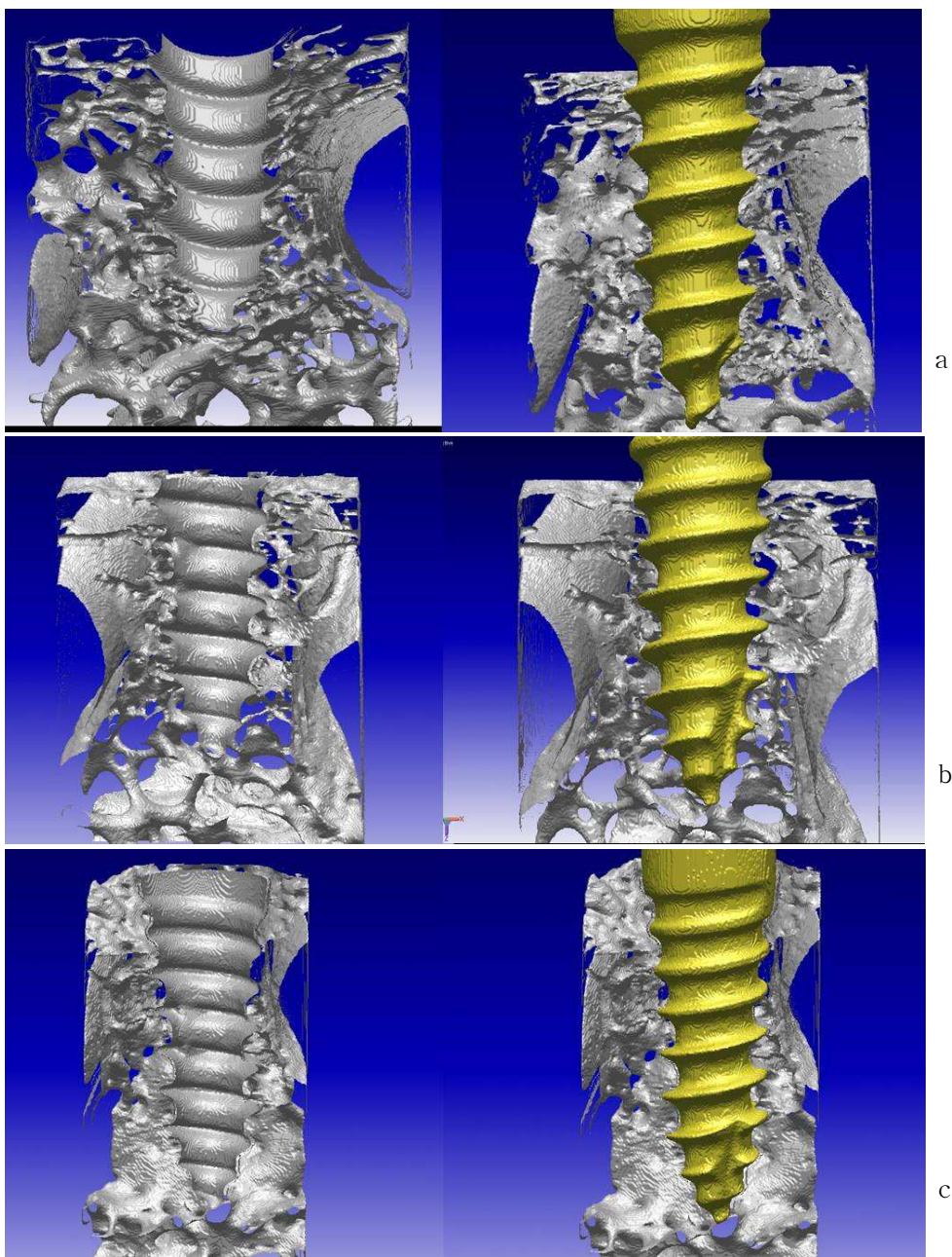


Fig 4. Descriptive views of three bone volumes of interests for bone volume fraction (BV/TV) microCT analysis at 3(a), 6(b), and 12(c) weeks of loading periods with implant (right side) and without implant (left side).

다. Subgroup에 대한 교정력 부하기간별 안정성 비교

교정력 부하시기에 따른 subgroup (즉시, 지연 부하군, 대조군)에서 부하기간별 골 접촉률과 골 면적비율을 조직시편과 microCT에서 계측하였다.

1. 골 접촉률

교정력 부하 3주째 상악에서 즉시 및 지연 부하군에 있어서 골 접촉률의 유의한 차이는 μ CT3D에서만 관찰 되었으며 하악에서는 지연 부하군에서 낮은 골 접촉률이 μ CT2D와 μ CT3D에서 관찰되었다. 6주 동안의 부하 후 상악에서는 실험군 간에 유의한 차이가 조직시편 분석과 microCT 분석에서 발견되지 않았다. 하악에서는 조직시편 분석에서 유의한 차이가 관찰되지 않았으나 μ CT2D에서 유의한 차이가 관찰되었다. 12주째 상악의 골 접촉률에 있어 지연 부하군과 즉시 부하군에 유의한 차이는 관찰되지 않았으나 하악에서는 지연 부하군에서 높은 골 접촉률이 조직시편 분석, μ CT2D, μ CT3D에서 유의하게 관찰되었다 ($P < 0.05$)(Table 6).

2. 골 면적비율

교정력 부하 3주째 상악의 실험군에서 골 면적비율에 유의한 차이는 관찰되지 않았으며 하악에서도 나타나지 않았다. 6주째에 상악은 모든 그룹에서 골 면적비율이 감소하였으며 각 군 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 하악에서는 지연 부하군의 골 면적비율이 즉시 부하군보다 낮게 측정되었으나 ($P < 0.05$), μ CT2D, μ CT3D에서 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 12주째 상악에서 조직분석과 microCT 분석에서 군 간의 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 하악에서는 조직시편 분석에서 지연 부하군의 골 면적비율이 즉시 부하군에 비해 높았으나 통계학적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 μ CT3D에서도 일치하였다 (Table 7).

Table 6. Bone implant contact in percent of each subgroup for different loading period

		Bone Implant Contact (%)											
		Maxilla						Mandible					
Loading period (wks)	Subgroups	Histology		μ CT2D		μ CT3D		Histology		μ CT2D		μ CT3D	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
3	IL	52.1	20.6	54.4	5.3	65.4	0.4	66.4	3.5	64.3	5.9	66.5	6.2
	DL	48.7	9.6	52.4	3.3	56.1	3.6	65.1	12.9	50.7	6.9	51.0	8.4
	Control	58.0	11.2	56.7	1.9	60.7	5.3	55.8	8.4	63.2	3.9	70.3	1.5
Sig		<i>NS</i>		<i>NS</i>		*		<i>NS</i>		*		*	
6	IL	48.5	2.5	47.4	2.1	59.0	8.2	72.1	4.1	76.1	5.5	78.3	6.4
	DL	48.3	5.4	44.5	6.4	52.4	3.5	70.1	8.1	54.2	8.1	64.4	16.4
	Control	52.7	3.7	56.5	5.4	56.5	1.8	66.3	4.5	60.2	5.5	62.2	9.8
Sig		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		*		<i>NS</i>	
12	IL	67.9	15.1	54.3	1.3	58.9	3.2	67.2	4.1	56.4	4.3	62.9	4.8
	DL	75.6	2.5	50.4	2.4	63.6	1.0	75.2	1.2	73.5	3.7	77.9	2.4
	Control	52.9	7.6	32.5	3.1	47.6	6.0	76.5	2.4	67.2	8.1	65.2	5.5
Sig		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		*		*		*	

μ CT2D; μ CT image with the same thickness of its histologic slide, μ CT3D; μ CT image that covers bone all around the mini-implant, *IL*; immediate loading group, *DL*; delayed loading group, Control; unloading group, SE; standard error of mean, statistically significant difference between periods by Kruskal-Wallis H test, $*P < 0.05$; $**P < 0.01$; *NS*, not significant.

Table 7. Bone volume in percent of each subgroup for different loading period

		Bone Volume (%)											
		Maxilla						Mandible					
Loading period (wks)	Subgroups	Histology		μ CT2D		μ CT3D		Histology		μ CT2D		μ CT3D	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
3	IL	58.5	1.7	61.4	4.6	60.1	6.1	63.1	6.1	68.9	6.2	65.7	3.6
	DL	61.2	10.8	59.5	13.2	53.1	7.9	70.3	13.6	59.7	11.2	59.7	6.2
	Control	61.0	3.9	70.8	4.8	66.8	0.8	66.9	2.9	69.4	2.7	70.8	3.9
Sig		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>	
6	IL	47.6	3.5	45.1	4.0	44.2	2.4	67.7	5.5	56.0	6.2	53.7	6.2
	DL	43.5	7.5	45.3	3.5	43.3	5.1	51.2	7.4	53.3	7.5	55.5	3.6
	Control	42.3	7.6	43.6	4.3	43.0	3.8	51.3	6.5	46.5	6.5	45.3	1.5
Sig		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		*	<i>NS</i>		<i>NS</i>		
12	IL	62.7	23.1	69.0	17.8	61.3	15.4	62.3	10.6	58.7	10.7	59.2	10.2
	DL	57.9	15.1	51.3	17.1	57.4	15.8	74.3	4.6	76.5	4.1	70.3	5.4
	Control	38.4	0.9	30.0	1.9	37.4	5.7	69.0	4.6	66.6	4.5	62.4	11.7
Sig		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		<i>NS</i>		*	<i>NS</i>		

μ CT2D; μ CT image with the same thickness of its histologic slide, μ CT3D; μ CT image that covers bone all around the mini-implant, *IL*; immediate loading group, *DL*; delayed loading group, Control; unloading group, SE; standard error of mean, statistically significant difference between periods by Kruskal-Wallis H test, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *NS*, not significant.

라. 부하기간별 조직시편과 microCT 분석 간의 골 접촉률 과 골 면적비율 차이

3주째 골 접촉률은 조직시편과 비교하여 μ CT2D에서 6.7% 감소하였으며 μ CT3D에서 2.6% 감소하였다. 6주째에서는 그 차이가 감소하였고 12주째에는 조직시편 분석에 비해 μ CT2D는 13.9%, μ CT3D는 6.9%가 감소하였다. 골 면적비율에서 3주째 μ CT2D가 0.7% 증가하였으며 6주째에서 2.1% 증가하다가 12주에서는 0.3%로 차이가 감소하였다. μ CT3D도 12주에서 0.5%로 차이가 감소하였다.

Table 8. Comparison of histological and microCT analysis for bone implant contact and bone volume at different loading periods

Loading period (wks)	Position		Bone Implant Contact (%)		Bone Volume (%)	
			$\Delta\mu$ CT2D	$\Delta\mu$ CT3D	$\Delta\mu$ CT2D	$\Delta\mu$ CT3D
3	Maxilla	Mean	10.8	6.2	7.7	11.0
		SD	38.8	42.2	24.6	23.2
	Mandible	Mean	3.4	-0.4	-7.5	-5.4
		SD	21.6	20.9	21.1	19.7
	Total	Mean	6.7	2.6	-0.7	2.0
		SD	29.9	31.5	23.5	22.4
6	Maxilla	Mean	1.3	-5.3	-0.2	1.0
		SD	16.1	10.5	10.4	7.1
	Mandible	Mean	12.6	5.1	-7.9	-10.7
		SD	12.7	11.6	10.6	15.1
	Total	Mean	4.2	-2.7	-2.1	-1.9
		SD	15.6	11.2	10.5	10.3
12	Maxilla	Mean	19.7	8.8	2.9	0.9
		SD	10.6	8.2	8.0	5.8
	Mandible	Mean	8.1	4.9	-2.4	0.1
		SD	7.5	6.5	12.7	10.9
	Total	Mean	13.9	6.9	0.3	0.5
		SD	10.6	7.3	10.5	8.3

IV. 고찰

교정력을 움직이려는 치아(moving part)에 가하게 되는 경우 Newton의 제3법칙인 ‘작용-반작용’에 의해 움직이기 원하지 않는 치아(anchor part)도 이동하게 된다. 하지만 교정용 미니 임플란트는 교정력에 움직이지 않는 절대 고정원(absolute anchorage)이기 때문에 원치 않는 치아이동을 줄일 수 있고, 힘의 적용점(point of force application)을 변화시켜서 전통적인 교정치료에서 불가능했던 다양한 교정치료를 가능하게 했다. 임상적으로 미니 임플란트 식립을 기초로 치료계획을 수립하는 경우가 많아졌기 때문에 탈락되지 않는 안정적인 미니 임플란트의 식립이 교정 치료 결과에 큰 영향을 미치게 되었다. 미니 임플란트 안정성에 관한 연구는 임상적 탈락율과 임플란트 주변골의 조직형태학적인 연구로 나뉠 수 있는데, 식립 후 주변 골조직의 치유과정에 관한 이해와 그로 인한 임상적 가이드라인을 정립하기 위해서는 조직형태학적 기초 연구가 필요하다.

임플란트 주변골의 조직형태학적인 분석은 일반적으로 조직시편을 이용한 2차원적인 분석을 통해 이루어져왔다. 하지만 비탈회 골시편에 대한 슬라이드 제작 시 많은 시간과 노력이 들어가며 기술적인 부분에서도 특별한 지식을 필요하다는 문제점을 가지고 있다. 더욱이 시편제작 중 임플란트가 주위 골조직에서 이탈되는 경우도 있으며 연마도중 손상을 받거나 과도하게 삭제되어 임플란트 원래의 직경과 형태를 유지시키기 힘들다는 단점이 있다 (Wolf 등, 1980; Bernhardt 등, 2004).

최근에 microCT를 이용해서 임플란트 주변 골조직의 정량적인 분석을 시도하고 있는데, 조직 슬라이드 분석에 비해서 비파괴적이고 원하는 단면을 여러 부위에서 관찰할 수 있으며, 3차원 분석이 가능하다는 장점이 있다. MicroCT는 이미 정형외과 분야에서 조직 슬라이드와의 비교를 통해 조직형태분석에 정확성을 입증받았으며 치과영역에서는 조직의 손상 없이 간접적으로 임플란트 계면에 대한 정보를 채득할 수 있다고 보고되었다 (Akca 등, 2006).

임플란트 계면의 골형태 분석을 위해서는 microCT의 해상도와 임플란트 주변에 발생될 수 있는 허상을 감소시키기 위한 특화된 촬영술식과 기술이 요구된다.

또한 광원의 종류가 microCT의 정확성에 영향을 미칠 수 있는데 Bernhardt 등 (2004)은 3차원 microCT 방식 중 SR microCT (synchrotron-radiation based microCT) 방식과 여러 종류의 cone beam microCT를 이용하여 임플란트 주변의 새롭게 생성된 골에 대한 정량적인 3차원 미세구조에 대해 분석하였다. 그는 SR microCT 방식의 3차원 분석 방법의 높은 정확성을 보고하면서 cone beam 형태의 microCT로 촬영 시 임플란트 주변의 broad spectrum의 에너지에 의한 선상오류 (beam hardening effect)로 인하여 임플란트 주변의 큰 허상(artifact)이 관찰되었음을 지적하면서 골접촉 및 골부피 측정에 어려움을 보고한 바 있다. 그러나 이번 연구에 사용된 cone beam 방식의 microCT는 기존에 사용된 해상도에 비해 2배 정도 향상되었고 시편이 1.8 mm의 작은 폭경으로 선상오류가 감소되었으며, PMMA (poly-methylmethacrylate)에 조직시편을 매몰하지 않고 촬영함으로써 이전 연구에서 골과 매몰제 간에 optimal threshold를 선정하는데 일어날 수 있는 어려움 없이 임플란트 주변골의 골접촉과 골부피 측정을 할 수 있었다. 물론 SR microCT방식이 정확성은 우수하지만 아직까지 설치를 위해 큰 부피와 공간을 필요로 하며 매우 고가의 장비라는 점을 감안할 때 현재 cone beam 방식의 microCT가 현실적으로 응용범위가 넓다고 볼 수 있겠다.

금속성 필터를 사용하였을 경우 정확도의 향상에 대해 보고된 바가 있으므로 (Bernhardt 등, 2005) 0.5 mm 두께의 알루미늄 필터와 얇은 구리필터를 함께 사용하여 촬영하였다. 필터의 사용으로 임플란트 주변에 산란되는 x-ray spectrum의 낮은 에너지 부분들을 제거함으로써 계면에 대한 계측 정확도를 향상시킬 수 있다. 그러나 금속성 필터의 두께가 증가하여 전체 photon flux가 감소될 경우 해상도에 부정적인 영향을 미치므로 밀도가 높은 구리를 알루미늄 필터와의 hybrid 타입으로 이용하여 두께를 조절할 수 있었다.

MicroCT는 살아있는 실험동물을 촬영하여 골 조직형태분석이 가능하다는 장점이 있으나 이번 연구에 사용된 동물의 크기로 인하여 동일 매식체에 대한 장기적인 연구는 불가능하였다. 그러나 시기별로 식립된 임플란트에 대한 일련의 골의 치유과정을 분석하였다는 점에서 의미가 크다고 할 수 있다.

조직시편을 이용한 분석법을 통해 부하기간(loading period)에 따라 유의성 있는

골 면적비율의 변화가 관찰되었다. MicroCT를 이용한 분석에서 6주째 골 면적비율의 감소가, 12주에서 증가가 상하악 모두에서 관찰되었는데 이러한 결과는 조직시편 분석과 일치되는 결과이었으므로 그 의의가 크다고 볼 수 있다. 조직 슬라이드와 microCT에서 측정된 골 면적비율의 상관분석 결과, Muller 등(1998)의 0.93이나 Stoppie 등(2005)의 0.86으로 매우 높은 상관성을 보고한 바 있다.

3주에서 6주 사이에 골 면적비율이 감소하는 것은 1차적인 치유과정 중에 주변골의 개조가 일어나기 때문에 나타나는 현상이라고 생각되며 이는 외과적인 술식이나 골의 변형에 따른 microdamage에 의해 일어날 수 있다고 생각한다 (Burr 등, 1998; Huja 등, 1999; Burr, 2003). 그러나 시간이 지날수록 주변골의 흡수는 안정화 되며 새로운 골의 생성으로 인하여 골 면적비율은 증가하게 된다. 이러한 결과는 이전의 보철용 임플란트에 대한 치유과정과 유사하다 (Garetto 등, 1995).

즉시 부하군과 지연 부하군의 조직시편 분석에서 골 면적비율을 살펴보면 상악에서는 두 군 모두 6주째 감소하다가 12주째 증가하는 양상을 보였고 microCT 분석에서도 일치하였다. 하지만 두 군 간에 통계학적인 유의한 차이는 없었다. 하악의 조직시편 분석에서 부하기간 6주에 즉시 부하군이 지연 부하군보다 높은 골 면적비율을 보였지만 12주에서는 두 군 간에 유의한 차이가 없었다. 3차원 microCT 분석에서도 12주에 실험군 간에 유의한 차이가 없었다. 상악에서 교정용 미니 임플란트 식립 후 일정한 치유기간을 거치지 않고 즉시 교정력을 부하하더라도 안정성에 큰 영향을 미치지 않을 수 있다고 생각된다. 반면 하악은 부하기간 6주에는 즉시 부하군이 유의하게 높은 골 면적비율을 보였고, 12주에는 통계적 유의성은 없지만 지연 부하군이 더 높은 측정치를 보였기 때문에 장기간의 유지기간 동안의 관찰이 필요하다고 생각한다.

골 접촉률도 부하기간에 따른 변화가 있었다. 하악에서 부하기간에 따라 점진적인 증가가 조직시편과 microCT 분석에서 관찰되었고, 상악에서는 3주에서 6주 사이에 감소하는 양상이 조직시편과 microCT 분석에서 일치하였다. 그러나 상악의 조직시편 분석에서 6주째 감소하다가 12주째 증가하는 양상을 microCT에서는 관찰하지 못했다. 실험견의 상악골은 하악골과 달리 주로 해면골로 구성되어 있으므로 임플란트 계면에서 거리가 증가할수록 망상골 구조가 매우 얇고 두께 변화가

심하며 새로 생성된 임플란트 주변골의 파악에 문제가 있을 수 있다고 본다. 따라서 microCT에 의한 분석을 통해 골 접촉률 보다는 골 면적비율에서 더욱 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다고 볼 수 있으며 이는 임플란트 주변의 허상과 골의 형태와 질에 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 피질골로 구성된 하악에서는 상대적으로 높은 정확도를 관찰할 수 있었다.

골질이 단단한 하악의 피질골에서 상악보다는 전반적으로 높은 골 접촉률을 보였다. 하지만 임상적으로 상악보다는 하악에서 미니 임플란트의 탈락율이 좀더 높게 관찰되기 때문에 골 조직형태학적 연구 외에 음식물 섭취등과 같은 추가적인 요인에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 생각한다.

즉시 부하군과 지연 부하군 간에 조직시편 분석에서 상악의 골 접촉률은 부하기간 동안 실험군 간에 유의한 차이는 발견되지 않았다. 3주째 3차원 microCT 분석(μ CT3D)을 제외하고 모든 구간에서 조직시편 분석과 microCT 분석에서 두 군 간에 유의성이 관찰되지 않았다. 하악에서는 3주와 6주에서는 유의한 차이가 없다가 12주에는 지연 부하군이 즉시 부하군보다 높은 골 접촉률을 나타냈다. MicroCT 분석에서도 12주에 유의한 차이가 관찰되었다. 상악에서 골 면적비율과 마찬가지로 골 접촉률도 부하시기에 따라 분류한 실험군 간에 유의한 차이가 없었다. 하악에서는 12주에 지연 부하군이 유의하게 높은 계측치를 보였기 때문에 일정한 치유기간 후에 교정력을 부하하는 것이 골 조직형태학적으로 유리하다고 판단할 수 있으나 즉시 부하군도 비교적 높은 골 접촉률을 보였기 때문에 실지로 미니 임플란트의 안정성에 영향을 줄 수 있는지에 대해서는 제거 토오크와 같은 기계적인 시험이 필요하리라 생각된다.

Bernhardt 등(2004)은 생성된 골부피의 측정에서 SR CT의 경우 1% 정도의 차이를 보고하였으며 다른 cone beam 형태의 경우 30-32% 정도 증가한다는 사실을 보고하였다. Stoppie 등(2005) 역시 8% 정도의 골 면적비율이 증가한다고 보고하였으며 Rebaudi 등(2004)은 microCT에서 3% 정도 감소한다고 하였다. 반면 골 접촉률에 있어서는 골과 임플란트의 상이한 감약계수 때문에 microCT는 골과 임플란트 계면을 직접 관찰할 수 없는 본질적인 한계를 가지고 있다. 본 연구에서 금속성 허상을 36 μ m로 가정하였으나 45 μ m 즉 임플란트 계면에서 5 pixel 외측

부위부터 골 접촉률을 계산하였으므로 엄밀히 말하자면 골-임플란트 계면에 가까운 골접촉이라고 표현해야 할 것이다. 이미 Rebaudi 등(2004)은 금속성 허상을 임플란트에 포함시켜 골 접촉률을 측정하고 이 측정치를 Bone Implant Apposition (BIA)이라고 하였다.

부하기간별 군 간에 있어 2차원 microCT 분석(μ CT2D)과 3차원 microCT 분석(μ CT3D)은 대부분 유사한 값을 보여주었다. 상악에서는 3주째 μ CT3D의 골 접촉률이 μ CT2D에 비해 평균 6% 정도 증가하였으며 12주째에서는 9% 정도 증가하였다. 하악에서도 역시 5-10% 정도의 증가되었다. 반면 골 면적비율에서는 3주째 상악에서 동일하거나 3% 감소되었으며 12주에서 2%의 증가가 관찰되었으며 이러한 수치는 조직시편과 매우 유사하였다. 반면 하악에서는 골 면적비율이 μ CT3D에서 6주째 6% 정도의 증가하였으며 반면 12주에서는 4% 정도의 감소가 관찰되었다. 그러나 유의한 수준의 차이가 아니었으므로 결과를 해석하기에는 제약이 있을 수 있다.

이번 연구에서 기존 microCT 연구와의 차이점은 교정용 미니 임플란트와 주변골을 구분하는데 자동적인 segmentation 보다는 manual segmentation을 이용하였다는 점이다. Spectrum에서 골선율이 변화되는 점을 자동적으로 optimal threshold로 잡아주는 경우 골부피의 현격한 증가가 관찰되었으며 골 접촉률도 함께 증가하였기 때문이다. 여기서 manual 방식이란 조직시편의 골편을 분석하여 동일한 이미지를 얻을 수 있는 optimal threshold를 잡아주는 방식이므로 조직시편이 없는 경우 골형태를 비교할 수 없는 단점이 있다 (Waarsing 등, 2004). 그러나 automatic threshold를 사용하는 경우 general threshold algorithm이므로 선상 오류가 심한 경우나 조직이 균일하지 않을 경우 special volume effect에 의해 골인 부분의 voxel도 골질로 인식하지 못하게 되는 현상으로 골 면적비율에 실질적인 차이를 유발시킬 수 있기 때문에 manual 방식을 선택하였다. 그러나 manual 방식은 주관적인 방식으로 optimal threshold를 결정하기 때문에 관찰자 간 오차가 있을 수 있는 단점이 있다.

본 실험은 교정용 미니 임플란트 식립 후 주변골의 치유과정을 microCT를 이용한 골 조직형태학적 분석을 시행하였고, 그 정확성을 조직시편 분석을 통해 검증

하였다. 교정력 부하시기와 골질의 특성에 따라 다른 양상이 관찰되었으며, 향후 안정성에 대한 결과를 검증하기 위한 제거 토오크와 같은 기계적인 실험과 음식물 섭취등과 같은 부가요인에 관한 추가실험이 필요하다고 생각한다.

V. 결론

본 연구는 micro-computed tomography(microCT)를 이용하여 교정용 미니 임플란트 주변조직의 3차원적 분석을 통해 식립 후 교정력 부하시기에 따른 미니 임플란트 주변조직의 치유과정을 3주, 6주 12주에 걸쳐 조직시편과 비교 분석하고자 하였다. 12개월 된 12 Kg의 웅성 성견(Beagle Dog) 8마리를 대상으로 직경 1.8 mm, 길이 7 mm의 self-drilling 타입의 교정용 미니 임플란트(ORLUS, Ortholution CO., Seoul, Korea)를 식립하였으며 총 96개가 사용되었다. MicroCT와 조직시편에 대한 골 조직형태학 분석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 즉시 부하군과 지연 부하군 간의 조직시편 분석에서 골 접촉률은 상악에서 실험군 간에 부하기간별 유의한 차이는 발견되지 않았다. 하악에서는 지연 부하군이 12주째에 즉시 부하군보다 유의하게 높았고, 3차원 microCT 분석에서 동일한 결과를 보였다.
2. 조직시편 분석에서 골 면적비율은 상악에서 모두 6주째 감소하다가 12주째 다시 증가하였으며 실험군 간에 유의한 차이는 발견되지 않았다. 하악에서 골 면적비율은 6주째 즉시 부하군이 높았으며, 12주째에는 유의한 차이가 없었다. 이는 3차원 microCT에 대한 분석결과와 일치하였다.
3. MicroCT 분석을 통한 골 면적비율은 조직시편과 평균 2% 내외로 일치하였으나, 골 접촉률은 2-14% 정도의 차이를 보여주었다.

본 실험의 조직시편 분석을 통해 microCT 분석의 유용성을 검증하였으며 골질의 특성과 교정력 부하시기에 따라 서로 다른 양상이 관찰되었다. 상악에서는 12주에 즉시 부하군과 지연 부하군 간에 골 접촉률과 골 면적비율에 유의한 차이가 없었지만 하악에서는 골 접촉률에 유의한 차이가 관찰되었다. 그러나 즉시 부하군

에서도 높은 골 접촉률을 보여줌으로써 임상적인 안정성에 차이를 보일 것이라고 생각되지는 않는다. 따라서 추후 안정성에 대한 결과를 검증하기 위해 장기간의 유지기간과 제거 토크와 동요도와 같은 기계적인 측정 시험이 필요하다고 본다.

참고 문헌

- 김태경 : Micro-computed tomography를 이용한 교정용 미니 임플란트 골계면 분석의 유효성. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2006
- 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
- Chang HN, Garetto LP, et al. : Angiogenic induction and cell migration in an orthopedically expanded maxillary suture in the rat. *Arch Oral Biol* 41(10): 985-94, 1996
- Costa A, Raffainl M, et al. : Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 13(3): 201-9, 1998
- De Smet E, Jaecques SV, et al. : Effect of controlled early implant loading on bone healing and bone mass in guinea pigs, as assessed by micro-CT and histology. *Eur J Oral Sci* 114(3): 232-42, 2006
- 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

- 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
- 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
- Huja SS, Katona TR, et al. : Microdamage adjacent to endosseous implants. *Bone* 25(2): 217-22, 1999
- Kanomi R : Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31(11): 763-7, 1997
- Kerawala CJ, Martin IC, et al. : The effects of operator technique and bur design on temperature during osseous preparation for osteosynthesis self-tapping screws. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 88(2): 145-50, 1999
- 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
- Kuroda S, Viridi AS, et al. : A low-temperature biomimetic calcium phosphate surface enhances early implant fixation in a rat model. *J Biomed Mater Res A* 70(1): 66-73, 2004
- 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
- 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
- Sowden D, Schmitz JP : AO self-drilling and self-tapping screws in rat calvarial bone: an ultrastructural study of the implant interface. *J Oral Maxillofac Surg* 60(3): 294-9; discussion 300, 2002
- 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 Oosterwyck 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
- Wilmes B, Rademacher C, et al. : Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop* 67(3): 162-174, 2006
- Wolf E, Pompe B : Rational simplified plastic embedding with polymethacrylate for non-decalcified bone sections. *Z Gesamte Inn Med* 35(13): 561-4, 1980

Yoshikawa T, Ohgushi H, et al. : Biochemical and histological sequences of membranous ossification in ectopic site. *Calcif Tissue Int* 50(2): 184-8, 1992

Abstract

The comparison of subsequent bone formation after orthodontic mini-implant installation between Micro-computed tomography and histological analysis

Joong Ki Lim

Department of Dentistry, The Graduate School, Yonsei University

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

Recently, qualitative histomorphometric analysis using micro-computed tomography (microCT) was performed for the evaluation of implant stability. MicroCT has the ability to construct 3-dimensional data without tissue damage. This new method could be utilized for the evaluation of stability of the orthodontic mini-implant, and could demonstrate the healing process of the surrounding bone structure.

The purpose of this study was to evaluate subsequent changes during the healing process around the implant-bone interface at 3, 6, and 12 weeks after mini-implant installation using 3-dimensional microCT analysis. 96 orthodontic mini-implants (*ORLUS*, Ortholution CO., Seoul, Korea) were placed in the buccal jaw bone of 8 beagle dogs. After histomorphometric analysis of microCT and histological samples, the following results were obtained:

1. The bone implant contact (BIC) of the maxilla for both experimental groups did not show significant difference according to loading periods. For the

mandible, the BIC of the delayed loading group was higher than that of the immediate loading group at 12 weeks of loading. This was in accordance with the results of the 3-dimensional microCT analysis.

2. The bone volume (BV) of both the immediate and delayed loading groups decreased up to 6 weeks and then increased after 12 weeks of loading in the maxilla; showing no significant difference between the two groups. For the mandible, the immediate loading group demonstrated higher BV compared to the delayed loading group at 6 weeks while showing no significant difference at 12 weeks. This was in accordance with the results of the 3-dimensional microCT analysis.

3. The difference of BIC and BV between microCT analysis and the histological samples were within a 2% to 14% range.

The results of this study confirmed the accuracy of microCT analysis through tissue sample analysis, and its accuracy differed according to the healing period and bone characteristics. For the maxilla, BIC and BV showed similar values between the two groups at 12 weeks of loading, but for the mandible, the BIC of the delayed loading group was significantly higher than the immediate loading group. However, since the immediate loading group also showed a high bone contact ratio, clinical stability is considered to be similar. Therefore, in order to evaluate long-term stability, further studies with a longer retention period, and studies with mechanical tests involving mobility and removal torque are required in the future.

Key words : orthodontic mini implant, micro-computed tomography,
bone implant contact, bone volume