

단층 촬영을 이용한 골밀도와
미니 스크루의 안정성에 관한 연구

연세대학교 대학원

치 의 학 과

길 재 경

단층 촬영을 이용한 골밀도와
미니 스크루의 안정성에 관한 연구

지도 황 충 주 교수

이 논문을 박사 학위논문으로 제출함

2006년 월 일

연세대학교 대학원

치의학과

길 재 경

길재경의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2006년 월 일

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 각별하신 지도와 격려를 베풀어주신 황충주 교수님께 존경과 감사를 드리며, 또한 보다 나은 논문을 위해서 세심한 조언을 아끼지 않으셨던 박영철 교수님, 백형선 교수님, 김경남 교수님, 오근택 교수님께 진심으로 감사드립니다.

또한 처음 교정학을 공부할 때 도움을 주시고 오늘 제가 이 자리에 설수 있게 해 주신 유영규 교수님, 손병화 교수님, 유형석 교수님께도 감사드립니다.

아울러 바쁜 와중에서도 많은 도움을 주신 차정열 선생님과 교정학 교실 의국원 여러분, 연구 실험을 위해 애써주신 여러분에게 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 항상 저를 믿고 후원해주는 사랑하는 저의 평생의 동반자 미정, 그리고 사랑스런 태영, 하영 그리고 제가 여기까지 올 수 있게끔 키워주시고 든든한 후원자이신 아버님, 어머님, 그리고 장모님께 무한한 사랑과 감사의 말과 함께 이 작은 결실을 바칩니다.

2006년 6월

저자 씀

차 례

차례	v
그림 차례	vi
표 차례	vi
국문 요약	vii
I. 서론	1
II. 연구 재료 및 방법	4
가. 연구 재료	4
나. 연구 방법	5
다. 통계 처리	10
III. 연구 결과	11
가. 표준 골밀도 보정기를 이용한 HU와 골밀도간의 회귀방정식	11
나. 식립 토오크, 제거 토오크, 동요도, HU, 골밀도, 피질골 두께간의 상관성	13
다. 스크루 형태에 따른 평균, 식립 토오크, 제거 토오크, 동요도, 골밀도간의 유의성	14
라. 스크루의 형태와 식립 부위에 따른 식립 토오크, 골밀도간의 회귀방정식	16
IV. 총괄 및 고찰	19
V. 결론	24
참고 문헌	25
영문 요약	31

그림 차례

Fig. 1. Drawing of cylindrical & taper type screws	4
Fig. 2. Schematic image for mini-screw position	6
Fig. 3. Experimental protocol	6
Fig. 4. Position of Dental Phantom and the process of image reconstruction according to the occlusal line	8
Fig. 5. Hounsfield Unit measured for ROI(Region of Interest)	9
Fig. 6. Regression graph of BMD values from Hounsfield Units for experimental dogs	11
Fig. 7. Bar graphs showing insertion & removal torque, BMD and cortical bone thickness by screw type	15
Fig. 8. Regression equation of insertion torque from BMD by each screw type and screw position	17
Fig. 9. Regression equation of insertion torque from HU by each screw type and screw position	18

표 차례

Table 1. Calibration of BMD by using Hounsfield Units in the three compartments of the Dental Phantom	12
Table 2. Pearson correlation test between IT, RT, Mobility, HU, BMD, cortical bone thickness	13
Table 3. Mean, SD and significance of each values according to the screw types	14

국문 요약

단층 촬영을 이용한 골밀도와 미니 스크루의 안정성에 관한 연구

최근 교정용 미니 스크루가 활발하게 임상에 응용되면서 스크루의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대한 여러 연구가 진행되고 있다. 살아있는 성견에서 골밀도와 피질골 두께, 식립 위치, 스크루 형태에 따른 특성을 CT를 이용하여 알아보려고 하였다.

Hounsfield Unit(HU)값은 측정하기 쉬운 반면 방사선 촬영 방법과 X선의 선량에 따라 변화될 수 있음이 보고되면서 표준 골밀도 보정기(Calibration Standard)를 이용한 골의 밀도 분석이 더욱 정확한 골질 평가에 유리하다고 생각되어 웅성 성견 6마리에 실린더형과 테이퍼형의 미니 스크루 96개를 식립하고 표준 골밀도 보정기를 사용하여 단층 촬영 시 HU를 골밀도(Bone Mineral Density; BMD)로 보정하여 식립 토크 및 제거 토크, 피질골의 두께 및 골밀도, 동요도, 스크루의 종류와 식립 부위에 따른 상관성과 유의성을 검사하여 골밀도와 스크루의 안정성에 대한 보다 객관적인 평가를 하고자 하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 식립 토오크에 대해 스크루 위치(0.84), 제거 토오크(0.66), BMD(0.58)와 피질골의 두께(0.48)의 순으로 양의 상관관계를 보여주었으며 동요도(-0.57)는 음의 상관관계를 보여주었다($P < 0.01$)

2. 테이퍼형의 미니 스크루가 실린더형보다 높은 식립 토오크를 나타내었으나 ($P < 0.01$), 제거 토오크 및 동요도에는 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다 ($P > 0.05$).

3. 하악이 상악에 비해 높은 골밀도와 식립 토오크를 보여주었으며 테이퍼형에서는 21.7 N·cm, 실린더형은 14.2 N·cm로 상악의 6.5 N·cm, 4.2 N·cm에 비해 높게 측정되었다($P < 0.01$).

4. HU에 비해 골밀도(BMD)를 기준으로 식립 토오크에 대한 회귀방정식을 구함으로써 하악에서 테이퍼형 스크루의 경우 다중회귀방정식에서의 결정계수(R^2)가 HU 기준 시 0.26에서 골밀도 기준 시 0.47로 증가하여 골밀도(BMD)로 전환하는 것이 좀 더 객관적인 결과를 나타내었다.

이상의 결과에서 골밀도(BMD)를 응용하여 미니 스크루의 초기 안정성에 대한 예측도를 HU 적용 시보다 향상시킬 수 있었다.

핵심되는 말 : 미니스크루, 피질골, 표준 골밀도 보정기(Calibration Standard), 단층 촬영(CT), 골밀도(Bone Mineral Density), HU(Houndsfield Unit), 식립 토오크, 제거 토오크

단층 촬영을 이용한 골밀도와 미니 스크루의 안정성에 관한 연구

(지도 : 황 충 주 교수)

연세대학교 대학원 치의학과

길 재 경

I . 서 론

정형외과 분야와 치과분야에서 임플란트가 많이 사용되고 있는데 교정 영역에서도 미니스크루가 활발하게 임상에 응용되면서 스크루의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대한 여러 연구가 진행되고 있다. Carter와 Gioro(1991), Goodman 등(1993), Huja 등(2005)에 의하면 미니 스크루의 초기안정성이 중요한 이유는 미세 움직임을 감소시켜 치유에 적합한 환경을 만들어주기 때문이라고 하였다. Beer 등(2003)은 교정치료 영역이나 보철치료 영역에서 임플란트나 미니 스크루의 성공 여부는 환자의 전신 상태나 재료의 생체적합성, 재료의 미세, 거시적 성질, 의사의 시술과정 및 골질의 양과 질에 의해 결정된다고 하였고, Miyawaki 등(2003)은 교정용 미니 스크루는 대부분의 실패가 조기에 나타나므로 무엇보다 초기 안정성이 중요하다고 하였다. Nordin, Frankel(2001)과 Cunningham(2001)은 스크루의 탈락은 불량한 bone-screw interface에 의한 염증이 주요인이겠지만 기계적인 요인도 중요하다고 하였다.

Ryken 등(1995), Lu 등(2000), Oktenoglu 등(2001), Yerby 등(2001)은 스크루 삽

입에 필요한 힘에 영향을 미치는 요소로 스크루의 직경, 길이, pilot hole 직경, 스크루 나사산의 형태, 골의 밀도 등을 이야기했다.

선학들의 연구를 종합해 보면 스크루의 안정성에 영향을 미치는 요소는 크게 스크루 요인(screw factor)과 숙주 요인(host factor)으로 나누어 볼 수 있다. 스크루 요인은 스크루가 가지는 형태적 특성과 관련된 요소이며 숙주 요인은 스크루가 식립 될 부위의 골의 양, 질(quality)과 관련된 요소이다. 이 중 골의 특성은 스크루 식립 후 안정성을 예측할 수 있는 정보를 임상자에게 제공할 수 있다. 피질골의 두께는 골의 양과 관련된 요소로써 스크루의 초기 안정성에 주요한 영향을 미칠 수 있다. 백(2003)과 이(2004)는 유한요소 분석을 통해 스크루에 측방력을 부여할 때 대부분의 힘이 피질골에 집중된다는 것을 보고하였으며 박(1999)과 김(2002)은 상악과 하악에서 부위별 피질골의 두께를 계측하여 스크루의 안정성을 확보할 수 있는 해부학적인 정보를 제공하였다. 최근 식립 후 주변조직에 대한 치유기간 없이 즉시부하를 주는 방법에서 초기 고정력은 스크루의 안정성에 필요한 요건이기에 숙주 요인이 중요하다.

골의 질(quality)에 대한 연구는 주로 보철과와 정형외과 영역에서 많이 이루어져 왔다. 미니 스크루를 비롯한 스크루 형태의 임플란트의 안정성에 대해서 역학적인 평가를 할 때 주로 사용하는 방법으로 식립 토오크 및 제거 토오크를 측정하는 방법(Heidermann 등, 1998; Brown 등, 2000; Homolka 등, 2002; Hitchon 등, 2003; 강, 2003; Carono 등, 2005a)과 Pull-out strength를 측정하는 방법(Kido 등, 1997; Heidermann 등, 1998; Baker 등, 1999; Brown 등, 2000; Carano 등, 2005a; Huja 등, 2005)이 주로 사용되고 있으며 이러한 역학적 연구에 대한 문헌들에서 스크루의 디자인 외에 주로 식립 부위의 골밀도를 안정성에 영향을 미치는 요소로 언급하고 있다.

골의 질은 골의 밀도와 관련된 요소로 성별과 나이 및 신체적인 상태에 따라 피질골에서 서로 다르다고 보고된 바 있다. 이미 단층촬영(CT; Computed tomography)을 이용한 골밀도의 측정이 정형외과학 분야에서 Genant 등(1985)과 Cann(1988)에 의해 이루어져 골의 밀도를 분석할 수 있게 되었으며 치과 임플란트에서 안정성을 확보하기 위한 치료계획 수립에 응용할 수 있음이 보고된 바 있

다. 골밀도의 측정은 크게 HU(Hounsfield Unit)값을 사용하는 방법과 Hydroxyapatite 블록을 이용하여 측정된 HU값을 골밀도(Bone Mineral Density)로 전환하여 계측할 수 있는 간접적인 방법이 있다. HU값은 측정하기 쉬운 반면 방사선 촬영 방법과 X선의 선량에 따라 변화될 수 있음이 보고되면서 표준 골밀도 보정기(Calibration Standard)를 이용한 골의 밀도 분석이 더욱 정확한 골질 평가에 유리하다고 판단된다.

본 연구의 목적은 CT를 이용하여 골밀도를 평가할 수 있는 방법을 적용하여 골밀도에 대한 스크류의 식립 토오크 및 제거 토오크와의 상관성을 조사하여 객관적 근거를 제시하고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 연구 재료

1. 실험동물과 실험재료

본 연구에는 12개월 된 12 kg의 웅성 성견(Beagle dog) 6마리를 대상으로 미니 스크루가 식립되었으며 이들의 구입, 선택, 관리, 실험 등은 연세의료원 실험동물 위원회의 동물 실험 조건을 따랐다.

실험에 사용된 미니 스크루는 직경 1.45 mm, 길이 7 mm의 free-drilling type의 현재 국내에서 시판되고 있는 실린더형(OAS-T1507C)과 테이퍼형(OAS-T1507T, BioMaterials Korea Inc., Seoul, Korea)을 선정하였으며 총 96개가 사용되었다 (Fig. 1).

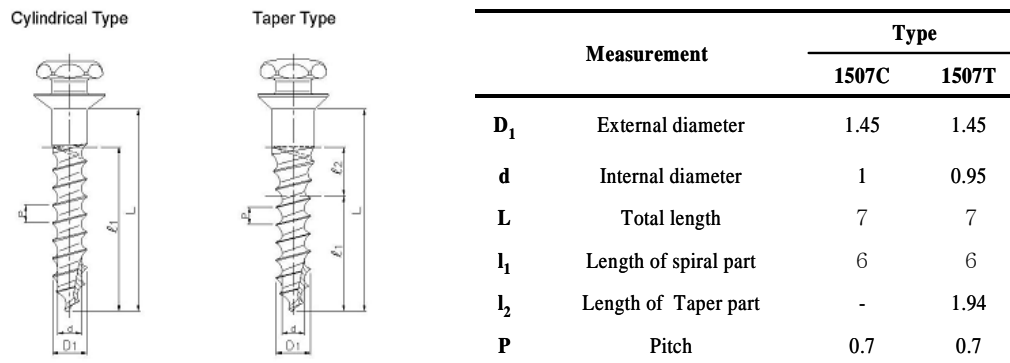


Fig. 1. Drawing of cylindrical type(T1507C) & taper type(T1507T) screws.

2. 표준 골 밀도 보정기(Calibration Standard)

본 연구에서는 단층 촬영 시 각기 다른 선량에 의한 HU 값의 오차를 보정하기 위해 표준 골밀도 보정기(Calibration Standard; Dental Phantom, Image Analysis Inc., Columbia, KY, U.S.A)를 사용하였다. 이 표준 골밀도 보정기는 세 부위로 나뉘어져 있으며 각 부위는 cm^3 당 water-equivalent matrix 내에 0 mg, 75 mg, 150 mg의 Hydroxyapatite (HA)를 함유하고 있다.

나. 연구 방법

교정용 미니스크루를 식립할 위치는 식립 3일전에 단층 촬영하여 재구성된 상을 통해 식립 할 부위인 치근사이에 충분한 공간이 있는지 평가한 후 결정하였다.

결정된 위치는 하악에서 PM2, PM3, PM4, M1의 치근사이, 상악에서는 PM2, PM3, M1의 치근사이로 식립 위치를 결정하였다(Fig. 2).

5-10 mm의 잇몸 절개를 시행하여 식염수 관주 하에 스크루의 나사산이 치조골에 들어가는 것을 확인하였다. 용성 성견 6마리에 식립되었으며 12주 경과 후에 실험을 종료하였다. 식립 후 force gauge를 이용하여 250-300 gm 범위의 교정력을 power chain을 이용하여 부여하였으며 매 3주마다 교체하였다. 스크루는 제거 전에 Periotest(Simens AG, Benshein, Germany)를 이용하여 동요도를 각 부위에 두 번씩 측정하였다. 실험기간 동안 동물의 구강위생을 위해 클로로헥시딘 용액을 이용하여 매일 구강양치를 시행하였다. 미니 스크루 식립 12주 후에 미니스크루를 제거하였으며 제거 3일전에 다시 단층 촬영하였다(Fig. 3).

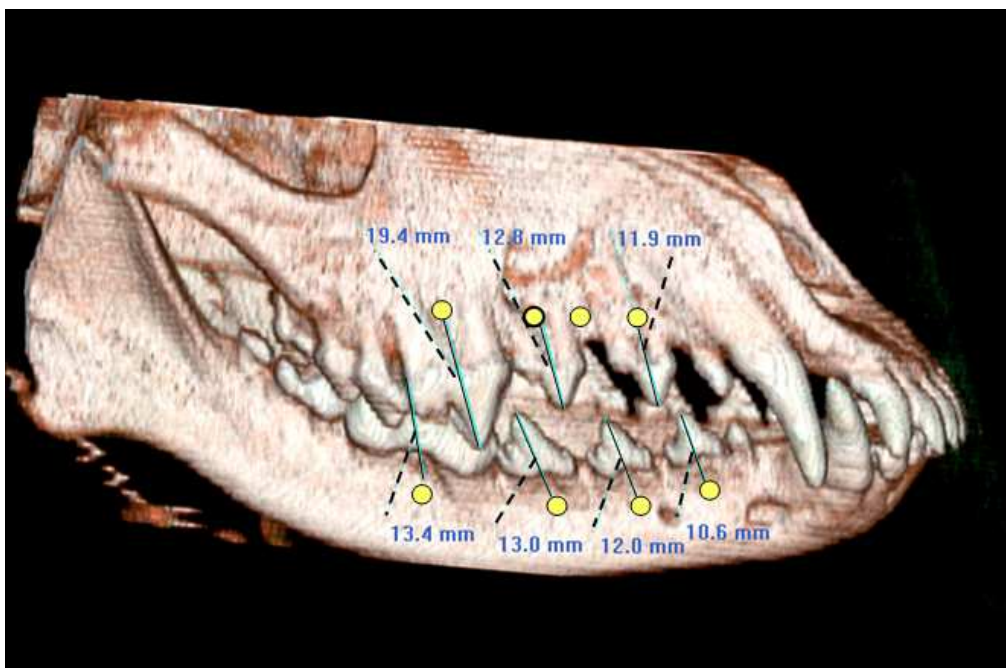


Fig. 2. Schematic image for mini-screw position.

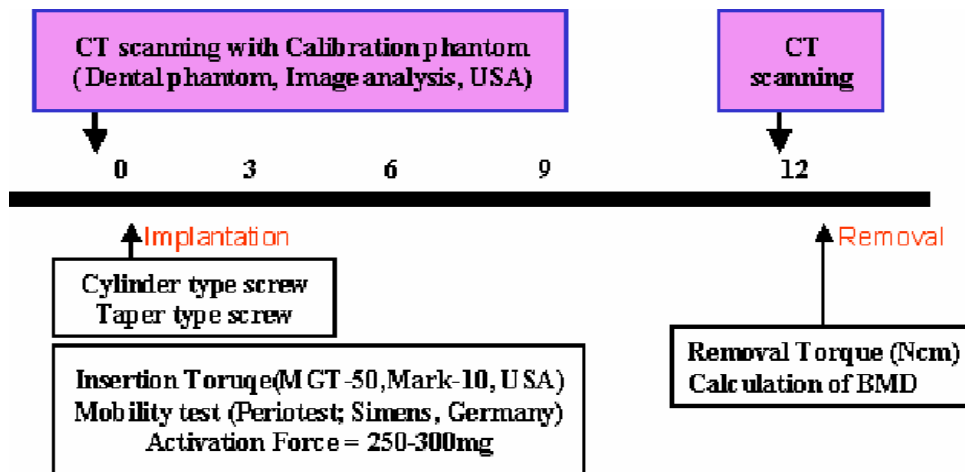


Fig. 3. Experimental protocol.

1. 식립토포크 및 제거토포크 실험 (Insertion Torque & Removal Torque Test)

ASTM(American Society for Testing and Materials)에서는 식립 토포크를 “스크루를 물질 속으로 진입시킬 때 스크루와 물질 사이의 마찰력을 극복하는데 필요한 토포크의 양”이라고 정의하고 있으며, 최대 토포크(maximum torque)를 “회전을 계속하는 동안에 스크루 파절이 일어나기 전까지 기록된 최대의 값”으로 정의하고 있다. 그러나 교정용 미니 스크루의 역학적 안정성에 중요한 요인은 미니 스크루를 나사부까지 완전히 식립했을 때의 최대 토포크 값이라 판단되어 나사부까지 식립 시 최종 1/4회전 토포크를 식립 토포크로 정의하였다. ASTM에서는 제거 토포크는 “물질로부터 스크루를 제거할 때 스크루와 물질 사이의 마찰력을 극복하는데 필요한 토포크의 양”이라고 정의하고 있으며 식립 시와는 반대로 제거 시 처음 1/4회전 토포크를 제거 토포크로 정의하였다.

스크루 식립 및 제거 시에 토포크 센서(Mark-10, MGT50, N.Y, U.S.A)를 이용하여 식립 토포크 및 제거 토포크를 측정하였으며 토포크 값은 N·cm으로 변환하여 기록하였다.

2. 단층 촬영 및 골밀도 보정(CT Protocol and BMD Calibration)

식립 될 부위의 골밀도를 측정하기 위해 스크루 식립 및 제거 3일 전에 단층 촬영하였다. 성견의 교합평면에 받침대가 평행하게 위치되게 시킨 후 두개를 고정하였으며 근육진정 마취 하에 시행하였다.

CT Hi speed Advantage CT 촬영 장치 (GE Medical System, Milwaukee, U.S.A)를 이용하여 3 mm 두께의 연속적인 횡단면 나선형 단층 촬영(high resolution algorithm, 512·512 matrix, 120 kV, 200 mA)을 시행하였으며 이송속도는 6 mm/sec 였다. 촬영한 기본영상자료를 1 mm 두께의 횡단면상으로 재구성하였다.

골밀도 보정을 위해 실험동물의 협측에 표준 골밀도 보정기(Calibration Stand)

ard; Dental Phantom)을 부착하였다(Fig. 4). 표준 골밀도 보정기 내에 있는 세 부분의 HU수치를 측정하여 알고자하는 부위의 골밀도를 표준 골밀도 보정기, 즉 다시 말해서 0 mg, 75 mg, 150 mg HA/cm³ 와 비례관계에 있다는 점을 이용하여 보정 측정하였다.

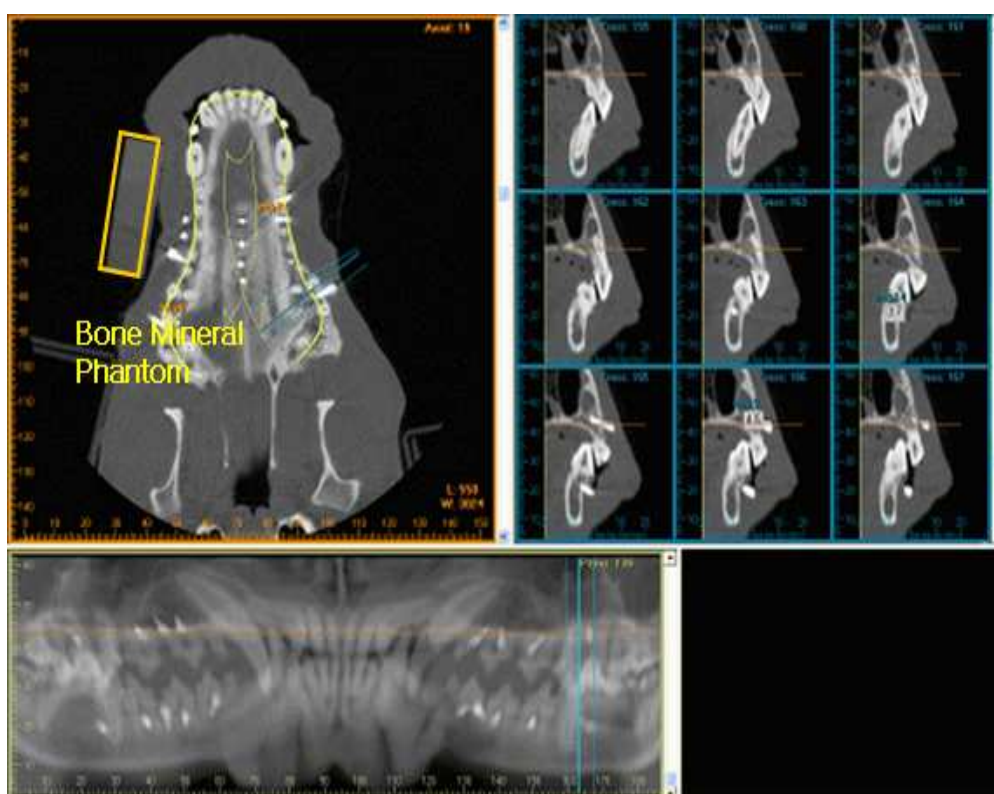


Fig. 4. Position of Dental Phantom and the process of image reconstruction according to the occlusal line.

3. Image Processing

(V-implant, 골두께 2mm, 길이 4mm의 피질골 측정, 식립 깊이 측정)

촬영된 이미지는 V-implant(CyberMed, Seoul, Korea)를 이용하여 분석하였다. 스크루 제거 전에 촬영된 이미지는 상악과 하악 치열에 각기 다른 occlusal line을 구성하여 1 mm 간격으로 transaxial image로 구성되었다(Fig. 4). 구성된 이미지를 통해 식립된 모든 스크루의 위치는 수직적인 위치 경사도가 측정되었으며 bmp 파일로 저장되었다. 식립 전 촬영된 단층 촬영도 동일한 occlusal line에 대해 재구성되었으며 위치화 된 스크루와 bmp파일을 통해 식립 위치를 결정하였다. 스크루가 식립될 위치에 대해 2 mm 폭경과 5 mm 깊이의 원주형의 구역에 대한 평균 골밀도를 HU로 측정하였으며 Fig. 5에서 붉은 색으로 표시하였다. 수질골을 제외한 피질골의 두께도 함께 측정되었으며 이 부위에 대한 평균 골밀도도 함께 측정되었다(Fig. 5).

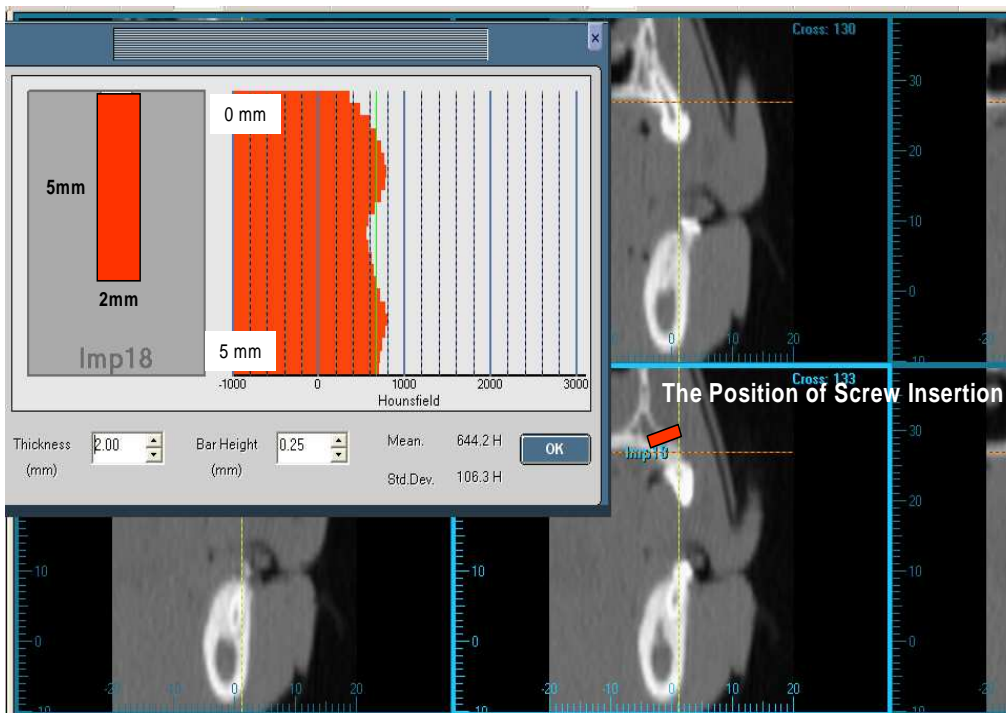


Fig. 5. Hounsfield Unit measured for ROI(Region of Interest).

다. 통계 처리

표준 골밀도 보정기를 이용한 각각의 성견에 대한 HU와 골밀도간의 회귀방정식으로 계산하여 각각의 성견 별로 평균 골밀도를 분석하였다.

식립 토오크, 제거 토오크, 동요도, HU, 골밀도, 피질골 두께간의 상관성 계산을 위해 Spearman test와 Pearson correlation test를 사용하였다.

스크루 형태에 따른 평균, 식립 토오크, 제거 토오크, HU, 골밀도간의 유의성 검증은 Paired t -test를 이용하였다.

스크루의 형태와 식립 부위에 따른 식립 토오크 및 골밀도간의 회귀방정식을 계산하였다.

Ⅲ. 연구 결과

가. 표준 골밀도 보정기를 이용한 HU와 골밀도간의 회귀방정식

각각의 성견에 대한 표준 골밀도 보정기 내에 있는 세 부분의 HU값에 대한 평균과 표준편차(Table 1)를 이용하여 회귀방정식을 구하였다. 기울기(parameter a)는 0.813에서 0.935 범위에 있었으며 절편(intercept b)은 3.80에서 24.47 범위로 측정되었다. 모든 회귀방정식의 상관계수(Correlation coefficient)는 0.98 이상이었다 (Fig. 6).

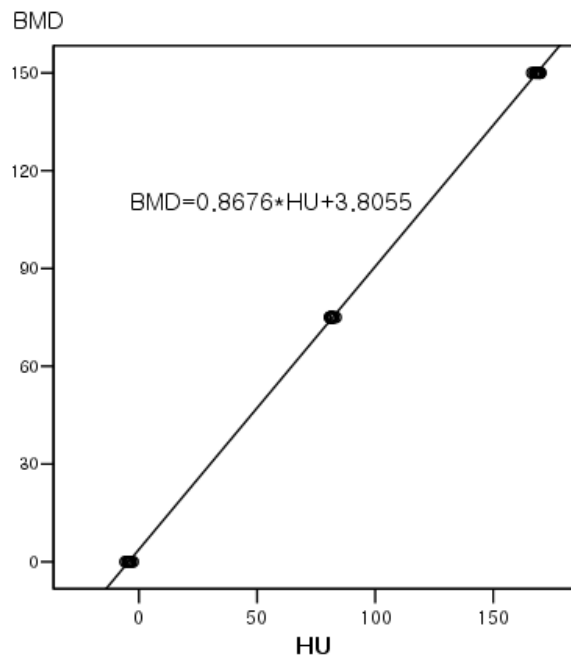


Fig. 6. Regression graph of bone mineral density(BMD) values from Hounsfield Units for experimental dogs. ($\text{mgHA}/\text{cm}^3 = \text{mili grams}$ (0, 75, 150) of hydroxyapatite per cubic centimeter)

나. 식립토오크, 제거토오크, 동요도, HU, 골밀도, 피질골 두께 간의 상관성

식립 토오크는 스크루 위치와 높은 상관성(0.841)이 관찰되었으며 제거 토오크, 동요도, 스크루의 형태, 그리고 BMD에서도 상관성이 관찰되었다. 또한 피질골의 두께에서도 상관성(0.476)이 관찰되었다.

제거 토오크는 스크루의 형태와는 큰 상관성을 보이지 않았다.

동요도는 식립 토오크와 스크루의 위치와 양의 상관성을 보였으며, 특히 피질골의 골밀도와 음의 상관성을 보였다(Table 2).

Table 1. Calibration of BMD by using Hounsfield Units in the three compartments of the Dental Phantom.

Experimental group	Calcium Hydroxyapatite						Calibration Coefficients		
	0 mgHA/cm ³		75 mgHA/cm ³		150 mgHA/cm ³		parameter a	parameter b	Correlation coefficient
	HU		HU		HU				
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD			
1	-4.2	0.8	81.6	0.7	168.7	1.1	0.868	3.80	0.99
2	-6.4	6.2	79.4	2.6	176.9	6.3	0.813	7.24	0.99
3	-3.9	1.8	82.3	3.0	178.8	3.4	0.819	4.76	0.99
4	-10.8	5.3	74.1	2.1	169.8	4.0	0.827	10.71	0.99
5	-7.6	2.0	53.0	4.9	149.8	1.4	0.935	14.16	0.99
6	-21.0	5.7	47.8	2.3	160.4	1.4	0.810	24.47	0.98

* HU : Hounsfield Unit

Table 2. Pearson correlation test among insertion torque, removal torque, mobility, Houndsfields Unit, bone mineral density and cortical bone thickness.

		Insertion Torque	Removal Torque	Mobility	Cortical Thickness	BMD Total	BMD Cortical	Screw Type	Screw Position
Insertion Torque	Correlation	1	.661**	-.577**	.476**	.575**	.078	.335**	.841**
	Sig.	-	.000	.000	.000	.000	.504	.003	.000
Removal Torque	Correlation	.661**	1	-.366*	.369**	.425**	.058	.035	.542**
	Sig.	.000	-	.026	.001	.000	.622	.764	.000
Mobility	Correlation	-.577**	-.366*	1	-.350*	-.283	-.515**	-.271	-.445**
	Sig.	.000	.026	-	.031	.085	.001	.099	.005
Cortical Thickness	Correlation	.476**	.369**	-.350*	1	.044	.246*	.035	.530**
	Sig.	.000	.001	.031	-	.705	.032	.761	.000
BMD Total	Correlation	.575**	.425**	-.283	.044	1	.013	.084	.462**
	Sig.	.000	.000	.085	.705	-	.909	.468	.000
BMD Cortical	Correlation	.078	.058	-.515**	.246*	.013	1	.152	-.005
	Sig.	.504	.622	.001	.032	.909	-	.189	.966
Screw type	Correlation	.335**	.035	-.271	.035	.084	.152	1	.001
	Sig.	.003	.764	.099	.761	.468	.189	-	.995
Screw Position	Correlation	.841**	.542**	-.445**	.530**	.462**	-.005	.001	1
	Sig.	.000	.000	.005	.000	.000	.966	.995	-

* Correlation is significant at the 0.05 level

** Correlation is significant at the 0.01 level

다. 스크루 디자인에 따른 식립 토오크, 제거 토오크, 동요도, 골밀도 간의
유의성

식립 토오크에서 실린더형은 9.28 N·cm, 테이퍼형은 14.28 N·cm로 65%정도 높
게 측정되었으며 통계적인 유의성이 관찰되었다(P<0.005). 반면 제거 토오크는 실
린더형에서 3.59 N·cm, 테이퍼형에서 3.80 N·cm로 통계적인 유의한 차가 관찰
되지 않았다(P>0.05). 식립 후 Periotest를 이용한 동요도 측정에 대해서 하악에서
실린더형은 0.10, 테이퍼형은 -2.94로 관찰되었으나 통계적인 유의성은 관찰되지
않았다(P>0.05). 2종류의 스크루가 식립된 곳의 피질골 두께는 실린더형 및 테이

Table 3. Mean, standard deviation and significance of each values accordi
ng to the screw types

Screw Type	Cylinder						Taper						Sig*
	Mandible		Maxilla		Total		Mandible		Maxilla		Total		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Insertion Torque	14.16	2.19	4.15	2.18	9.28	5.51	21.70	4.66	6.46	2.06	14.28	8.52	0.003*
Removal Torque	4.83	2.07	2.29	1.24	3.59	2.13	5.89	4.59	1.83	0.81	3.80	3.81	0.764
Mobility	0.10	2.77	3.20	4.41	1.65	3.92	-2.94	4.03	1.61	3.94	-0.67	4.52	0.093
Cortical Thickness	1.98	0.48	1.38	0.60	1.69	0.61	2.02	0.33	1.42	0.51	1.73	0.52	0.761
BMD	1025.93	169.30	850.11	257.95	940.27	231.90	1098.83	180.32	851.93	205.12	978.72	227.55	0.468

* : Significance between cylindrical and taper type

퍼형에 대해 각각 1.73 mm, 1.69 mm로 유사하였으며 골밀도에 있어서도 978.72 mgHA/cm³와 940.27 mgHA/cm³로 유사하였다(Table 3, Fig. 7).

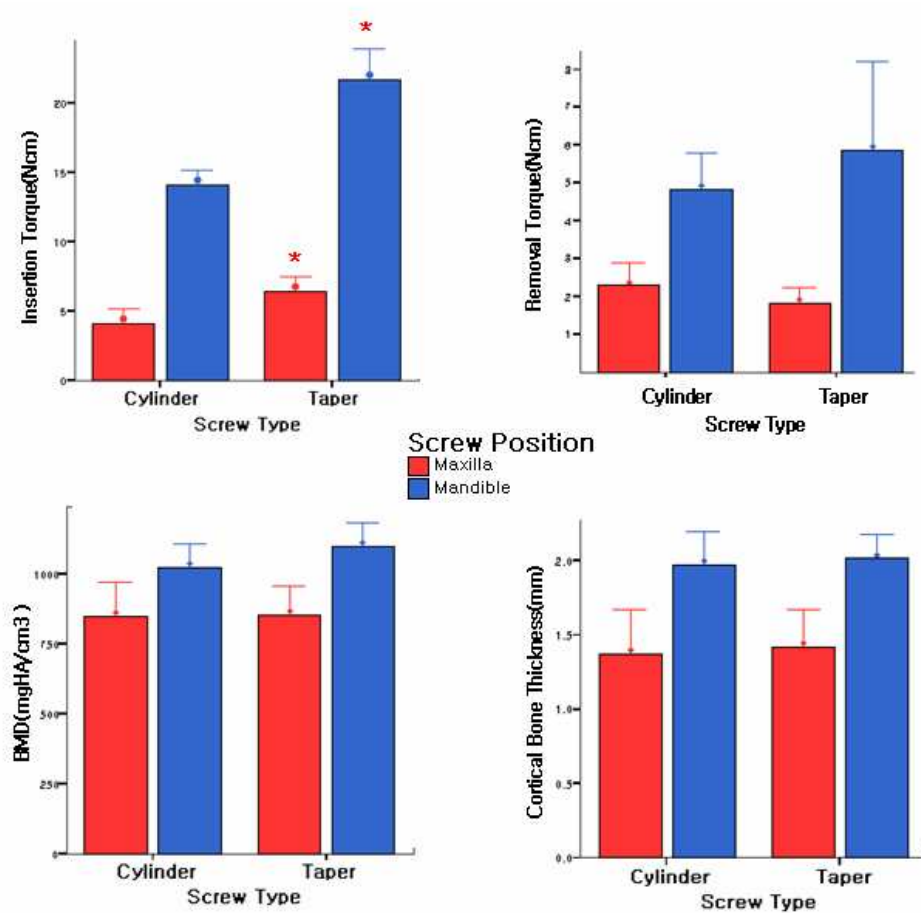


Fig. 7. Bar graphs showing insertion & removal torque, bone mineral density and cortical bone thickness by screw type(* ; p<0.005).

라. 스크루의 형태와 식립 부위에 따른 식립 토오크, 골밀도간의 회귀 방정식

상악에서 실린더형은 골밀도와 식립 토오크간에 상관성이 관찰되지 않은 반면 테이퍼형은 기울기(parameter a)가 0.01, 다중회귀방정식의 결정계수(R^2)가 0.31로 회귀방정식이 계산되었다. 하악에서 실린더형은 기울기가 0.01, 절편값이 6.48로 나타났으며 테이퍼형은 기울기가 0.02로 상악의 테이퍼형보다 2배 높은 기울기로 식립 토오크가 증가하였으며 R^2 값도 0.46으로 높게 관찰되었다(Fig. 8).

HU와 식립 토오크간의 회귀방정식에는 상악의 실린더형에서 역시 상관성이 관찰되지 않았으며 테이퍼형에서는 기울기가 0.0089로 낮은 값을 보여 주었으며 R^2 도 0.26으로 낮게 측정되었다. 하악에서도 회귀방정식이 측정되었으나 실린더형과 테이퍼형에서 R^2 가 각각 0.24와 0.28로 골밀도와의 회귀방정식에 비해 낮게 측정되었다(Fig. 9).

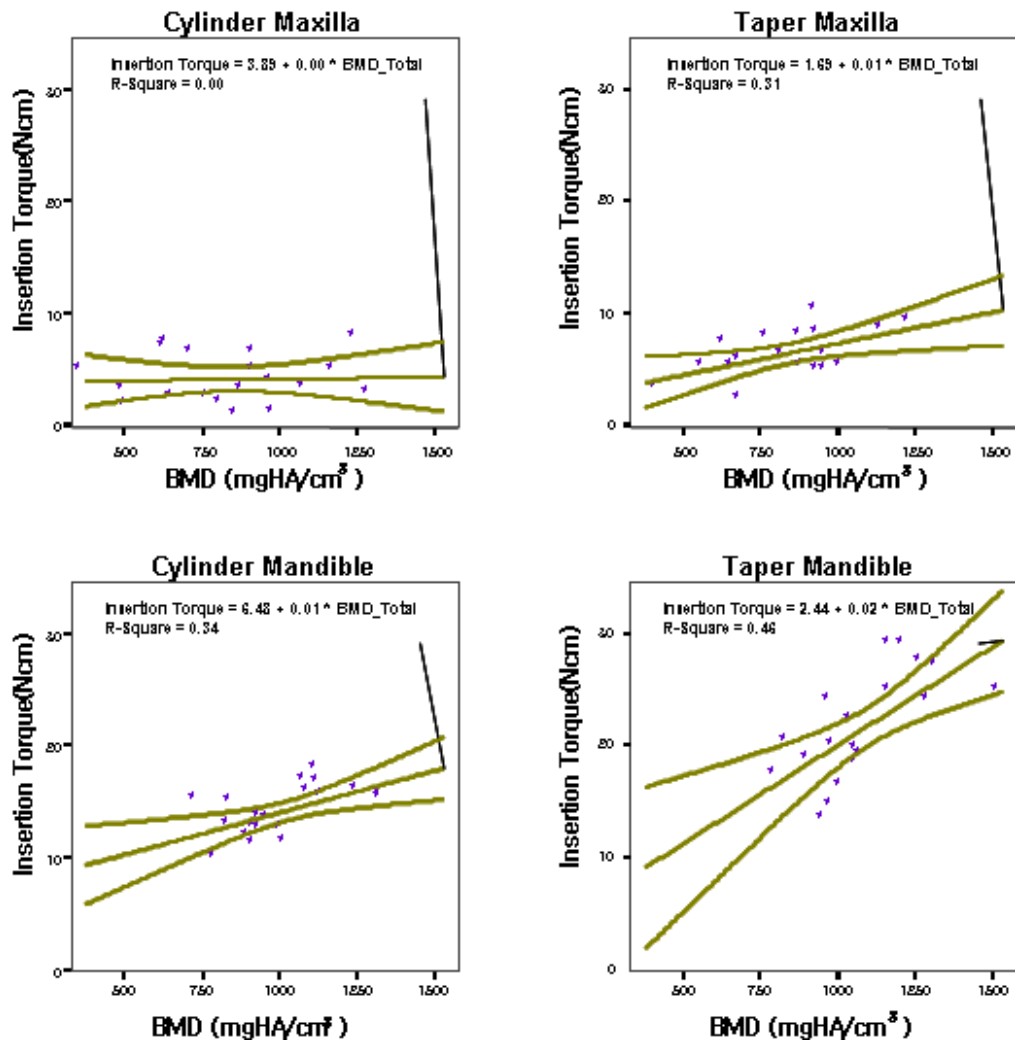


Fig. 8. Regression equation of insertion torque from bone mineral density by each screw type and screw position. Linear regression with 95.00% mean prediction interval.

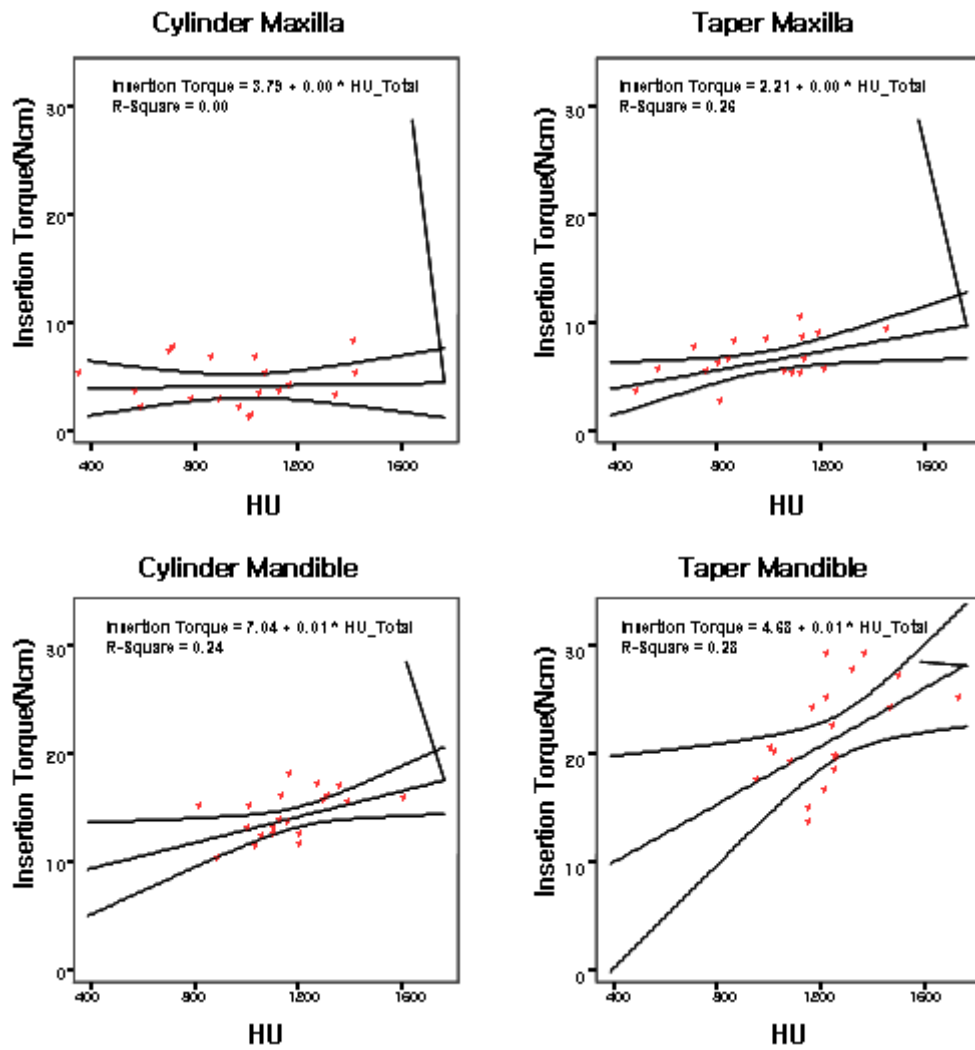


Fig. 9. Regression equation of insertion torque from HU by each screw type and screw position. Linear regression with 95.00% mean prediction interval.

IV. 총괄 및 고찰

최근 치과 교정과 영역에서 고정원의 확보를 위해서 교정용 미니 스크루의 사용이 보편화되고 있으나 교정과 영역에서의 미니 스크루에 대한 연구는 보철과 영역의 임플란트에 대한 많은 연구에 비해 아직 초기 단계이다. 미니 스크루의 안정성에 영향을 미치는 요소로써 스크루의 형태 및 재질, 술자의 시술과정, 식립 깊이, 골의 양과 질이 중요하다.

이전의 많은 연구들에서는 사체에서 적출되어진 하악골(Homolka P, 등 2002, Beer A. 등 2003)이나 실험용 인공골(임 2005, 송 2005, 등)을 사용하여 임플란트나 미니 스크루에 관한 실험이 이루어져 왔다. 이는 실험실상의 조건하에 이루어져 다양한 구강 환경을 가지고 있는 인간에서와 같은 결과와는 차이가 있을 것이라 생각된다. 이번 실험이 생체에서 실험된 결과는 아닐지라도 살아있는 성견을 통해 생체내 다양한 구강의 변화가 좀 더 실질적으로 실험조건에 반영되었다고 생각된다.

많은 선학들의 연구에서 스크루의 역학적인 안정성을 평가하는 방법으로 식립 토오크 및 제거 토오크를 측정하거나 Pull-out strength를 측정하는 방법을 주로 사용하고 있으며 여러 문헌들에서 안정성에 영향을 미치는 요소들로 주로 스크루나 임플란트의 직경과 길이 등을 포함하는 스크루 디자인과 식립 부위의 골밀도에 대해서 언급하고 있다. Brown 등(2000), Homolka 등(2002), 그리고 Hitchon 등(2003)이 식립 토오크와 골밀도 사이에는 유의성 있는 상관관계가 있다고 하였으며, Koistinen 등(2005)은 골밀도가 식립 토오크에 영향을 미쳐서 나이가 많은 사람의 골보다는 젊은 사람의 골에서 통계적으로 유의성 있는 높은 최대 토오크를 보인다고 하였다. Kido 등(1997)과 Brown 등(2000)은 Pull-out strength와 골밀도 사이에 유의한 연관성이 있다고 하였다. 한편 Seebeck 등(2004)의 연구에 의하면 axial pullout과 cantilever bending mode에 대해서 스크루와 골 사이에 전해지는 최대 하중이 피질골의 두께와 수질골의 밀도와 가장 연관이 있다고 하였다.

Ciarelli 등(1991)에 의하면 많은 연구가들에 의해서 수질골의 강도(strength) 및 강성(stiffness)은 골밀도와 방향성에 비례한다고 알려져 있으나 수질골 내에서 이러한 변수들이 일정하지 않기 때문에 물리적 특성의 범위도 넓다고 하였으며, 정상적인 관절 기능으로부터 야기되는 기계적 하중이 골의 방향성과 구조(structure) 및 강도에 영향을 미친다는 “Wolff의 법칙”이 해부학적 위치에 따르는 기능에 따라서 다양한 수질골의 물리적 특성을 설명한다고 하였다.

많은 술자의 경험과 상식에 의존하여 시술하여 오던, 피질골이 두껍다거나 골이 더 단단한 경우 스크루는 좀 더 안정적일 것이라는 가정 하에 미니 스크루의 초기 안정성과 관련된 식립 토오크 및 동요도 그리고 제거 토오크와 골밀도와의 상관관계를 회귀 방정식을 통해 밝혀냄으로써 이전의 경험적 시술과정에 이론적 배경을 제시하는 것이 이 논문의 주된 목적이었다.

가. 식립 토오크, 제거 토오크, 동요도, HU, 골밀도, 그리고 피질골의 두께간의 상관성

식립 토오크는 스크루의 위치와 높은 상관성이 관찰되었으며 이는 상악보다 하악에서 좀더 많은 피질골을 함유하고 있기 때문이라 생각되며 이는 환자를 대상으로 연구한 Norton, Gamble(2001)과 인공골을 대상으로 연구한 송(2005)의 연구결과와 일치한다. 그러나 보철과 영역에서의 임플란트는 상악이건 하악이건 치조골에 식립되기 때문에 피질골의 두께보다는 임플란트의 길이와 두께에 더 영향을 받는다(Norton, Gamble 2001)고 하였다. 그러나 교정과 영역의 미니 스크루의 용도는 보철치료에서의 임플란트와는 달리 식립 위치 및 시술과정이 다르기 때문에 스크루의 동요도는 이번 실험에서 피질골의 두께와 음의 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 특히 동요도와 피질골의 골밀도(BMD)간에서도 음의 상관성을 보여 피질골의 두께뿐 아니라 피질골의 골밀도와의 상관성이 있다는 것을 볼 수 있었다.

많은 생역학적 연구(Okuyama 등, 2000; Beer & Homolka 등, 2003)에서 식립

토오크가 스크류의 초기 안정성(동요도)에 영향을 미친다고 한 것처럼 본 연구에서도 식립 토오크와 동요도간에 음의 상관성이 관찰되었다. 또한 식립 토오크는 Beer 등(2003)의 연구결과에서와 같이 골밀도와 양의 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 한편 Beer 등(2003)은 같은 하악골 내에서 골밀도와 임플란트의 위치, 또는 골밀도와 치조골 높이 간의 상관성은 없는 것으로 나타났으나 이번 연구에서는 스크류의 위치가 상악과 하악으로 구분되어져 골밀도와 스크류의 위치간에는 상관성이 있는 것으로 나타났다. 송(2005) 등의 연구 결과에서와 같이 식립 토오크와 피질골의 두께와도 양의 상관성을 나타내었다.

식립 토오크와 제거 토오크는 이전의 연구에서와 같이 서로간에 역시 양의 상관성을 보이고 있으나 피질골의 골밀도와는 식립 및 제거 토오크 모두 상관성이 없는 결과를 보이고 있다. 이는 임상에서 피질골만의 골밀도는 식립과 제거에 큰 영향을 미치지 않으나 동요도는 피질골의 골밀도(BMD)와 상관성이 있고 피질골의 두께와도 상관성이 있으므로 피질골의 골밀도와 피질골의 두께는 스크류의 안정성에 영향을 미친다고 할 수 있다. 이는 피질골의 두께와 안정성간에 상관관계가 있다고 한 이(2004)의 연구 결과를 좀 더 뒷받침해 주는 결과이다.

결국 미니 스크류의 안정성에 영향을 미치는 요소로 피질골의 골밀도를 비롯하여 식립위치, 피질골의 두께, 그리고 식립 및 제거 토오크, 스크류의 종류 및 술자의 술식과정이 있으며 이는 임상에서 스크류 식립시 술자에게 스크류의 탈락을 방지하기 위한 중요한 정보를 제공하게 된다.

나. 스크류 디자인에 따른 식립토오크, 제거토오크, 동요도, 골밀도, 그리고 피질골의 두께간의 유의성

식립 토오크에서 식립 위치와 상관 없이 테이퍼형이 실린더형보다 65%정도 높게 측정되었으며 통계적인 유의성이 관찰되었다($P < 0.005$). 반면 제거 토오크는 테이퍼형과 실린더형은 통계적인 유의한 차가 관찰되지 않았다($P > 0.05$). 이는 이전의 송(2005)등의 연구에서 언급되어진 것처럼 상악, 하악 각 악궁의 식립부위의

피질골 두께 차이가 거의 없는 상태에서 순수한 실린더형의 스크루는 일정한 접촉면을 가지면서 식립되어지지만, 테이퍼형의 스크루는 식립되어지면서 외경이 커짐에 따라 점점 접촉면이 증가한다. 결국 식립 토오크는 모두 테이퍼형이 높게 측정되었으며 피질골 함량이 더 많은 하악에서 그 차이가 65%정도 높게 측정되었다. 그러나 골밀도 및 피질골 두께는 두 군간에 거의 차이가 없지만 식립 토오크에서는 차이가 난다는 점을 주의 깊게 살펴보아야 한다. 이는 골밀도가 취약한 부분이나 피질골이 적은 부위에 스크루를 식립한다면 스크루의 디자인에 따라 그 안정성이 달라진다는 것을 의미한다.

식립 토오크 및 제거 토오크는 서로 상관성이 있고 식립 토오크 역시 스크루 종류에 따라 유의성 있는 차이가 발견되었지만 제거 토오크와 스크루 종류와는 유의성 있는 차이가 발견되지 않았다. 이는 테이퍼형에서 제거시 식립시와는 반대로 외경의 급격한 감소로 인해 접촉 면적이 급감함에 따라 제거 토오크는 식립 토오크에 비해 실린더형보다 많은 양의 토오크 감소가 일어났다. 또한 스크루 종류와 상관없이 식립시와는 달리 제거 토오크의 수치가 작게 나타났는데, 이는 최근의 미니 스크루에 관한 Deguchi(2003)와 송(2005)의 연구에서처럼 회전력에 의해서 나사부 끝까지 삽입이 완성되어 토오크 값이 최고조로 올랐어도 회전력을 제거하면 식립 후 3-6주 사이에 임플란트 계면에서 치유가 일어나기 때문에 식립된 물체와의 사이에서 힘의 평형 관계를 이루면서 스크루와 골과의 strain이 상쇄된다고 생각되어진다.

다. 스크루의 형태와 식립 부위에 따른 식립 토오크와 골밀도, HU간의 회귀방정식

상악에서 실린더형의 미니 스크루에서 식립 토오크와 HU, 골밀도간의 회귀 방정식에서 모두 상관성이 없었으며 테이퍼형의 미니 스크루는 회귀 방정식에서 R^2 가 0.26과 0.31을 나타내었다. 그러나 하악에서는 실린더형의 미니 스크루는 R^2 가

0.24와 0.34, 테이퍼형의 미니스크루에서는 0.28과 0.46으로 상악에 비해 크게 나타났다.

상악과 하악에 대해 골밀도와 식립 토오크가 다르게 나타났다는 점은 하악골과 상악골의 피질골의 구조적인 차이점에 기인한다고 본다. 상악에서는 하악에 비해 많은 tabecular bone으로 구성되어있으며 피질골이 얇아 큰 증가율을 보이지 않았다. 이를 다시 스크루의 형태로 구분하였을 때 테이퍼형에서 더욱 강한 상관성을 보여주었으며 하악에서 2배 더 높은 식립 토오크가 증가함이 관찰되었다. 이는 스크루의 형태를 통해 초기 식립 토오크를 증가시킬 수 있다는 점이다.

HU 값에 대한 식립 토오크와의 선형회귀 방정식의 예측도는 골밀도에 대한 회귀 방정식의 예측도보다 낮았다. 특히 하악에서 테이퍼형에서 골밀도에 의한 경우 0.46에 반해 HU는 0.28로 낮게 측정되었다. 이는 HU를 골밀도로 보정하는 것이 골밀도 분석에 객관적이고 신뢰할 수 있는 정보를 제공한다는 것을 의미할 수 있다.

마지막으로 골밀도와 식립 토오크에 대한 단순 회귀방정식의 결정계수는 0.33이었으며 스크루의 형태, 피질골의 두께를 포함한 다중회귀 방정식의 경우 결정계수는 0.59로 증가하였다. 골밀도를 응용하여 미니 스크루의 초기 안정성에 대한 예측도를 향상시킬 수 있었다. 스크루의 형태, 피질골의 두께도 초기 안정성에 영향을 미칠 수 있는 요인이라 생각되며 상악에서 피질골과 수질골의 구분이 매우 어려웠으나 이전에 Huja(2005)가 계측한 상악골과 하악골의 피질골과 유사하다는 점에서 신뢰성을 더한다.

이번 연구에서 식립 토오크와 골밀도간에 상관계수는 기존의 논문에 비해 낮게 계측되었는데 이는 이전 논문에서 측정된 골이 사체에서 채취한 무치악 형태로서 낮은 골밀도를 보여주었다는 점에서 비교적 균일한 실험 결과를 얻을 수 있었다고 본다. 그러나 실험에서 피질골의 두께에 대한 정보가 없었으며 사용된 스크루는 한 종류만 사용되었다는 점은 이번 실험과 다른 조건임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 응성 성견 6마리의 상악골 및 하악골에 실린더형과 테이퍼형의 미니 스크루 96개를 식립하고 표준 골밀도 보정기를 사용하여 단층 촬영후 HU를 골밀도(BMD)로 보정하여 식립 토오크 및 제거 토오크, 피질골의 두께 및 골밀도, 동요도, 스크루의 종류와 식립 부위에 따른 상관성과 유의성을 검사하여 골밀도와 스크루의 안정성에 대한 보다 객관적인 평가를 하고자 하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 식립 토오크에 대해 스크루 위치(0.84), 제거 토오크(0.66), 골밀도(0.58)와 피질골의 두께(0.48)의 순으로 양의 상관관계를 보여주었으며 동요도(-0.57)는 음의 상관관계를 보여주었다($P < 0.01$).

2. 테이퍼형의 미니 스크루가 실린더형보다 높은 식립 토오크를 나타내었으나 ($P < 0.01$), 제거 토오크 및 동요도에는 유의한 차이가 관찰되지 않았다($P > 0.05$).

3. 하악이 상악에 비해 높은 골밀도를 보여주었으며 식립 토오크는 테이퍼형에서는 21.7 N·cm, 실린더형은 14.2 N·cm로 상악의 6.5 N·cm, 4.2 N·cm에 비해 높게 측정되었다($P < 0.01$).

4. HU에 비해 골밀도(BMD)를 기준으로 식립 토오크에 대한 회귀방정식을 구함으로써 하악에서 테이퍼형의 스크루의 경우 결정계수(R^2)가 HU 기준시 0.26에서 BMD 기준시 0.47로 증가하여 골밀도(BMD)로 전환하는 것이 좀 더 객관적인 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

이상의 결과에서 골밀도를 응용하여 미니 스크루의 초기 안정성에 대한 예측도를 HU 적용 시보다 향상시킬 수 있었다.

참고 문헌

- 강승택: Grade 2, 4 티타늄 마이크로 임플란트의 식립 및 제거 시의 토크 비교와 식립 후 조직학적 관찰. 석사학위논문, 경북대학교 대학원 치의학과, 2003.
- 경승현, 임중기, 박영철: Miniscrew를 고정원으로 이용한 교정치료. *대치교정지* 31(4): 415-424, 2001.
- 김영준, 최재훈: 구강내 고정원으로 이용한 Titanium miniscrew의 유지에 관한 조사. *대치협회지* 39(8): 684-687, 2001.
- 김지혁, 주재용, 박영욱, 차봉근, 김성민: Skeletal anchorage system의 식립을 위한 한국인 악골의 피질골 두께에 대한 연구. *대구외지* 28: 249-255, 2002.
- 박효상: Titanium microscrew implant를 이용한 skeletal cortical anchorage. *대치교정지* 29(6): 699-706, 1999.
- 백철우: 교정용 미니스크루의 디자인에 대한 삼차원 유한요소분석. *박사학위 논문*, 연세대학교 대학원 치의학과, 2003.
- 송영운, 황충주: 인공피질골 두께에 따른 다양한 교정용 mini-screw의 역학적 특성. *박사학위논문*, 연세대학교 대학원 치의학과, 2005.
- 이종석: 교정용 미니 임플란트의 초기 안정성에 대한 접촉 비선형 유한요소분석. *박사학위 논문*, 연세대학교 대학원 치의학과, 2004.
- 임신아, 황충주: 교정용 미니스크루의 형상에 따른 식립토크의 비교. *박사학위 논문*, 연세대학교 대학원 치의학과, 2005.
- Baker D, London RM, O'Neal R: Rate of pull-out strength gain of dual-etched titanium implants : A comparative study in rabbits. *Int J Oral Maxillofac Implants* 14(5): 722-728, 1999.
- Baker D, London RM, O'Neal R: Rate of pull-out strength gain of dual-etched titanium implants: a comparative study in rabbits. *Int J Oral Maxillofac Implants* 14 : 722-28, 1999.

- Beer A, Gahleitner A, Holm A, Tschabitscher M, Homolka P: Correlation of insertion torques with bone mineral density from dental quantitative CT in the mandible. *Clin Oral Imp Res*. 14 : 616-620, 2003.
- Berzins A, Shah B, Weinans H, Sumner DR: Nondestructive measurements of implant-bone interface shear modulus and effects of implant geometry in pull-out tests. *J Biomed Mater Res* 34 : 337-40, 1997.
- Boyle LJM III, Frost DE, Foley MWL, Grady JJ: Torque and pullout analysis of six currently available self-tapping and "emergency" screws. *J Oral Maxillofac Surg* 51 : 45-50, 1993.
- 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.
- Cann CE: Quantitative CT for determination of bone mineral density : A review 1. *Radiology* 166: 509-522, 1988.
- 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, Incorvati C, Poggio: Clinical applications of the MiniScrew-Anchorage-System (M.A.S.) in the maxillary alveolar bone. *Prog Orthod* 5(2): 212-235, 2004.
- Carter DR, Giori N: Effect of mechanical stress on tissue differentiation in the bony implant bed. In: Davies JE, editor. The bone-biomaterial interface. Toronto: University of Toronto Press : 367-79, 1991.
- Chang MC, Ko CC, Liu CC, Douglas WH, DeLong R, Seong WJ, Hodges J, An KN: Elasticity of alveolar bone near dental implant-bone interfaces after one month's healing. *J Biomech* 36: 1209-1214, 2003.
- Christensen FB, Dalstra M, Sejling F, Overgaard S, Bunger C.: Titanium-alloy enhances bone-pedicle screw fixation: mechanical and

- histomorphometrical results of titanium-alloy versus stainless steel. *Eur Spine J* 9 : 97-103, 2000.
- Ciarelli MJ, Goldstein SA, Kuhn JL, Cody DD, Brown MB: Evaluation of orthogonal mechanical properties and density of human trabecular bone from the major metaphyseal regions with materials testing and computed tomography. *J Orthop Res* 9(5): 674-682, 1991.
- Costa A, Raffaini M, Melsen B: Miniscrews as orthodontic anchorage : A preliminary report. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 13(3): 201-209, 1998.
- Costa A, Raffaini M, Melsen B: Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthod. Orthognath Surg* 13: 201-9, 1998.
- Cunningham JL: The biomechanics of fracture fixation. *Curr Orthop* 15: 457-64, 2001.
- Deguchi T, Yamamoto T, Kanomi R, JK. Hartsfield, Jr. Roberts WE, Garetto LP: The use of small titanium screws for orthodontic anchorage. *J Dent Res* 82(5): 377-381, 2003.
- Frost HM: A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *Angle Orthod* 74(1): 3-15, 2004.
- Genant HK, Ettinger B, Cann CE, Reiser U, Gordan GS & Kolb FO: Osteoporosis: Assessment by quantitative computed tomography. *Orthop. Clinics of North America* 16: 557-568, 1985.
- Goodman S, Wang J-S, Aspenberg P: Difference in bone ingrowth after one versus two daily episodes of micromotion: experiments with titanium chamber in rabbits. *J Biomed Mater Res* 27 : 1419-24, 1993.
- Hadjipavlou AG, Nicodemus CL, Al-Hamdan FA, Simmons JW, Pope MH: Correlation of bone equivalent mineral density to pull-out resistance of triangulated pedicle screw construct. *J Spinal Disord* 10 : 12-9, 1997.
- Halvorson TL, Kelley LA, Thomas KA, Whitecloud TS III, Cook SD: Effects

- of bone mineral density on pedicle screw fixation. *Spine* 19 : 2415-20, 1994.
- 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.
- Huja SS, Litsky AS, Beck FM, Johnson KA, Larsen P: Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 127(3): 307-313, 2005.
- Iwashita, Y: Basic study of the measurement of bone mineral content of cortical and cancellous bone of the mandible by computed tomography. *Dentomaxillofac Radiology* 29: 209-215, 2000.
- Freudenthaler JW, Haas R, Bantleon H-P: Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications. *Clin Oral Implants Res* 12 : 358-63, 2001.
- Kellman RM, Huckins SC, King J, Humphrey D, Marentette L, Osborn DC: Bioresorbable screws for facial bone reconstruction: a pilot study in rabbits. *Laryngoscope* 104 : 556-61, 1994.
- Kido H, Schulz EE, Kumar A, Lozada J, Saha S: Implant diameter and bone density : Effect on initial stability and pull-out resistance. *J Oral Implant* 23(4): 163-169, 1997.
- Koistinen A, Santavirta S, Lappalainen R: Apparatus to test insertion and removal torque of bone screws. *Proc Inst Mech Eng [H]* 217(6): 503-508,

- 2003.
- Koistinen A, Santavirta SS, Kroger H, Lappalainen R: Effect of bone mineral density and amorphous diamond coatings on insertion torque of bone screw. *Biomaterials* 26(28): 5687-5694, 2005.
- Kwok AWL, Finkelstein JA, Woodside T, Hearn TC, Hu RW: Insertional torque and pull-out strengths of conical and cylindrical pedicle screws in cadaveric bone. *Spine* 21 : 2429-34, 1996.
- Lawes TJ, Scott JC, Goodship AE: Increased insertion torque delays pin-bone interface loosening in external fixation with tapered bone screw. *J Orthop Trauma* 18(9): 617-622, 2004.
- Lu WW, Zhu Q, Holmes AD, Luk KDK, Zhong S, Leong JCY: Loosening of sacral fixation under in vitro fatigue loading. *J Orthop Res* 18: 808-814, 2000.
- Melsen B, Petersen JK, Costa A: Zygoma ligatures : An alternative form of maxillary anchorage. *J Clin Orthod* 32: 154-158, 1998.
- Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugawara T, Takano-Yamamoto T: Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124: 378-8, 2003.
- Nordin M, Frankel VH: Basic biomechanics of the musculoskeletal system. *Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia* 390-9, 2001.
- Norton MR, Gamble C: Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Impl Res* 12: 79-84, 2001.
- Oktenoglu BT, Ferrara LA, Andalkar N, Ozer AF, Sarioglu AC, Benzle EC: Effects of hole preparation on screw pullout resistance and insertional torque: a biomechanical study. *J Neurosurg: Spine* 94: 91-96, 2001.
- Okuyama K, Abe E, Suzuki T, Tamura Y, Chiba M, Sato K: Can insertional

- torque predict screw loosening and related failures? An in vivo study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion. *Spine* 25(7): 858-864, 2000.
- Rho JY, Tsui TY, Pharr GM: Elastic properties of human cortical and trabecular lamellar bone measured by nanoindentation. *Biomaterials* 18(20): 1325-1330, 1997.
- Ryken TC, Clausen JD, Traynelis VC, Goel VK: Biomechanical analysis of bone mineral density, insertion technique, screw torque and holding strength of anterior cervical plate screw. *J Neurosurg* 83: 325-329, 1995.
- Seebeck J, Goldhahn J, Städele H, Messmer P, Morlock MM, Schneider E: Effect of cortical thickness and cancellous bone density on the holding strength of internal fixator screws. *J Orthop Res* 22: 1237-1242, 2004.
- Yerby S, Scott CC, Evans NJ, Messing KL, Carter DR: Effect of cutting flute design on cortical bone screw insertion torque and pullout strength. *J Orthop Trauma* 15(3): 216-221, 2001.

Abstract

Stability of mini screw and bone mineral density using the computerized tomography scan

Jae-Kyoung Kil

*Department of Dentistry, The Graduate School, Yonsei University
(Directed by Professor Chung-Ju Hwang, D.D.S., M.S.D., PhD.)*

Recently, orthodontic mini screws are actively applied on orthodontic treatment, and many studies which can affect the stability of screw are in progress. In this research, the computerized tomography(CT) was taken according to characteristic of screw type, screw position, bone mineral density(BMD) and cortical bone thickness from living beagle dogs.

Hounsfield Unit(HU) values vary from the amount of radiation and radiographic method even on the same CT. Using Calibration Standard, bone mineral density analysis seemed more efficient in evaluating accurate bone quality. Ninety six mini screws of both cylindrical and taper types were inserted to six beagle dogs and after CT radiation, HU value was calibrated to bone mineral density by using Calibration Standard. Correlation and significance were evaluated regarding type of screw, insertion position, bone mineral density, insertion torque, removal torque, mobility, cortical bone thickness and cortical bone density. And more objective evaluation was pursued on the stability of screw and bone mineral density.

The obtained results were as follows:

1. Insertion torque showed positive correlation in the order of screw position(0.84), removal torque(0.66), BMD(0.575) and cortical bone thickness(0.48). Mobility showed negative correlation(-0.57)($P < 0.01$).

2. Taper type mini screw showed higher insertion torque than cylindrical type($P < 0.01$), however, no significant differences were detected on the removal torque and mobility($P > 0.05$).

3. Higher bone mineral density and insertion torque was measured in mandible compared to maxilla($P < .01$).

4. Regression equation was found on insertion torque on the basis of BMD rather than HU and squared multiple correlation(R^2) of multiple regression increased from 0.26 measured by HU to 0.47 measured by BMD. The result became more objective converting to BMD.

In conclusion, prediction of early stability mini screw could be highly improved when applied by bone mineral density rather than HU. There are same things to be considered, for screw type, cortical bone thickness and other matters have a compound influences on early stability of mini screw.

Key words : mini screw, CT, Calibration Standard, cortical bone thickness, bone mineral density, HU(Houndsfield Unit), insertion torque, removal torque