피질골과 해면골에서 Micro-computed tomography 를 이용한 교정용 미니 임플란트의 3 차원적 골접촉률 분석

연세대학교 대학원
치의학과
이 장 열

피질골과 해면골에서 Micro-computed tomography 를 이용한 교정용 미니 임플란트의 3 차원적 골접촉률 분석

지도: 백 형 선 교수

이 논문을 박사 학위논문으로 제출함

2009 년 6 월 일

연세대학교 대학원

치의학과

이 장 열

이장열의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2009 년 6 월 일

감사의 글

먼저 본 논문이 완성되기까지 지극한 관심으로 보살펴주시고 아낌없는 조언과 지도를 해주신 백형선 교수님께 무한한 존경과 감사를 드립니다. 또한 교정학이라는 소중한 배움의 기회를 주시고 저를 현재의 위치에 설 수 있도록 많은 가르침 주시고 이끌어 주신 박영철 교수님, 황충주 교수님, 김경호 교수님, 유형석 교수님께 감사 드리며 강단을 떠나셨지만 끝없는 사랑과 열정으로 지도하여 주셨던 유영규 교수님, 손병화 교수님, 최광철 교수님께도 진심으로 감사 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에 실험의 세부적인 사항 하나 하나까지 손수 챙겨 주신 이기준 교수님께 특별하고 소중한 감사 드립니다. 또한 논문이 완성되기까지 세심한 조언과 지도를 아끼지 않으셨던 최성호 교수님과 정한성 교수님께도 진심으로 감사 드립니다.

아울러 실험을 위해 많은 도움을 준 차정열 교수님과 조용민 선생님, 송진욱 선생님 그리고 교정학교실 의국원 여러분께도 감사의 말을 전합니다.

또한 바쁠 때 뒤에서 묵묵히 지원하여 준 김태관 선생님과 미국에서 응원 보내준 오창옥 선생님 그리고 다른 스마일어게인 식구들에게도 감사의 말씀을 전합니다.

마지막으로 항상 저를 믿고 끝없는 사랑으로 보살펴주시는 아버님과 어머님께 깊은 존경과 감사의 말씀을 드립니다. 또한 뒤에서 격려해주시는 장모님 그리고 항상 큰 응원 아끼지 않았던 누님과 동생께도 감사 드립니다. 곁에서 든든한 후원자로 저를 위해 많은 배려를 아끼지 않는 사랑하는 아내 수민에게 고마운 마음을 전하며 이 작은 결실을 함께 나누고자 합니다.

2009 년 6 월

저자 씀

차 례

차례 ····· v
표 차례 ····· vii
그림 차례 ····· viii
국문 요약 ····· ix

I. 서론 ····· 1

II. 연구 재료 및 방법 ····· 4
가. 실험동물과 실험 재료 ····· 4
나. Preliminary CT scanning ····· 4
다. 교정용 미니 임플란트의 식립 ····· 6
라. 실험 동물의 희생 ····· 7
마. Micro-computed tomography의 촬영 및 이미지 재구성 ····· 7
바. VOI (Volume of interest)의 설정 ····· 9
사. Threshold 의 설정 ····· 10
아. Image processing 및 3차원 재구성 ····· 11
자. 계측 항목 ····· 12
차. 통계 분석 ····· 13

III. 연구결과 ····· 14
가. 골 부피 측정 및 density 측정 ····· 14
1. 상악골 계측치 ····· 14
2. 하악골 계측치 ····· 16
나. 상악 해면골에서의 골접촉률 ····· 17
1. 미니 임플란트-골 접촉면 3차원 영상 ····· 17
2. 각 개체 별 좌우 미니 임플란트 타입에 따른 골접촉률 ····· 18
다. 하악 피질골에서의 골 접촉률 ····· 22
1. 미니 임플란트-골 접촉면 3차원 영상 ····· 22
2. 각 개체 별 좌우 미니 임플란트 타입에 따른 골접촉률 ····· 23

IV. 고찰·····27

V. 결론·····32

참고문헌·····34
영문요약·····38

표 차 례

Table 1. Values of micro-computed tomographic scanning parameters·····8
Table 2. Bone volume and density in maxillary trabecular bone ·····15
Table 3. Bone volume and density in mandibular cortical bone ·····16
Table 4. Comparison of BIA (%)
between cylindrical and tapered in maxilla·····22
Table 5. Comparison of BIA (%)
between cylindrical and tapered in mandible ·····23

그림 차례

Fig 1. Two Different types of mini implant according to shape ·····5
Fig 2. Preliminary CT scanning for choosing the implantation sites of orthodontic mini implant ·····5
Fig 3. Implantation sites of orthodontic mini implants for maxillary trabecular bone and mandibular cortical bone ·····6
Fig 4. MicroCT Systems from SCANCO Medical AG : μCT-40 ·····8
Fig 5. VOI(Volume of interest) for maxillary mini implants ·····9
Fig 6. VOI(Volume of interest) for mandibular mini implants ·····10
Fig 7. Transverse microCT section of biopsy ·····11
Fig 8. Micro-computed 3-D reconstruction of cylindrical and tapered mini implants showing visualization of each surface contact to bone. ·····12
Fig 9. 3D image of the areas of contact between implant and bone structure calculated by custom-designed evaluation script in maxilla ·····17
Fig 10. Comparison of cylinder and tapered type in maxilla from Dog 1 ·····19
Fig 11. Bone implant apposition (%) in maxilla from Dog 1 ·····19
Fig 12. Comparison of cylinder and tapered type in maxilla from Dog 2 ·····20
Fig 13. Bone implant apposition (%) in maxilla from Dog 2 ·····20
Fig 14. Comparison of cylinder and tapered type in maxilla from Dog 3 ·····21
Fig 15. Bone implant apposition (%) in maxilla from Dog 3 ·····21
Fig 16. 3D image of the areas of contact between implant and bone structure calculated by custom-designed evaluation script in mandible ·····22
Fig 17. Comparison of cylinder and tapered type in mandible from Dog 1 ··24
Fig 18. Bone implant apposition (%) in mandible a from Dog 1 ·····24
Fig 19. Comparison of cylinder and tapered type in mandible from Dog 2 ··25
Fig 20. Bone implant apposition (%) in mandible from Dog 2 ·····25
Fig 21. Comparison of cylinder and tapered type in mandible from Dog 3 ··26
Fig 22. Bone implant apposition (%) in mandible from Dog 3 ·····26

국문요약

피질골과 해면골에서 Micro-computed tomography를 이용한 교정용 미니 임플란트의 3차원적 골접촉률 분석

교정용 미니 임플란트의 골접촉(bone contact)은 초기 고정의 양상을 평가하는 중요한 요소이다. 과거 연구들에서 대개 조직형태학적계측을 통한 2 차원적 골접촉률 측정을 통해 평가했으나 조직 제작의 번거로움, 제작 과정에서의 오류 및 2 차원적 측정이라는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 micro CT scanning을 통하여 골질과 미니 임플란트의 형태에 따른 3차원적 골접촉률을 측정 미니 임플란트의 초기 안정성에 영향을 줄 것으로 기대되는 주요 요인들 중 미니 임플란트의 디자인 및 숙주 요인이 식립 직후의 골 접촉률에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 성견 3 마리를 대상으로 preliminary CT scanning 을 통해 선택된 피질골과 해면골의 골특성을 가장 잘 대변할 수 있는 부위 즉, 상악 제 1 대구치 근원심 치근 사이와 하악 변연 부위에 2 가지 디자인의 총 18 개의 교정용 미니 임플란트(Cylinder type : 1.5mm ø x 7mm length, Miankang® (BMK, Seoul, Korea), Tapered type : 1.8mm ø x 7mm length, Orlus® (Ortholution, Seoul, Korea))를 좌우 대칭으로 식립하였다. 각각의 미니 임플란트가 포함된 조직 시편은 micro-computed tomogram(μCT-40, Scanco Medical, Brüttisellen, Switzerland)으로 촬영한 후 이미지 데이터 셋으로 구성되었으며, 삼차원적인 분석을 통하여 골 부피 및 골접촉률을 계측, 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 골부피 항목의 경우 각 시편의 multi- sliced cut을 3차원 재조합 하여 voxel

단위의 실질적 부피단위로 계측할 수 있었다. 상대적 골부피(BV/TV) index의 경우 상악의 해면골에서 cylinder type과 tapered type 간의 통계적 유의차를 보이지 않았으며 하악 피질골에서도 두 간의 통계적 유의차를 보이지 않았다.

2. 상악골에서의 미니 임플란트와의 골접촉(BIA)은 세 개체 모두에서 두 군간 통계적 차이를 보였으며 tapered type의 골접촉률이 cylinder type의 골접촉률보다 유의적으로 높게 나왔다($P<0.01$, $P<0.05$, $P<0.001$).

3. 하악 피질골에서의 미니 임플란트와의 골접촉(BIA)은 모든 개체에서는 두 군간의 유의 차이가 없었으며 cylinder type과 tapered type 모두에서 96% 이상의 높은 골접촉률을 나타내었다

핵심 되는 말: 교정용 미니 임플란트, micro-computed tomography, 골접촉률, 미니 임플란트 디자인, 피질골, 해면골

피질골과 해면골에서 Micro-computed tomography를 이용한 교정용 미니 임플란트의 3차원적 골접촉률 분석

(지도: **백 형 선** 교수)

연세대학교 대학원 치의학과

이 장 열

Ⅰ. 서 론

교정용 미니 임플란트는 환자의 협조도 없이 전치뿐 아니라 구치의 함입, 직립, 원심 이동 및 전방 이동 등 전통적인 교정치료에서는 불가능하였던 여러 가지 치아이동을 가능하게 해주고 있다(Kanomi, 1997; Park 등, 2001; Kyung 등, 2003; Park 등, 2005). 또한 이들을 응용하여 골격성 부정교합의 비수술적 치료에 고정원으로 이용되는 등 그 적용 범위가 점점 넓어져가고 있으며 이제는 현대 교정학의 필수 요소라고 말할 수 있다. 미니 임플란트의 임상적 효용성에 대해서는 의심의 여지가 없이 긍정적인 증례들이 보고되고 있으며 이에 따라 다양한 디자인의 미니 임플란트가 개발되어 시판되고 있는 실정이다.

미니 임플란트의 임상적용에 있어 절대적인 요소는 식립 후의 안정성으로서, 교정치료의 특성상 치아용 임플란트와 달리 골유합을 위한 치유기간을 별도로 두지 않고 식립 직후부터 즉시 부하를 가하므로 식립 직후의 초기 골접촉이 안정성에 매우 중요한 요소라고 인식되고 있다(Wilmes 등, 2006; Kuroda 등, 2007). 초기 고정, 즉 미니 임플란트의 골 내 안정성을 향상시키기 위한 방법은

크게 세 가지 요소로 설명될 수 있다. 첫째는 술자 요소로서 식립 시 drilling 사용 유무, water irrigation 의 적용 유무, 부하 전 치유 기간의 제공 등 술식상의 조건들에 의한 영향을 의미한다. 둘째는 미니 임플란트 요소로서 미니 임플란트 자체의 길이, 두께, 형태 등 디자인을 변형시킴으로써 초기 고정을 향상시키려는 시도가 있었다(Kim 등, 2008). 세 번째 요소는 숙주 요소로서 식립 부위의 골질, 골밀도 및 골의 두께 등의 요소이다. 이들 중 첫 번째 요소에 대해서는 논란의 여지가 있으나 대체적으로 미니 임플란트의 안정성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료되며 둘째 및 셋째 요소의 영향에 대해 임상적인 관심이 집중되고 있다.

상기 나열한 두 가지 요소들에 대해 이전의 연구들은 첫째, in vivo 실험의 경우 성견을 사용하였음에도 불구하고 해면골과 피질골의 특성을 고려하지 않고 일률적으로 골접촉률을 고려하였거나 둘째, in vitro 실험으로서 인조 골편을 이용하여 골조직의 미세해부학적 구조가 전혀 반영되지 않은 점이 지적되며(임 등, 2007) 셋째, 성견의 골조직을 이용한 유사 실험에서도 골접촉률이 2 차원적인 조직시편에서 이루어져 입체적인 조직의 상태를 반영하는 데에 미흡하였으며 넷째, 골접촉률을 조사하였다 해도 미니 임플란트의 디자인에 따른 초기 골접촉률의 차이를 보여주는 연구는 미미하였으며 다섯째, 식립 부위에 따른 변수를 통제하기 위해 spilt mouth design 을 시도한 경우는 매우 드물다.

대부분 조사 개체의 수를 늘이기 위해 다수의 미니 임플란트를 부위의 통제 없이 식립함으로써 부위별 골질의 차이에 따른 오류를 극복할 수 없었다. 따라서 이러한 단점들을 극복하기 위해 골조직의 양과 질이 적절히 통제된 모델에서 micro CT 를 이용함으로써 매우 신빙성 있고 의미 있는 3 차원적 정보를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 목적은 미니 임플란트의 초기 안정성에 영향을 줄 것으로 기대되는 주요 요인들 가운데 임플란트 요인 중 미니 임플란트의 디자인과 숙주 요소 중 숙주의 골질 및 골밀도가 식립 직후의 골 접촉률에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 이를 통해 3 차원적 골접촉률 측정의 방법론을 도입하고 보다 골 부위에 따른 적절한 미니 임플란트 디자인을 선택할 수 있도록 하는 것이다.

Ⅱ. 연구 재료 및 방법

가. 실험동물과 실험 재료

본 연구는 12개월 된 12kg의 건강한 웅성 성견(Beagle dog) 3마리를 대상으로 하였으며 실험동물의 구입, 선택, 관리 및 실험 술식 등은 연세의료원 실험동물위원회(IRB)의 동물실험 규정에 의거하였다.

총 18개의 drilling free type의 titanium 미니 임플란트 (Cylinder type : 1.5mm ø x 7mm length, Miankang® (BMK, Seoul, Korea), Tapered type : 1.8mm ø x 7mm length, Orlus ® (Ortholution, Seoul, Korea))가 사용되었다(Fig. 1). 각 개체 별로 cylinder, tapered type 각각 상악에 1개, 하악에 2개씩 사용되었다.

.

나. Preliminary CT scanning

본 연구에서 성견의 피질골과 해면골의 골 특성을 가장 잘 대변할 수 있는 부위를 선택하기 위하여 미니 임플란트 식립 전 성견 두개골 CT 촬영을 하였다. 이 결과 상악의 경우 해면골 특성을 반영시키기 위하여 상악 좌우 제 1대구치 근원심 치근 사이에, 그리고 하악의 경우 피질골 특성을 반영시키기 위하여 하악 mandibular border 부위를 선택하기로 하였다(Fig. 2).

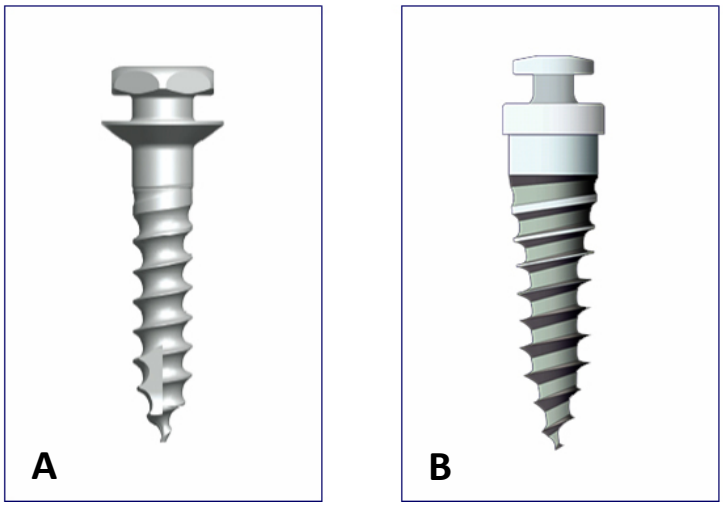

Fig 1. Two Different types of mini implant according to shape

A: Cylinder type, 1.5mm ø x 7mm length, Miankang® (BMK, Seoul, Korea)

B: Tapered type: 1.8mm ø x 7mm length, Orlus® (Ortholution, Seoul, Korea)

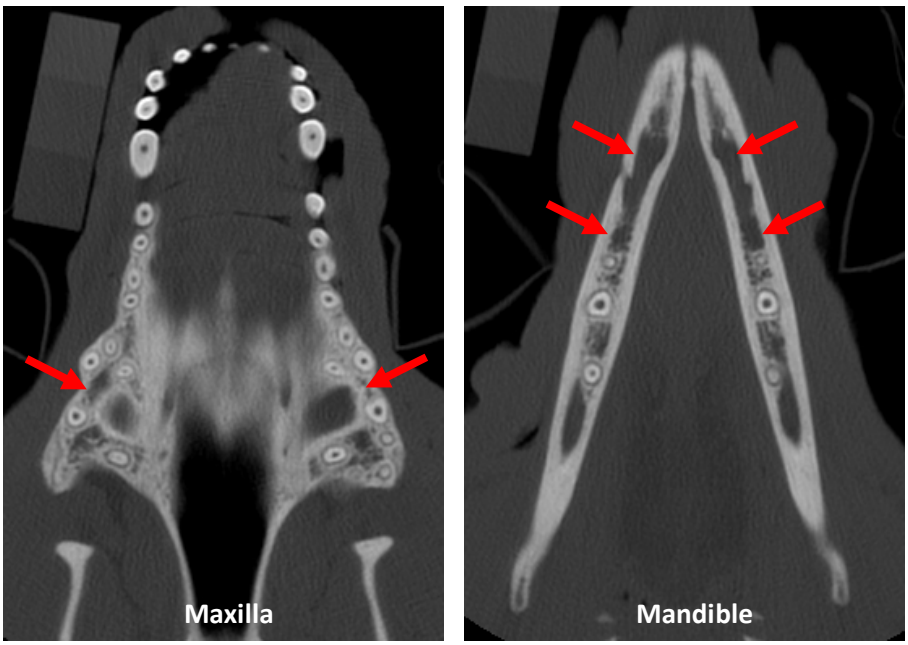

Fig 2. Preliminary CT scanning for choosing the implantation sites of orthodontic mini implant

다. 교정용 미니 임플란트의 식립

실험동물에 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 좌우 제 1대구치 치근 사이에, 하악에서는 mandibular border의 하악관 주위에 식립되었다 (Fig 3). 또한 술자 간의 숙련도 차이에 의한 오차를 없애기 위하여 모든 미니 임플란트는 한 명의 술자에 의하여 식립되었다.

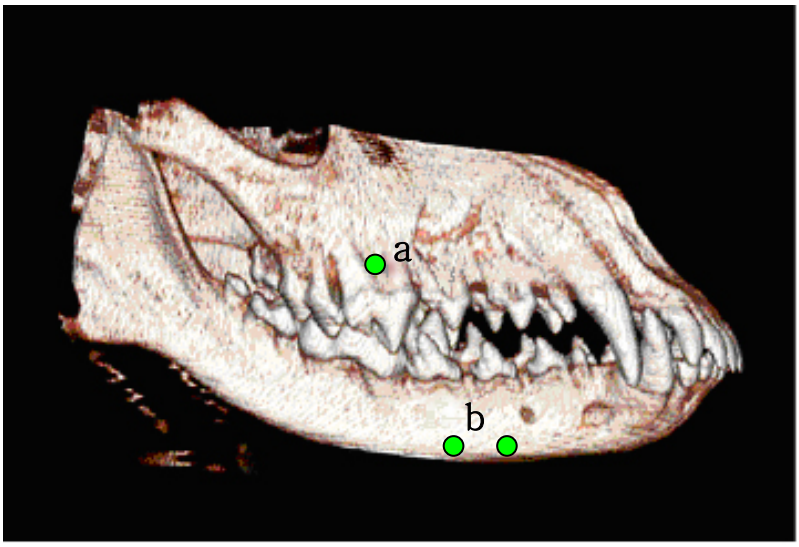

Fig 3. Implantation sites of orthodontic mini implant for maxillary trabecular bone (a) and mandibular cortical bone (b)

라. 실험 동물의 희생

실험동물을 희생한 후 미니 임플란트가 포함된 조직 블록을 채취하고 10% 포름알데하이드 용액에 고정하였다. 조직 블록은 미니 임플란트 헤드의 중심을 지나도록 형성된 notch와 미니 임플란트의 tip을 연결한 평면을 기준으로 하여 diamond saw(Maruto, Japan)을 이용하여 절단하고 MicroCT 촬영 전까지 각 블록은 4% 포르말린 용액에 보관하였다.

마. Micro-computed tomography의 촬영 및 이미지 재구성

조직 시편은 SCANCO Medical laboratory로 보내져 micro CT(μCT-40, Scanco Medical, Brüttisellen, Switzerland) (Fig. 4)로 scanning 되었다. 각각의 시편은 고해상도의 microtomography system (μCT-40)를 이용하여 multislice 모드로 스캔 되었다. 각각의 3차원 이미지 데이터 셋은 약 309개의 microCT slice 이미지들(1,024 X 1,024 pixels, 16-bit gray level)로 구성되었으며 각 시편당 약 20분의 scanning time이 소요되었다.

Fig 4. MicroCT Systems from SCANCO Medical AG: μCT-40

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

	Pre-set values
Filter	Al 0.5 mm + Cu 0.038 mm
Resolution	20 μm isotropic
Voltage	70 kVp
Intensity	114 μA
Exposure Time	1500 ms

바. VOI (Volume of interest)의 설정

두 가지 tapered type 과 cylinder type의 각각의 조직 시편은 골조직의 특성을 최대한 반영시키기 위하여 상악과 하악의 VOI(Volume of interest)을 달리 설정하였다. 상악의 경우 미니 임플란트와 trabecular bone의 골접촉면이 포함되도록 설정하였으며 하악의 경우 미니 임플란트와 cortical bone의 골접촉면이 포함되도록 VOI 영역을 설정하였다 (Fig. 5, 6)

그리고 tapered type과 cylinder type 모두 2.8mm 직경을 갖는 원통형의 VOI 영역과 그 중심에 각각의 미니 임플란트가 위치하도록 설정하였다.

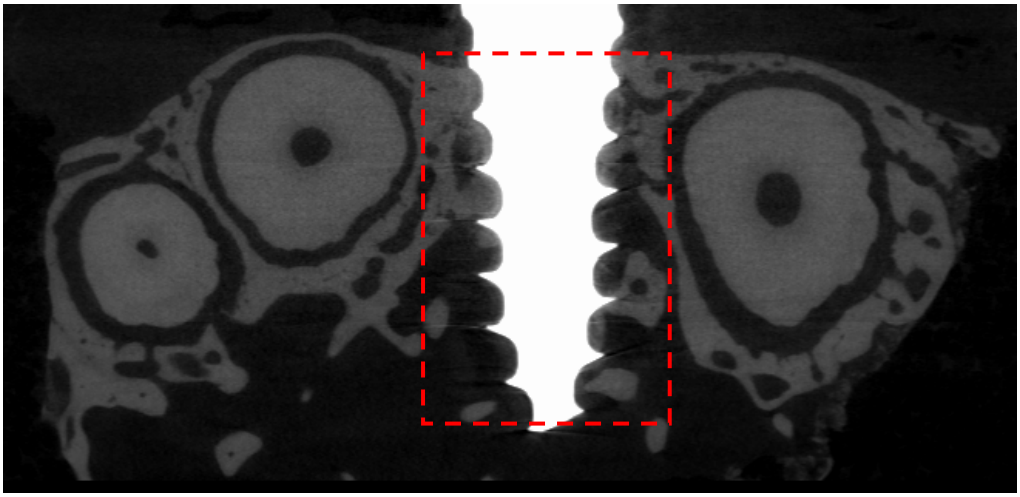

Fig 5. VOI (Volume of interest) for maxillary mini-implants

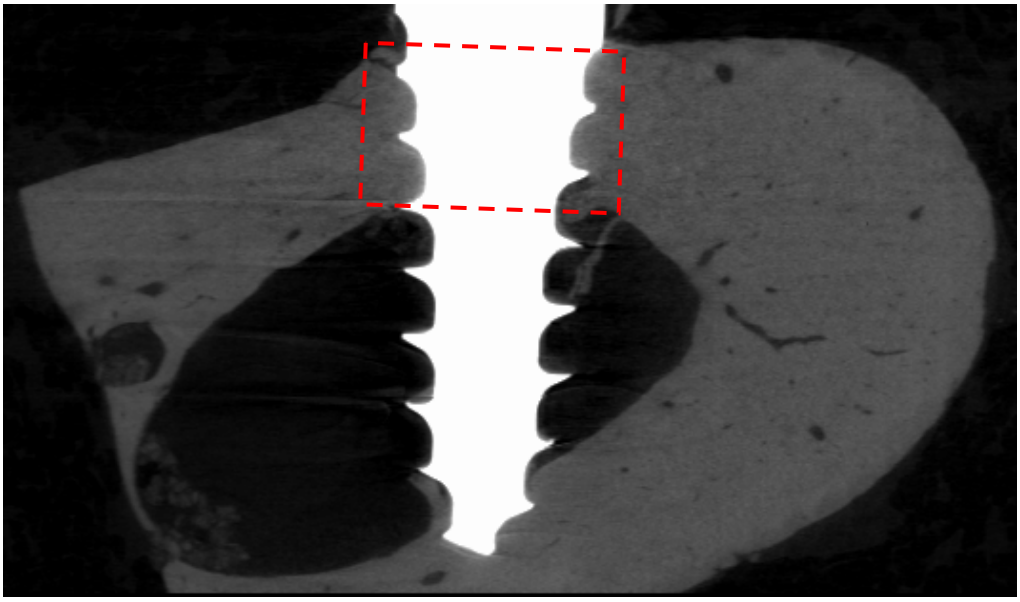

Fig. 6. VOI (Volume of interest) for mandibular mini-implants

사. Threshold 의 설정

MicroCT 이미지는 SCANCO μCT V1.5 프로그램으로 골수강, 골과 미니 임플란트에 대한 threshold value를 각각 설정하여 binary image로 변환하였으며 Gray level histogram의 골선율이 변화되는 점을 threshold value로 설정하였다. 골과 미니 임플란트를 구분하기 위한 threshold는 미니 임플란트 주변의 허상이 미니 임플란트 영역에 포함되도록 설정하였다. Threshold settings 값은 다음과 같다.

- Implant: Gauss Sigma 2, Gauss Support 2, Threshold 700 (μ = 5.60 [1/cm])
- Bone: Gauss Sigma 1.2, Gauss Support 2, Threshold 210 (μ = 1.68 [1/cm])

아. Image processing 및 3차원 재구성

SCANCO μCT V1.5 프로그램을 이용하여 선택된 각각의 VOI들을 가우시안 필터(Gaussian filter)를 적용시켜 볼륨 내에서 noise를 부분적으로 억제하여 미세한 크기의 trabecular bone structure를 제거하였다(Fig 7,8.). Gaussian filtering의 경우 이미지에서 한 pixel의 주변 pixel에 대하여 특정알고리즘을 사용하여 변환된 pixel을 얻어내어 이미지를 blurring or smoothing, noise reduction 하는데 사용되며 이를 통해 이미지의 평균 밝기에는 영향을 주지 않도록 하였다.

gaussian filter (r = 0.7, kernel = 3),

Gaussian filter (filter width = 0.8, filter support = 1 voxel)

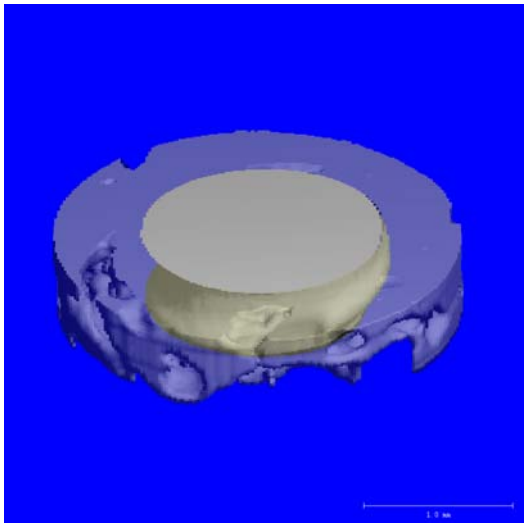

Fig. 7 Transverse microCT section of biopsy

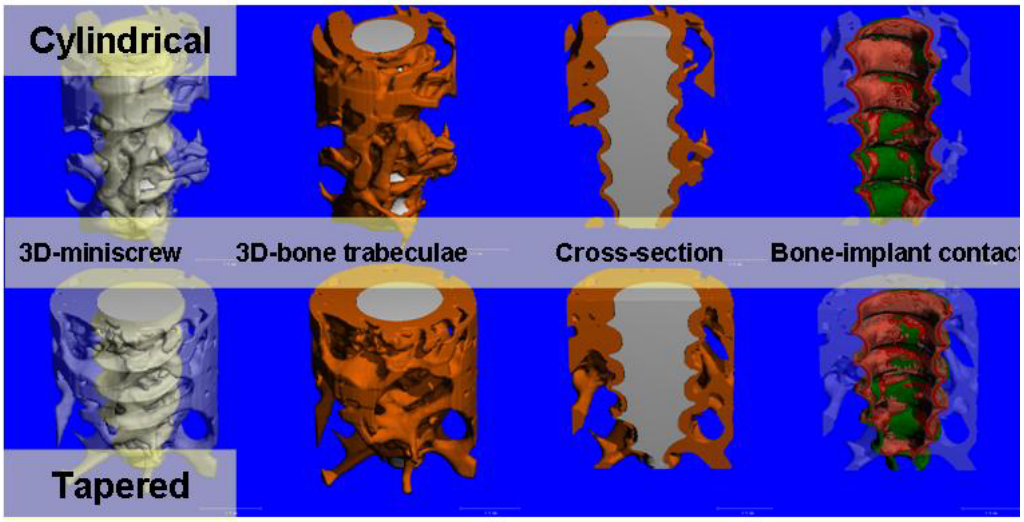

Fig 8. Micro-computed 3-D reconstruction of cylindrical and tapered mini implants showing visualization of each surface contact to bone.

자. 계측 항목

1. 골 부피 및 밀도 계측 항목

TV: 전체 면적	total volume [mm^3]
BV: 골면적	bone volume [mm^3]
BV/TV: 골면적 비율	relative bone volume (%)
Tb.N: 골소주 갯수	trabecular number [1/mm]
Tb.Th: 골소주 두께	trabecular thickness [mm]
Tb.Sp: 소주 분리도	trabecular separation = marrow thickness [mm]

2. 골 접촉률 계측 항목

BIA(bone implant apposition): 골과 접촉한 표면 voxel의 수를 임플란트 표면의 전체 voxel의 개수로 나누어 %로 계산. 이는 각 slice 마다 연산되도록 하였다

차. 통계 분석

SPSS Ver. 11(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램으로 각 개체 별로 좌, 우측 두 종류의 미니 임플란트 시편 군의 각각의 BIA 평균 및 두 군 간에 유의성 여부를 검증하기 위하여 t-test 및 paired t-test를 시행하였다.

III. 연구 결과

가. 골 부피 측정 및 density 측정

1. 상악골 계측치

상악의 경우 각 시편의 좌, 우측 cylinder type과 taper type에서 평균값과 표준편차를 계산하였다. 계측항목 중 Total volume과 bone volume의 경우 각 시편의 multi- sliced cut을 3차원 재조합 하여 voxel 단위로 계산하였다. Cylinder type과 tapered type의 total volume은 각각 23.44±1.86 mm^3 , 21.03±1.96 mm^3 로 계측되었으며, bone volume은 cylinder type과 tapered type에서 각각 10.20±2.06 mm^3 , 10.31±3.08 mm^3 로 계측되었다(Table 2),

Relative bone volume(BT/TV) index의 경우 cylinder type과 tapered type이 각각 44 %, 49%로 두 군간의 통계적 유의차를 보이지는 않았다.

Trabecular section에서 해면골의 골밀도 및 특성을 나타내주는 계측치 중 골소주 갯수(Tb.N)의 경우 cylinder type과 tapered type이 각각 2.00±0.35 1/mm, 2.19±0.12 1/mm를 보여 두 군간의 차이를 보이지 않았으며 골소주 두께(Tb.Th)와 소주 분리도(Tb.Sp)의 경우에도 좌, 우 두 가지 type의 임플란트군에서 통계적 유의차를 보이지 않았다(Table 2).

Table 2. Bone volume and density in maxillary trabecular bone

Parameters		TV	BV	BV/TV	Tb.N	Tb.Th	Tb.Sp
Cylinder type	Mean	23.44	10.20	0.44	2.00	0.32	0.55
	SD	1.86	2.06	0.10	0.35	0.04	0.12
Tapered type	Mean	21.03	10.31	0.49	2.19	0.32	0.52
	SD	1.96	3.08	0.12	0.12	0.05	0.01
significance		P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05

TV: total volume(mm^3), BV: bone volume(mm^3), BV/TV: relative bone volume(%)
Tb.N: trabecular number(1/mm), Tb.Th: trabecular thickness(mm), Tb.Sp: trabecular separation = marrow thickness(mm)

2. 하악골 계측치

하악의 경우 시편의 대부분이 cortical bone에 접해있었으므로 cortical section만을 계측하였으며 좌, 우측 cylinder type과 taper type에서 평균값과 표준편차를 계산하였다. 각 개체 시편당 slice cut는 309개 였다.

하악 Cortical section에서 cylinder type과 tapered type의 relative bone volume(BT/TV) index의 경우 cylinder type과 tapered type이 각각 95%, 94%로 나타났으며 두 군간의 통계적 유의차를 보이지 않았다($P > 0.05$)(Table 3.).

Table 3. Bone volume and density in mandibular cortical bone

Parameters		TV	BV	BV/TV	Tb.N	Tb.Th	Tb.Sp
Cylinder type	Mean	10.64	10.08	0.95	3.11	0.59	0.14
	SD	1.86	1.83	0.02	0.05	0.04	0.04
Tapered type	Mean	8.09	7.65	0.94	3.85	0.48	0.14
	SD	2.04	2.03	0.02	0.29	0.04	0.03
significance		P<0.01	P<0.01	P>0.05	P<0.01	P<0.001	P>0.05

TV: total volume(mm^3), BV: bone volume(mm^3), BV/TV: relative bone volume(%)
Tb.N: trabecular number(1/mm), Tb.Th: trabecular thickness(mm), Tb.Sp: trabecular separation = marrow thickness(mm)

나. 상악 해면골에서의 골접촉률

1. 미니 임플란트-골 접촉면 3차원 영상

SCANCO μCT V1.5 프로그램을 이용하여 Gaussian filtering 과정을 거친 후 3차원 이미지를 재구성 하였다. 골과 미니 임플란트 접촉면을 관찰함과 동시에 주위 cortical bone의 높이, 밀도 및 trabecular bone의 trabecular shape, pattern 및 간격 등을 확인할 수 있다(Fig. 9).

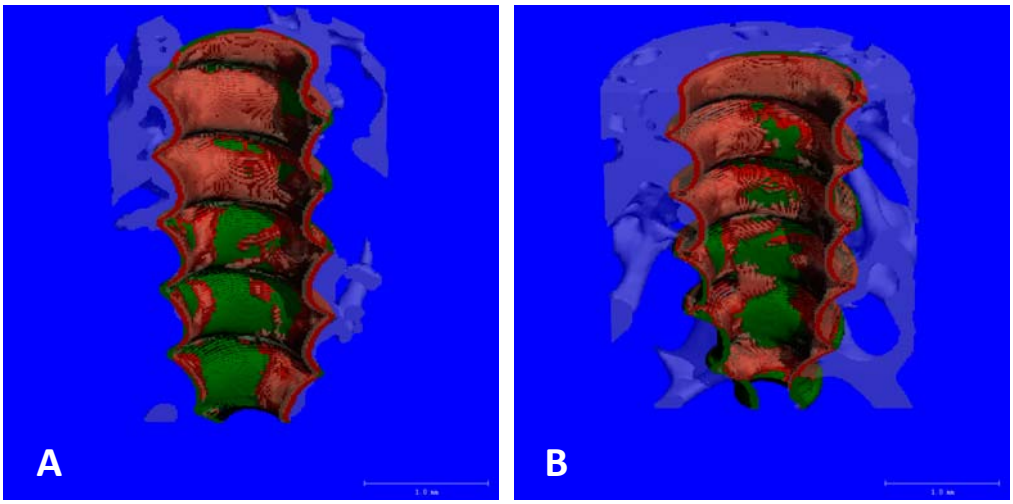

Fig. 9. 3D image of the areas of contact between implant and bone structure calculated by custom-designed evaluation script (red shows implant attached to bone, green shows implant to soft tissue) in maxilla.

A; Cylinder type, B; Tapered type

2. 각 개체 별 좌우 미니 임플란트 타입에 따른 골접촉률

상악 trabecular bone에서의 미니 임플란트와의 골접촉(BIA)은 %로 계산되었으며 각 개체별 slice cut의 수를 동일하게 조절하여 좌우 두 가지 type의 미니 임플란트의 BIA가 비교되었다(Fig 10-15). 세 개의 개체에서 모두 두 군간 통계적 유의차를 보였다. 첫 번째 개체는 cylinder type이 69.97±18.89(%), tapered type이 74.70±18.89(%)로 유의한 차이를 보였으며($P<0.01$), 두 번째 개체의 경우에도 214개의 slice cut을 비교한 결과 cylinder type이 86.42±11.52(%), tapered type이 88.92±13.47(%)로 유의한 차이를 보였다.($P<0.05$). 세 번째 개체에서도 tapered type의 골접촉률(73.96±16.56(%))이 cylinder type의 골접촉률(54.28±30.94(%)) 보다 유의적으로 높게 나왔다(($P<0.001$)(Table 4).

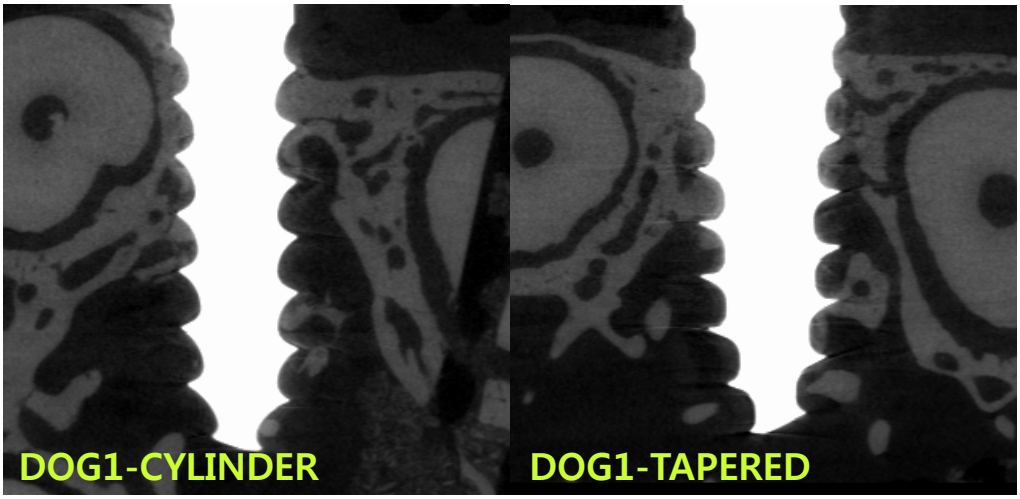

Fig 10. Comparison of cylinder and tapered type in maxilla from Dog 1(n=208)

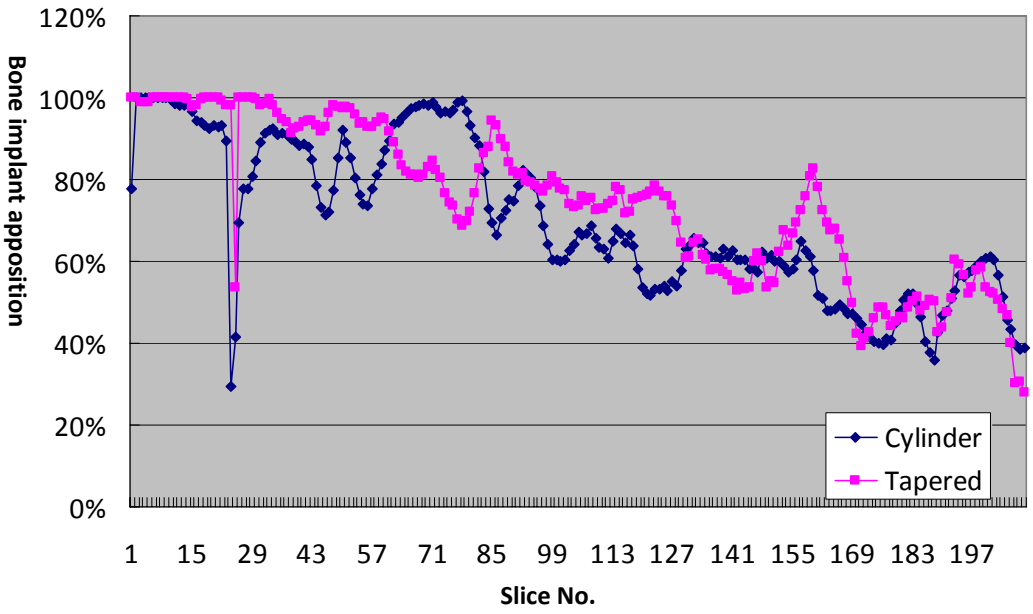

Fig 11. Bone implant apposition (%) in maxilla from Dog 1(n=208)

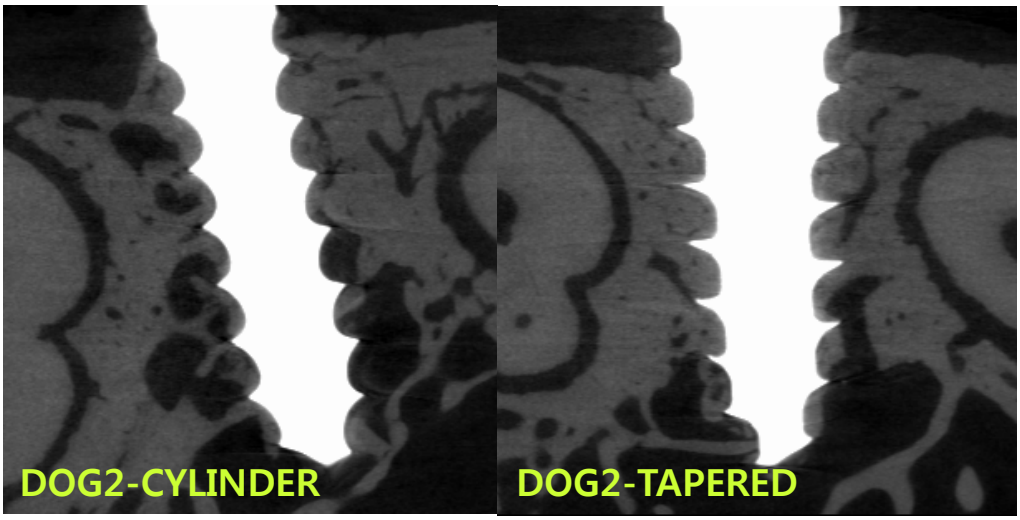

Fig 12. Comparison of cylinder and tapered type in maxilla from Dog 2(n=214)

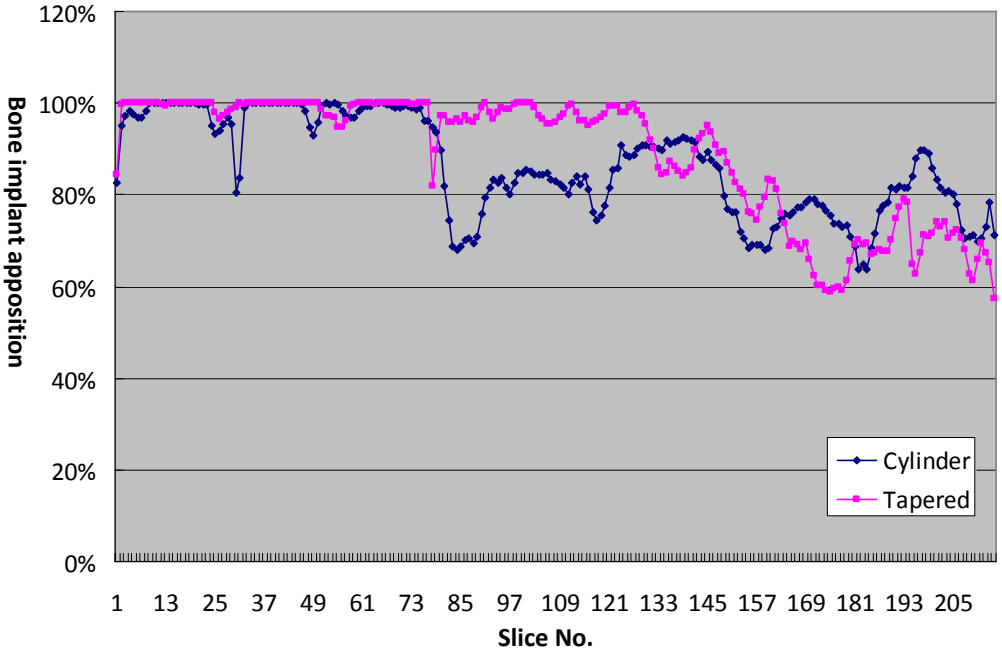

Fig 13. Bone implant apposition (%) in maxilla from Dog 2(n=214)

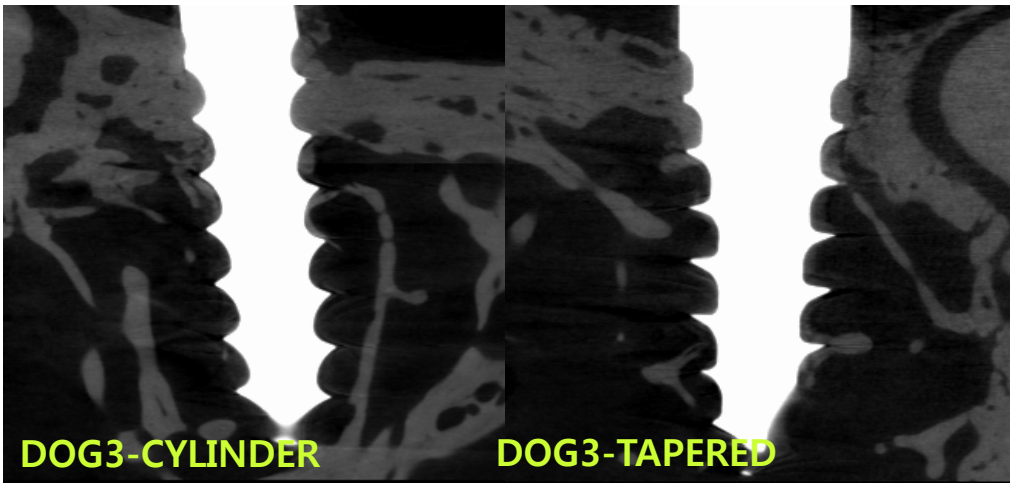

Fig 14. Comparison of cylinder and tapered type in maxilla from Dog 3(n=238)

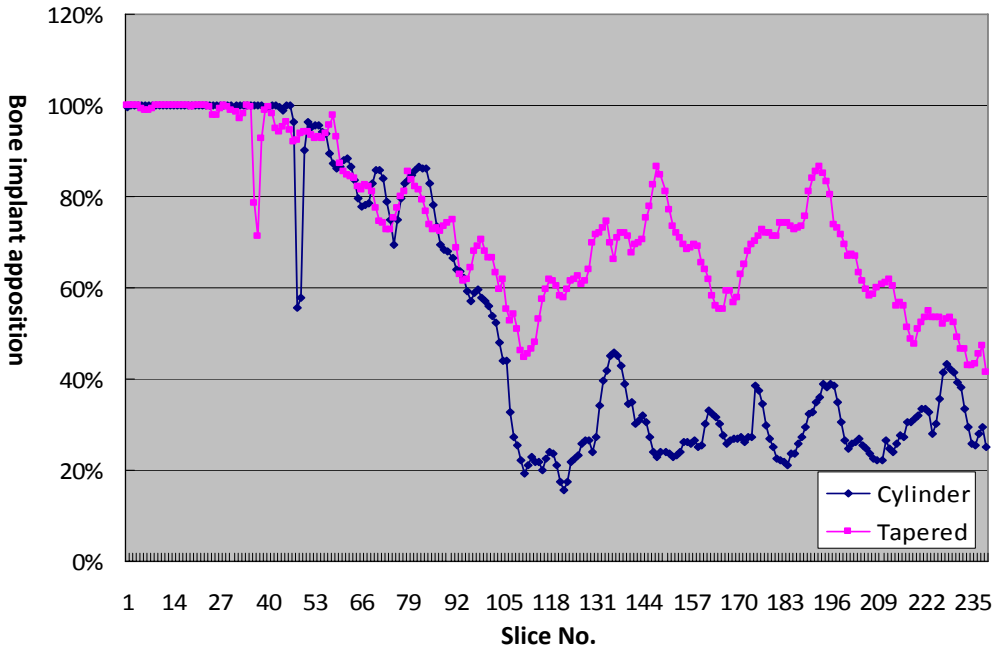

Fig 15. Bone implant apposition (%) in maxilla from Dog 3(n=238)

Table 4. Comparison of BIA (%) between cylindrical and tapered in maxilla

BIA (%)	Dog 1	Dog 2	Dog 3
Cylindrical	69.97±18.89	86.42±11.52	54.28±30.94
Tapered	74.70±18.89	88.92±13.47	73.96±16.56
significance	P<0.01	P<0.05	P<0.001

다. 하악 피질골에서의 골 접촉률

1. 미니 임플란트-골 접촉면 3차원 영상

하악의 경우 3차원 구성 이미지를 통하여 cortical bone과 미니 임플란트 간의 높은 골접촉을 확인할 수 있다(Fig 16).

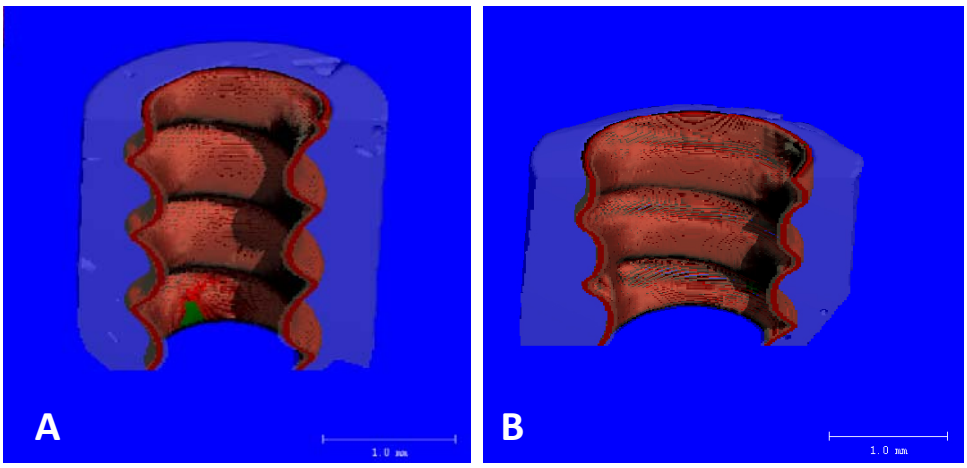

Fig 16. 3D image of the areas of contact between implant and bone structure calculated by custom-designed evaluation script (red shows implant attached to bone, green shows implant to air) in mandible.

A; Cylinder type, B; Tapered type

2. 각 개체 별 좌우 미니 임플란트 타입에 따른 골접촉률

하악 cortical bone에서 미니 임플란트와의 골접촉(BIA)은 %로 계산되었으며 각 개체별 slice cut의 수를 동일하게 조절하여 좌우 두 가지 type의 임플란트의 BIA가 비교되었다(Fig 17-22). 모든 개체에서는 두 군간의 유의차이가 없었으며 cylinder type과 tapered type 모두에서 96% 이상의 높은 골접촉률을 나타내었다(Table 5).

Table 5. Comparison of BIA (%) between cylindrical and tapered in mandible

BIA (%)	Dog 1	Dog 2	Dog 3
Cylindrical	97.88±2.18	99.49±0.56	98.86±1.31
Tapered	96.75±2.30	99.72±0.12	99.78±0.79
significance	P>0.05	P>0.05	P>0.05

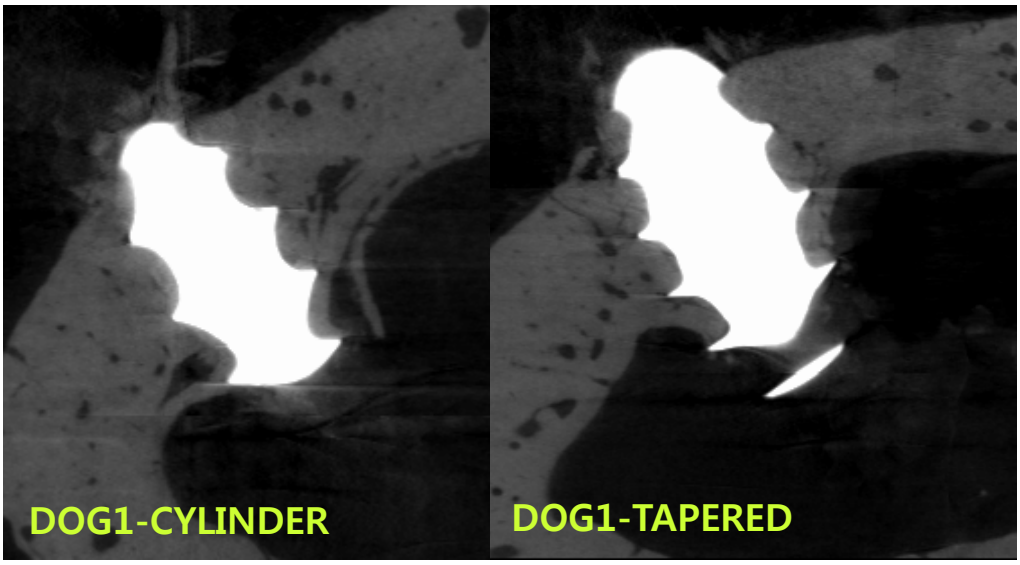

Fig 17. Comparison of cylinder and tapered type in mandible from Dog 1(n=85)

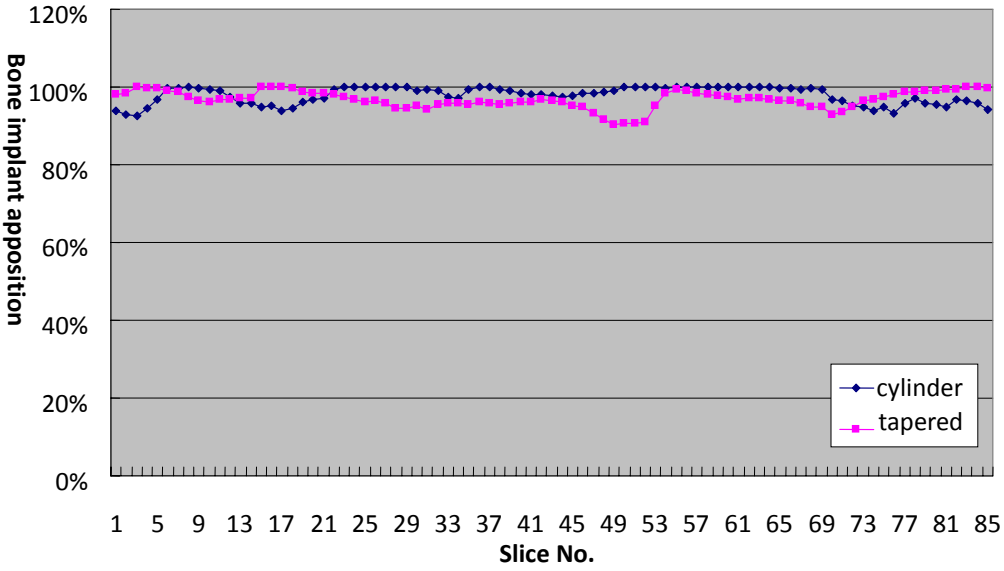

Fig 18. Bone implant apposition (%) in mandible from Dog 1(n=85)

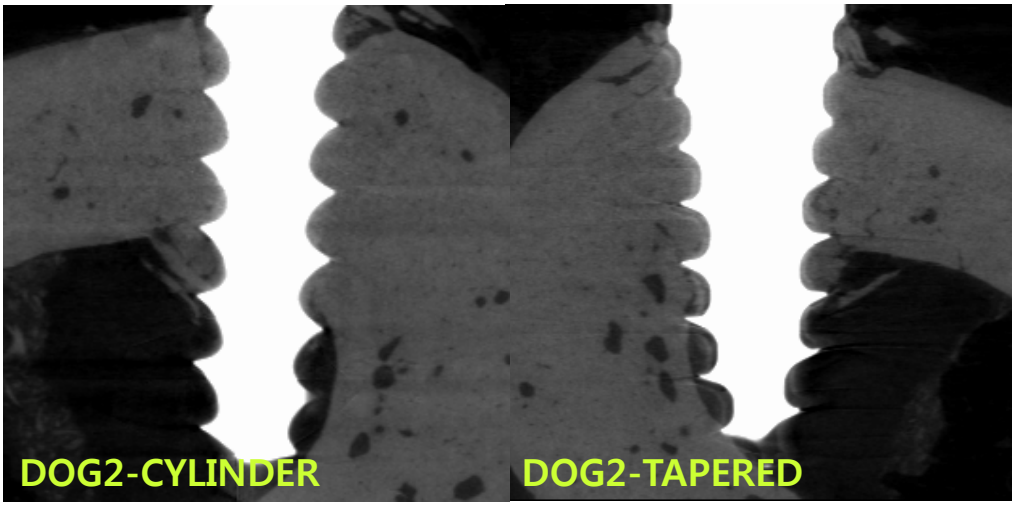

Fig 19. Comparison of cylinder and tapered type in mandible from Dog 2(n=120)

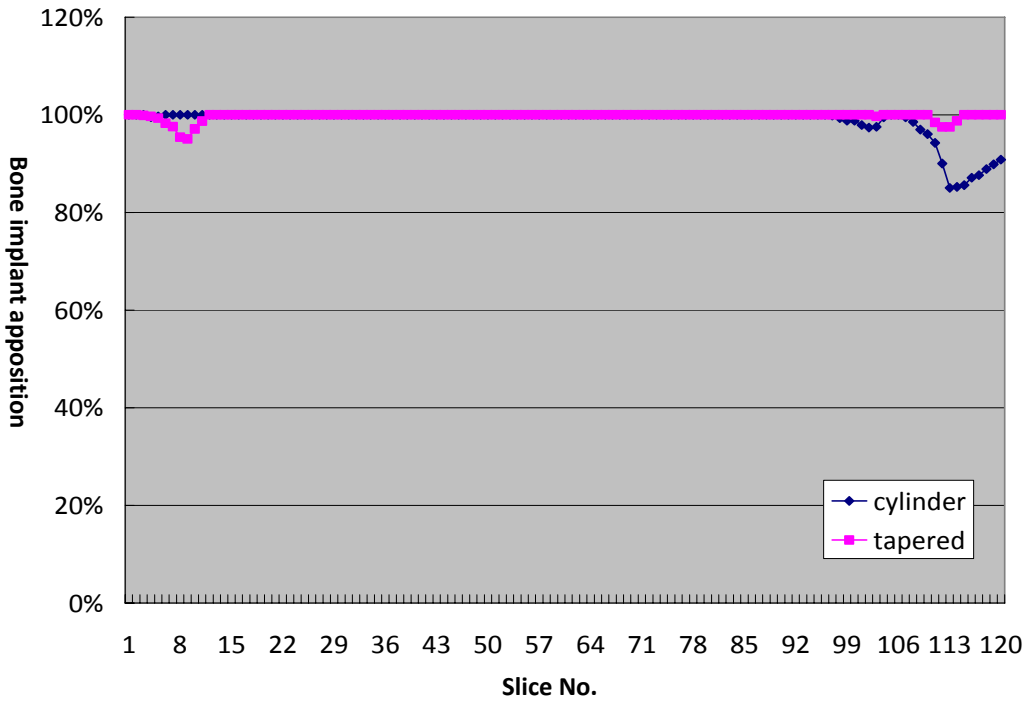

Fig 20. Bone implant apposition (%) in mandible from Dog 2(n=120)

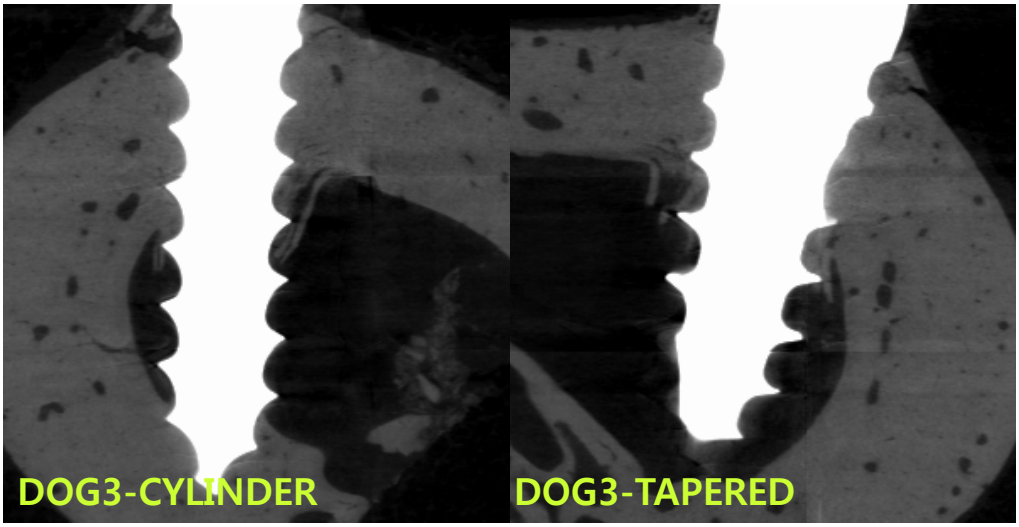

Fig 21. Comparison of cylinder and tapered type in mandible from Dog 3(n=100)

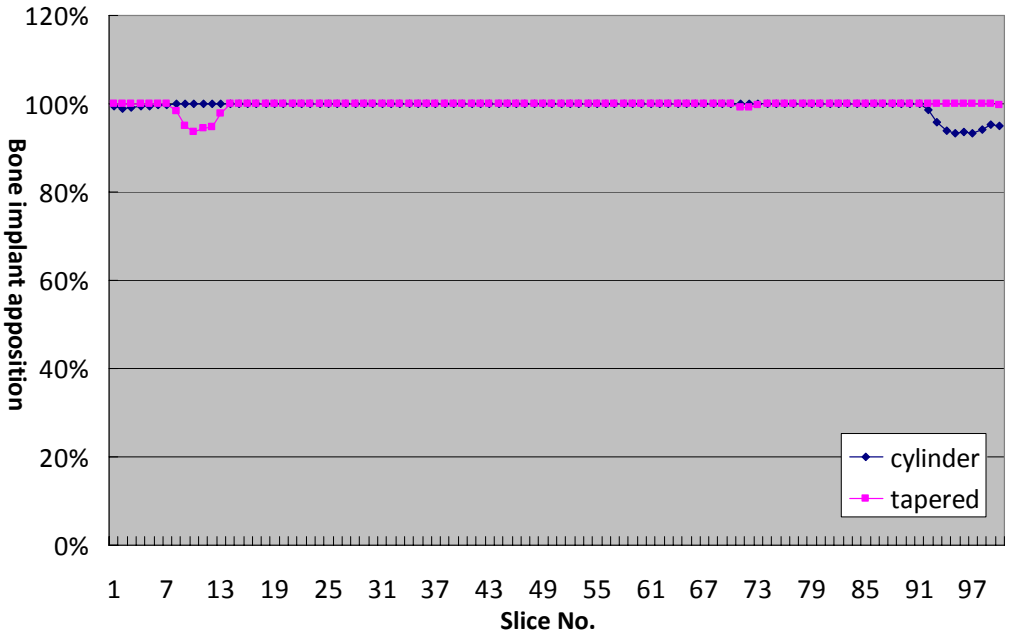

Fig 22. Bone implant apposition (%) in mandible from Dog 3(n=100)

IV. 고찰

교정영역에서 처음 골고정원을 응용할 당시 보철용 임플란트 또는 다른 형태의 온플란트등이 이용되었다(Roberts등 ,1994). 하지만 교정에서 골고정원으로서의 역할이 중요해지면서부터 여러 가지 디자인의 미니 임플란트가 개발되어 왔으며 현재에는 각 부위에 맞는 각기 다른 디자인의 미니 임플란트를 개발하는 노력이 계속 진행 중이다.

교정용 미니 임플란트 뿐 아니라 치과 임플란트 등 골 내 매식체의 안정성을 좌우하는 요인 중 초기 고정이 중요한 요소의 하나로 인식되고 있으며 이를 위해 다양한 디자인의 매식체가 임상에 적용되고 있다. 교정용 미니 임플란트 디자인의 경우 구강내의 임플란트 상부 디자인과 골 내에 식립되는 하부 디자인으로 나누어 생각할 수 있으며 상부 디자인의 경우 여러 가지 교정력을 전달할 수 있는 교정용 탄성 체인 이나 스프링 또는 부가적 호선 등을 효율적으로 적용하고 연결할 수 있도록 고안 발전 되고 있으며 구강 내 점막에 자극을 주는 지 여부 등 환자에게 불편감을 주지 않도록 개선 되고 있다. 현재 시판 중인 교정용 미니 임플란트의 하부 디자인은 cylinder type과 tapered type으로 나뉘어지며 하부 구조 디자인에 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항은 식립 후 초기 안정성이다. 임 등(2007)은 cylinder type에 비하여 tapered type의 미니 임플란트가 식립시 높은 식립 토오크를 보인다고 보고하였으며 차 등(2008)은 식립토오크 뿐 아니라 제거 토오크 역시 식립 3주째에서 cylinder type에 비하여 tapered type이 유의하게 높음을 보고하였다. 이와 같이 미니 임플란트의 디자인이 초기 안정성에 차이를 줄 수 있으며 이러한 초기 안정성의 경우 임플란트와 골조직간의 접촉면이 중요한 변수가 될 수 있다.

과거 조직형태학적 분석이 파괴적이고 제한적인 반면 최근 여러 분야에서

활용되고 있는 microCT는 (Graichen 등, 1999) 미니 임플란트 주변 골조직의 정량적 분석이 가능하며 microCT를 이용할 경우 조직의 손상 없이 비파괴적인 방법으로 비교적 손쉽게 계면의 정보를 채득할 수 있다(Akca 등, 2006). 또한 여러 연구에 의해서 microCT의 골조직 분석이 전통적인 조직슬라이드를 통하여 얻는 조직형태분석과 비교할 때 그 정확성에 대하여 입증 받은 바 있다(Rebaudi 등, 2004; Stoppie 등, 2005).

하지만 과거의 연구들은 3차원이라는 특성을 갖는 micro CT임에도 불구하고 전통적인 조직시편에 최대한 근접한 상황을 만들려고 하는 노력에 제한되어 왔다. 즉 일반적인 조직형태학적 분석을 위한 조직시편의 경우 그 두께가 100 μm 라고 할 때 더 얇은 microCT slice cut을 여러 개 적층하여 비슷한 두께를 만들기 위하여 그 데이터를 단순 평균 내어 계산하였다. 이는 엄밀한 의미의 3차원 데이터라 하기에는 부족함이 있으며 그 활용 가능성에 제한이 있을 수 있다.

Bone volume 계산에 있어 본 연구에서는 각 slice cut의 면적을 평균 낸 것이 아니라 3차원 입자의 개념인 voxel 단위로 연산 측정하였다. 또한 층판 구조 개념의 표면비율 계산법인 MIL를 이용하여 surface to volume ratio (BS/BV), plate model of bone, trabecular number(Tb.N), thickness (Tb.Th) 및 separation (Tb.Sp)울 연산하였다. 이와 동시에 표면의 삼각 계산법을 이용한 TRI method에 의한 연산 값도 동시에 계측하였다. 본 연구에서 계측된 골부피의 절대값은 그 수치로서 큰 의미를 갖는 것은 아니다. 하지만 여태까지의 연구에서 비록 microCT등 3차원 영상장비를 사용해왔음에도 불구하고 면적(mm^2) 단위로 제시 되어왔던 bone volume 수치를 voxel 개념의 부피(mm^3)로의 새로운 정량화 방법을 제시한 것은 매우 의미 있는 시도라고 할 수 있다.

상악골에서 tapered type과 cylinder type의 상대적 골부피(relative bone volume, BV/TV)는 두 군에서 통계적인 유의차를 보이지 않았는데 이는 본

실험이 split mouth design으로 같은 개체당 좌, 우측의 동일 부위에 서로 다른 type의 임플란트를 식립하였기에 좌우 골특성이 거의 비슷함을 보여주는 결과이다. 상악 trabecular section에서 해면골의 골밀도 및 특성을 나타내주는 Tb.N, Tb.Th, Tb.Sp의 경우에도 좌, 우 두 type의 임플란트군에서 통계적 유의차를 보이지 않았는데 부분적인 해면골의 특성은 서로 다른 구조모델지수, 즉 SMI 값에서(cylinder type; 0.31±0.99, tapered type; −0.22±0.58) 알 수 있듯이 같은 개체, 같은 부위에서라 할지라도 다른 형태적 특성을 보이는 해면 소주의 모양이 가능함을 알 수 있다. SMI의 연산은 triangulated surface를 팽창시킨 후 새로운 bone surface 와 volume을 계산한 후 derivatived bone surface(dBS/dr)을 이용하여 결정될 수 있으며 본 연구에 사용된 공식은 아래와 같다.

$$SMI = 6 \bullet \frac{BV \bullet \frac{dBS}{dr}}{BS^2}$$

이상적인 층판구조는 SMI가 0이 되며, 이상적인 SMI가 3이다. Round spheres SMI 가 4 이며 concave structure는 음수 값의 dBS/dr을 갖게 된다 (Hildebrand 등, 1997).

Cylinder type과 tapered type 모두에서 상악골에 비해 하악골에서 더 큰 상대적 골부피(relative bone volume, BV/TV)를 갖는 것은 당연한 결과이며 하악골에서 각각 95%, 94%로 높아 전형적 피질골 특성을 보인다. 전체 면적(TV)과 골 면적(BV)에서 cylinder type이 tapered type에 비해 큰 값을 갖는 이유는 동일한 VOI 부피 내에서 cylinder type이 더 작은 미니 임플란트 체적을 갖기 때문이다.

이전의 여러 연구들에서 보고한 바와 같이 microCT로 촬영된 임플란트 주위에 금속성 허상이 생길 수 있으며, 이로 인하여 골접촉률이 조직형태학적인 분석과 비교하면 더 크게 나타날 가능성이 있다(Bernhard 등, 2004; Stopple 등, 2005). Red Audi 등(2004)은 금속성 허상을 고려하여 골접촉률의 개념을 임플란트 titanium surface 약 45 μm 주위(neighborhood)의 골과의 접촉으로 정의하였으며 bone implant apposition(BIA)의 개념으로 생각하였다. 본 연구에서도 titanium surface로부터 50 μm의 근처의 골을 골접촉(attached bone)이라 정의하고 골접촉률을 연산하였다. 또한 임 (2007), 이 (2007), 송 (2008)등의 연구에서 microCT의 골조직 형태분석 시 manual threshold 설정방식이 더 유효하다고 언급 하였으며, 본 연구에서도 manual threshold 설정방식을 적용하였다(Implant: Gauss Sigma 2, Gauss Support 2, Threshold 700 (μ = 5.60 [1/cm]), Bone: Gauss Sigma 1.2, Gauss Support 2, Threshold 210 (μ = 1.68 [1/cm])).

본 실험에서 상악 해면골의 경우 3개 개체군 모두에서 tapered type의 골접촉률이 cylinder type의 골접촉률보다 유의적으로 높게 나타났다. 이는 식립시 tapered type의 교정용 임플란트가 해면골의 기계적인 압축(condensation) 효과에 기인할지도 모른다는 추측을 해볼 수 있으나 향후 추가적인 조직학적 검증이 필요하리라 사료된다. 그 밖에 하악의 피질골의 경우 tapered type과 cylinder type 모두에서 유의 차 없는 높은 골접촉률을 나타내었으며 초기 고정이 안정성이 큰 영향을 미치는 교정용 임플란트에서는 중요한 사실이다. 물론 이러한 결과가 교정용 미니 임플란트의 궁극적인 안정성을 보장하는 것은 아니며 힘의 적용과정에서 나타나는 동적인 골 치유 및 골 개조 과정 또한 평가되어야 한다.

과거에도 여러 가지 실험과 연구에 의하여 교정용 미니 임플란트의 디자인에

따른 안정성 및 성공률 평가가 이루어져 왔으나(Kim등, 2008; Wilmes 등, 2008) 그 통계적 결과에 대하여는 아직 논란의 여지가 많다. 미니 임플란트 디자인에 관한 본 연구가 갖는 의미는 동일한 개체 내에서 좌우 동일한 부위를 컨트롤하여 두 가지의 다른 형태의 미니 임플란트를 비교함으로써 신뢰할 만한 비교 데이터를 얻었을 뿐 아니라 과거의 골 부피 및 접촉률 연구와는 달리 여러 가지 slice cut 부위를 개체 별로 지정함으로써 골 종류에 따른 삼차원적인 골 형태적 특성을 분리하여 계측 평가하였다는데 그 의미가 있다고 할 수 있다. 다만 이번 실험이 개체 수가 비교적 적었음이 아쉬운 부분이며 삼차원 데이터를 비교할 만한 기존의 충분한 기준이 없었음이 그 한계라 할 수 있었다. 향후 연구에 있어 교정용 미니 임플란트의 안정성에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 형태학적 요소들에 관한 추가적인 삼차원적 분석 및 기준 마련이 필요하리라 사료된다.

V. 결론

본 연구는 성견 3 마리를 대상으로 preliminary CT scanning 을 통해 선택된 피질골과 해면골의 골특성을 가장 잘 대변할 수 있는 부위 즉, 상악 제 1 대구치 근원심 치근 사이와 하악 변연 부위에 2 가지 디자인의 총 18 개의 교정용 미니 임플란트(Cylinder type : 1.5mm ø x 7mm length, Miankang® (BMK, Seoul, Korea), Tapered type : 1.8mm ø x 7mm length, Orlus® (Orthолution, Seoul, Korea))를 좌우 대칭으로 식립하였다. 각각의 미니 임플란트가 포함된 조직 시편은 micro-computed tomogram(μCT-40, Scanco Medical, Brüttisellen, Switzerland)으로 촬영한 후 이미지 데이터 셋으로 구성되었으며, 삼차원적인 분석을 통하여 골 부피 및 골접촉률을 계측, 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

.

1. 골부피 항목의 경우 각 시편의 multi- sliced cut을 3차원 재조합 하여 voxel 단위의 실질적 부피단위로 계측할 수 있었다. 상대적 골부피(BV/TV) index의 경우 상악의 해면골에서 cylinder type과 tapered type 간의 통계적 유의차를 보이지 않았으며 하악 피질골에서도 두 간의 통계적 유의차를 보이지 않았다.

2. 상악골에서의 미니 임플란트와의 골접촉(BIA)은 세 개체 모두에서 두 군간 통계적 차이를 보였으며 tapered type의 골접촉률이 cylinder type의 골접촉률 보다 유의적으로 높게 나왔다($P<0.01$, $P<0.05$, $P<0.001$).

3. 하악 피질골에서의 미니 임플란트와의 골접촉(BIA)은 모든 개체에서는 두 군간의 유의 차이가 없었으며 cylinder type과 tapered type 모두에서 96%

이상의 높은 골접촉률을 나타내었다

본 연구를 통하여 각각의 개체 내에서 해면골 및 피질골의 좌우 동일한 부위를 컨트롤하여 두 가지의 다른 형태의 교정용 미니 임플란트의 디자인을 비교한 결과 초기 골접촉률은 하악 피질골 보다 상악 해면골에서 미니 임플란트의 디자인에 영향을 받을 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

이성호 : Threshold 결정 방법에 따른 micro-computed tomography를 이용한 교정용 미니 임플란트 주위 골조직 형태분석의 유효성. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2007

임선아, 차정열, 황충주 : 교정용 미니스크류의 형상에 따른 식립 토오크의 비교. 대한치과교정학회지, 37: 87-97, 2007

임중기 : 교정용 미니 임플란트 식립 후 부하시기별 골 조직형태에 대한 micro-computed tomography와 조직분석 간의 비교. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2007

송진욱 : 교정용 미니 임플란트 식립 후 micro-computed tomography에 의해 발생하는 허상이 골조직 형태분석에 미치는 영향. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 응용생명과학과, 2008

차정열, 윤태민, 황충주 : 교정용 미니스크류의 디자인에 따른 식립 및 제거 토오크. 대한치과교정학회지, 38: 5-12, 2008

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: 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

Melsen B and Costa A : Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage. Clin Orthod Res 3:23-28, 2000

Hildebrand T, Rüegsegger T : Quantification of bone microarchitecture with the structure model index. Comp Meth Biomech Biomed Eng 1:15-23,1997

Graichen H, Lochmuller EM, et al. : A non-destructive technique for 3-D microstructural phenotypic characterisation of bones in genetically altered mice: preliminary data in growth hormone transgenic animals and normal controls. Anat Embryol 199 : 239-48, 1999

Kanomi R : Mini-implant for orthodontic anchorage. J Clin Orthod 31: 763-7, 1997

Kim JW, Ahn SJ, Chang YI. Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 128:190–194, 2005

Kim TW, Baek SH, et al. : Effects of microgrooves on the success rate and soft tissue adaptation of orthodontic miniscrews. Angle Orthod 2008:78:

1057-64, 2008

Kuroda S, Sugawara Y, et al. : Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: success rates and postoperative discomfort. Am J Orthod Dentofacial Orthop 131 : 9-15, 2007

Kyung SH, Hong SG, et al. : Distalization of maxillary molars with a midpalatal miniscrew. J Clin Orthod 37: 22-6, 2003

Park HS, Bae SM, et al. : Micro-implant anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. J Clin Orthod 35 : 417-22, 2001

Park YC, Chu JH, et al. : Extraction space closure with vacuum-formed splints and miniscrew anchorage. J Clin Orthod 39 : 76-9, 2005

Rebaudi A, Koller B, et al. : Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. Int J Periodontics Restorative Dent 24 : 316-25, 2004

Roberts WE, Nelson CL, et al. : Rigid implant anchorage to close a mandibular first molar extraction site. J Clin Orthod 28 : 693-704, 1994

Stoppie N, Waerden JP, et al. : Validation of microfocus computed tomography in the evaluation of bone implant specimens. Clin Implant Dent Relat Res 7 : 87-94, 2005

Wilmes B, Ottenstreuer S, et al. : Impact of implant design on primary stability of orthodontic mini-implants. J Orofac Orthop 69 : 42-50, 2008

Wilmes, B, Rademacher C, et al. : Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. J Orofac Orthop 67 : 162-74, 2006

Abstract

Three-dimensional measurement of the bone to mini implant contact in the cortical and trabecular bone using a micro CT scanning

Jang Yeol Lee

Department of Dentistry, The Graduate School, Yonsei University

*(Directed by Professor **Hyoung-Seon Baik**, D.D.S., M.S.D., Ph.D.)*

Bone to implant contact is one of the most important factors evaluating initial stability of orthodontic mini-implant. Most previous studies were performed by two-dimensional measurements through histomorphometric analysis but these procedures are destructive, complicated and time consuming. In this study, implant design factor and host factor affecting initial stability of orthodontic mini-implant were evaluated by measuring 3-dimensional bone to implant contact using non-destructive micro CT scanning.

Two different types of mini-implant were placed at each side of 3 Beagle dogs selected by preliminary CT scanning representing most typical characteristics of trabecular and cortical bone, which is between mesial and distal roots of maxillary first molar and mandibular border. Among 18 mini-implants, 1.5 mm ø x 7mm length Miankang (BMK, Seoul, Korea)were selected as cylindrical type and 1.8 mm ø x 7mm length Orlus (Ortholution,

Seoul, Korea) were selected as tapered type. After 3-dimensional analysis of micro CT data taken by micro-computed tomogram (μCT-40, Scanco Medical, Brüttisellen, Switzerland), the following results were obtained;

1. Actual voxel-based volumetric measurements were achieved by reconstructing multi- sliced cuts of each group 3-dimentionally. In maxillary trabecular bone, relative bone volume(BV/TV) index showed no statistically significant difference between cylinder type and tapered type, and showed no statistically significant difference in mandibular cortical bone also.

2. In each subject group, bone implant apposition (BIA) of maxilla noted statistically significant difference between cylinder type and tapered type, showing higher BIA in tapered type($P<0.01$, $P<0.05$, $P<0.001$).

3. In each subject group, bone implant apposition (BIA) of mandible showed no statistically significant difference between two types. Large apposition over 96% was noted in both cylinder type and tapered type.

Key words: Mini implant, Micro-computed tomography, Bone implant contact, Bone implant apposition, Implant design, Cortical, Trabecular