

인공 피질골 두께에 따른 다양한
교정용 mini-screw의 역학적 특성

연세대학교 대학원

치 의 학 과

송 영 윤

인공 피질골 두께에 따른 다양한
교정용 mini-screw의 역학적 특성

지도 황 충 주 교수

이 논문을 박사 학위논문으로 제출함

2005년 12월 일

연세대학교 대학원

치의학과

송 영 윤

송영윤의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2005년 12월 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 주셨던 유영규 교수님, 손병화 교수님, 김경호 교수님, 최광철 교수님, 유형석 교수님, 이기준 교수님과 교정학에 입문하게끔 이끌어주셨던 박인권 선생님께도 감사드립니다.

아울러 바쁜 와중에서도 많은 도움을 주신 차정열 선생님과 교정학 교실 의국원 여러분, 연구 실험을 위해 애써주신 이덕창 소장님, 이남기 대리, 김민준 군에게 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 항상 저를 믿고 후원해 주시며 사랑으로 보살피 주신 아버님과 어머니, 큰 오빠 가족과 작은 오빠, 그리고 살아가는 것의 의미를 일깨워주시기 위해서 하느님께서 예비하여 두셨던 남은 인생을 함께할 미래의 배우자 고희 오빠에게 무한한 사랑과 감사의 말과 함께 이 작은 결실을 바칩니다.

2005년 12월

저자 씀

차 례

차례	v
그림 차례	vi
표 차례	vii
국문 요약	viii
I. 서론	1
II. 연구 재료 및 방법	5
가. 연구 재료	5
나. 연구 방법	8
다. 측정치 및 통계 처리	11
III. 연구 결과	13
가. 피질골 삼입 시간	13
나. 최대 삼입 토크	14
다. 최대 제거 토크	19
라. 토크 소실	21
마. 제거 시간	22
바. Pull-Out Strength	23
사. 각 변수들 사이의 상관성	24
IV. 총괄 및 고찰	26
V. 결론	35
참고 문헌	37
영문 요약	45

그림 차례

Fig. 1. Schematic diagram of the mini-screws used in this study	7
Fig. 2. Photo image and schematic diagram of torque tester	9
Fig. 3. Schematic diagram of Pull-Out Strength Test	10
Fig. 4. Time - Insertion Torque graph and the definitions of measurement values regarding Insertion Torque Test	12
Fig. 5. Time - Removal Torque graph and the definitions of measurement values regarding Removal Torque Test	12
Fig. 6. Cortical Bone Insertion Time (sec) according to cortical bone thickness	13
Fig. 7. Maximum Insertion Torque (N cm) according to cortical bone thickness	15
Fig. 8. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by cortical bone thickness in Type A	16
Fig. 9. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by cortical bone thickness in Type B	16
Fig. 10. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by cortical bone thickness in Type C	17
Fig. 11. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by types in only cancellous bone	17
Fig. 12. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by types in 1 mm cortical bone thickness	18
Fig. 13. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by types in 1.5 mm cortical bone thickness	18
Fig. 14. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by types in 2 mm cortical bone thickness	19
Fig. 15. Maximum Insertion Torque and Maximum Removal Torque according to cortical bone thickness	20
Fig. 16. Torque Loss (N cm) according to cortical bone thickness	21

Fig. 17. Removal Time (sec) according to cortical bone thickness 22
 Fig. 18. Pull-Out Strength (MPa) according to cortical bone thickness 23

표 차례

Table 1. The principal properties and dimensions of the mini-screws used
 in this study 6
 Table 2. Mechanical properties of experimental bone used in this study 7
 Table 3. Numbers of experimental tests 10
 Table 4. Cortical Bone Insertion Time (sec) according to cortical bone
 thickness 14
 Table 5. Maximum Insertion Torque (N cm) according to cortical bone
 thickness 15
 Table 6. Maximum Removal Torque (N cm) according to cortical bone
 thickness 20
 Table 7. Torque Loss (N cm) according to cortical bone thickness 21
 Table 8. Removal Time (sec) according to cortical bone thickness 22
 Table 9. Pull-Out Strength (MPa) according to cortical bone thickness 23
 Table 10. Pearson Correlation Coefficients of Type A 24
 Table 11. Pearson Correlation Coefficients of Type B 25
 Table 12. Pearson Correlation Coefficients of Type C 25

국문 요약

인공 피질골 두께에 따른 다양한 고정용 mini-screw의 역학적 특성

고정 치료 결과의 질을 좌우하는 중요한 요소의 하나인 고정원을 확보하기 위해서 최근에 고정용 mini-screw를 많이 사용하고 있다. 그러나 고정용 mini-screw의 역학적 특성이나 유지력에 영향을 미치는 요소에 대한 연구는 희박한 실정이다.

본 연구는 피질골의 두께를 다르게 설정한 인공골 시편에 피질골과의 접촉 부위에 서로 다른 구조물을 가진 세 종류의 drill-free 형태의 고정용 mini-screw (Type A; 순수한 cylindrical 형태, Type B; 내경이 증가하는 구간이 있는 부분적인 cylindrical 형태, Type C; cylindrical 형태와 taper 형태가 함께 있는 복합형)를 일정한 회전 속도와 수직력을 부여할 수 있는 구동식 토오크 시험기 (Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea)를 이용한 삽입 및 제거 시의 연속적인 토오크 측정과 만능 시험기(Instron 3366, Instron Corp., Massachusetts, U. S. A.)를 이용한 Pull-Out Strength의 측정을 통해서 mini-screw의 역학적 특성을 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 피질골 두께에 따라서 최대 삽입 토오크(maximum insertion torque)나 최대 제거 토오크(maximum removal torque)의 값이 Type A는 거의 차이가 없는 반면, Type B와 Type C는 피질골 두께가 증가할수록 그 값이 커졌으며, 모든 피질골 두께에서 Type C > Type B > Type A의 순으로 최대 삽입 토오크 값이 크게 나타났다.

2. 모든 개체에서 토오크 소실(torque loss)이 있었으며, 모든 피질골 두께에서 Type A가 Type B나 Type C에 비해서 토오크 소실이 적고 제거 시간(removal time)이 길었고, 모든 피질골 두께에서 Type C의 제거 시간이 가장 짧았으며, Pull-Out Strength가 가장 작았다.

3. 각 Type 내에서 피질골 두께와 최대 삽입 토오크, 최대 제거 토오크, Pull-Out Strength는 통계적으로 유의한 상관관계가 있었으며, 최대 삽입 토오크와 최대 제거 토오크 또는 Pull-Out Strength 사이에도 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다.

본 연구를 통하여 taper 형태, 특히 외경 증가형 taper 형태가 토오크 값을 가장 많이 상승시키는 디자인이며, 피질골이 얇은 부위에는 taper 형태를, 피질골이 두꺼운 부위에는 cylindrical 형태의 mini-screw를 선택하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 또한 구동식 토오크 시험기와 인공골을 이용한 연구는 교정용 mini-screw의 역학 연구에 좋은 방법이 될 수 있다.

핵심되는 말 : 교정용 mini-screw, 구동식 토오크 시험기, 피질골, 최대 삽입 토오크, 최대 제거 토오크, Pull-Out Strength

인공 피질골 두께에 따른 다양한 고정용 mini-screw의 역학적 특성

(지도 : 황 충 주 교수)

연세대학교 대학원 치의학과

송 영 윤

I. 서 론

교정 치료를 통하여 심미적인 안모와 기능적인 교합을 얻기 위해서는 고정원의 확보가 중요하다. 특히 발치를 통한 교정 치료에서 적절한 고정원 확보에 실패하면 원하는 치료 결과를 얻을 수 없다. 과거의 교정 치료에서는 전치부를 후방 견인할 때 발생하는 구치부의 고정원 소실을 방지하기 위해서 Nance holding arch, 횡구개 호선, 설측 호선과 같은 여러 가지 구내 장치 및 head gear와 같은 구외 장치를 장착하였다. 그러나 구내 장치만으로는 확실한 고정원의 확보가 어려웠고 구외 장치는 환자의 협조도에 따라 치료 결과가 좌우되었다.

따라서 근래에 새로운 고정원을 찾기 위한 노력들이 진행되었으며, 환자의 협조가 요구되지 않고 확실한 고정원을 얻기 위해서 osseointegrated implant(Byloff 등, 2000), onplant(Block과 Hoffman, 1995), zygomatic arch wiring(Melsen 등, 1998), miniplate(Creekmore와 Eklund, 1983; Umemori 등, 1999; Daimaruya 등, 2003; Sugawara 등, 2004), 고정용 mini-screw와 같은 골격성 고정원에 대한 많은 연구들이 있었다.

그러한 여러 골격성 고정원 중에서 구강 내 적용 범위가 넓고, 삽입과 제거가

용이한 mini-screw의 개발로 복잡한 교정 치료 장치를 비교적 단순화시킬 수 있게 되었으며 교정력의 적용에 대한 부작용을 최소화하면서 다양한 방향으로의 치아 이동이 가능하게 되어 과거에 교정 치료만으로는 불가능했었던 증례들이 교정 치료만으로 해결되는 경우가 많아졌다.

이후 교정 치료에서 mini-screw를 고정원으로서 안정적으로 사용할 수 있는지에 대한 많은 연구들(Kyung 등, 2002; Deguchi 등, 2003; Carano 등, 2004)과 성공적인 임상 증례들(Kanomi, 1997; Park 등, 2001; Kyung 등, 2003; Lee 등, 2004; Roth 등, 2004; Carano 등, 2005; Kyung 등, 2005; Park 등, 2005)이 있었다. Ohmae 등(2001)은 beagle dog에서 titanium mini-implant를 고정원으로 사용하여 임상적 및 조직학적으로 성공적인 압하(intrusion)를 이루었다고 보고하였다.

mini-screw의 성공률에 대해서 Costa 등(1998)은 16 증례 중 2 증례가 탈락하였다고 하였고, Deguchi 등(2003)은 97%의 성공률을, 박(2003)은 93.3%로 비교적 높은 성공률을 보고하고 있지만 모든 증례에서 성공하는 것은 아니었으며 mini-screw 삽입 시 골과 mini-screw의 계면 내로의 연조직의 함입, 삽입 시 과다한 골조직의 손실, 골조직의 치밀성 부족, 감염으로 인한 염증 등이 mini-screw 탈락의 원인이라 생각되어지고 있다(경 등, 2001; 임 등, 2003).

mini-screw의 유지 및 탈락에 대해서, 김과 최(2001), 김과 장(2002), Kim 등(2005)은 drill-free 방법이 drill 방법보다 탈락율과 동요도 및 골 접촉율과, 골밀도에서 더 우수한 결과를 보여 drilling 과정이 안정성과 골조직 치유 및 골유착에 영향을 미친다고 하였다. 우 등(2003)은 drilling 유무, 성별, 상악과 하악, head의 모양은 유의성이 없었지만, 20세 미만이 20세 이상보다 9.7 % 더 잘 탈락되었다고 보고하였다. 이처럼 근래 교정 치료의 많은 증례에서 mini-screw의 사용이 보편화되고 있음에도 mini-screw의 안정성에 대한 연구로 환자 요소, drilling 유무 등에 대한 연구가 대부분이었다.

mini-screw의 실패에 대한 보다 근본적인 원인은 mini-screw와 골조직 사이의 계면에서 비롯된 문제로 인한 탈락이 원인(김과 최, 2001)이라고 생각되어지며, 이는 식립 부위 골의 질과 양, 그리고 외경, 내경, 나사부 길이, pitch 등을 포함하는 스크류의 디자인과 스크류의 재질에 따르는 스크류의 물리적 특성(Brown 등,

2000)과 연관이 있다고 하겠다.

임 등(2003)과 이(2004)는 유한요소분석을 통하여 mini-screw 식립 후 수평력을 가했을 때 대부분의 응력이 수질골보다는 피질골에 흡수되었다고 하였으므로 식립 부위의 피질골과 수질골의 골밀도를 통제한다면 식립 부위 골에 대한 유일한 변수는 피질골의 두께가 될 것이다. 임 등(2003)은 교정용 mini-screw 식립 시 스크류의 길이, 직경 및 피질골 두께에 따른 응력 분포 양상에 대한 연구에서 mini-screw의 직경이 증가할수록 mini-screw 내부와 피질골에서의 최대 응력이 감소하였으며, 같은 mini-screw 직경에서는 mini-screw의 길이 증가나 피질골 두께 증가에 상관없이 mini-screw 내부와 피질골에서의 최대 응력이 일정하게 유지되어서 교정용 mini-screw의 유지에 길이보다는 직경이 더 크게 관여한다고 하였고, 이(2004)의 연구에서도 피질골 내부에서의 응력 분포 양상이 임 등(2003)의 연구와 약간의 차이는 있지만 mini-screw의 길이는 최대 응력과 응력 분포에 영향을 미치지 않으며 mini-screw의 직경이 커질수록 응력과 변위가 감소하고 피질골에 가해지는 응력을 잘 분산시킨다고 하였으며, 피질골의 두께는 최대 응력에는 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 그러나 두 연구에서 모델로 삼은 mini-screw는 피질골과의 접촉 부위에서 특이한 구조물이 없는 것이었으므로 피질골의 두께에 대한 영향은 mini-screw 디자인에 따라서 다를 수 있을 것이라 생각되어진다. 백(2003)은 다양한 mini-screw 디자인 중에서 직경의 변화에 따른 응력 변화가 가장 컸다고 하였다.

mini-screw를 비롯한 스크류 형태의 임플란트의 안정성에 대해서 역학적인 평가를 할 때 주로 사용하는 방법으로 삽입 및 제거 시의 토오크(torque)를 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 안정성에 영향을 미치는 요소들로 스크류의 디자인 외에 주로 삽입 부위의 골밀도에 대해서 언급하고 있다. 따라서 이러한 골밀도 요인을 통제하기 위해서 Berkowitz 등(2005)은 균일한 밀도 값을 가지는 인공골을 이용하여 연구한 바 있

다. 또한 이전의 연구들에서 토오크를 측정할 때 주로 사용한 방법들은 manometer나 torque screw driver 등을 이용한 수작업이었기 때문에 회전 속도나 수직력을 일정하게 유지하기가 어렵고 연속적으로 토오크를 측정하는 것은 불가능했을 것이다. Kostinen 등(2003)은 이런 점에 착안하여 일정한 회전 속도를 가지고 토오크의 연속적인 측정과 기록이 가능한 구동식 토오크 시험기(driving torque tester)를 개발하였으며 구동식 토오크 시험기를 이용한 실험의 재현성이 우수함을 보고한 바 있다.

최근 교정 치료에서 고정원 확보를 위해 교정용 mini-screw 사용이 보편화되어 있으나 mini-screw의 역학적 특성이나 유지력에 영향을 미치는 요소에 대한 연구는 희박하였다. 따라서 mini-screw의 역학적 연구를 위해서 일정한 회전 속도와 수직력을 부여할 수 있으며 실험의 재현성이 우수한 구동식 토오크 시험기(Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea)를 본 연구 목적에 맞도록 보완 제작하였다.

이에 본 연구의 목적은 피질골의 두께를 다르게 설정한 인공골 시편에 피질골과의 접촉 부위에 서로 다른 구조물을 가진 세 종류의 drill-free 형태의 교정용 mini-screw를 구동식 토오크 시험기를 이용한 삽입 및 제거 시의 연속적인 토오크 측정과 만능 시험기(Instron 3366, Instron Corp., Massachusetts, U. S. A.)를 이용한 Pull-Out Strength의 측정을 통해서 mini-screw의 역학적 특성을 연구하고자 하는 것이었다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 연구 재료

1. 교정용 mini-screw

현재 국내에 시판되고 있는 drill-free 형태의 교정용 mini-screw 중에서 외경, 나사부 길이 등이 유사하고 각각 특징적인 구조를 가지고 있는 세 회사의 모델을 선정하였다. mini-screw 디자인에 따라서 순수한 cylindrical 형태(OAS-T1507, Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea)를 Type A, 내경이 서서히 증가하는 구간이 있는 부분적 cylindrical 형태(16-JB-008, Jeil Medical Corp., Seoul, Korea)를 Type B, 그리고 cylindrical 형태와 taper 형태가 함께 있는 복합형 형태(Orlus 1E16107, Ortholution, Seoul, Korea)를 Type C로 정하였다(Table 1, Fig. 1). 각 mini-screw의 주요 수치는 공구현미경(MF-A1010H, Mitutoyo Corp., Japan)을 이용하여 연구자가 실측하였다.

2. 실험용 인공골 (experimental bone)

본 연구에서는 인간 cadaver bone을 대체하는 실험용 인공골인 biomechanical test block(Sawbones[®], A Division of Pacific Research Laboratories Inc., U. S. A.)을 사용하였다.

사람 피질골에 대한 대체 실험 재료는 1.7 g/cc의 밀도 및 120 MPa의 압축 강도와 90 MPa의 인장 강도를 가지는 E-glass-filled epoxy sheet로 short E-glass fibers와 epoxy resin의 혼합물이며, 사람 수질골에 대한 대체 실험 재료는 0.64 g/cc의 밀도 및 37 MPa의 압축 강도와 16 MPa의 인장 강도를 가지는 등급 5의 solid rigid polyurethane foam이었다(Table 2).

Table 1. The principal properties and dimensions of the mini-screws used in this study

	Type A	Type B	Type C
	<i>pure cylindrical</i>	<i>partial cylindrical</i>	<i>combined</i>
Screw Design	only parallel part	parallel part + gradually increasing core diameter part	parallel part + taper part
Corporation & Model No.	Biomaterials Korea Inc. <OAS-T1507>	Jeil Medical Corp. <16-JB-008>	Ortholution <Orlus 1E16107>
Screw Length (mm)	9.0	10.5	9.5
Body Length (mm)	7.0	8.0	7.0
Thread Length (mm)	6.0	7.0	6.0
Thread Diameter (mm)	1.45 (1.5)	1.6 (1.6)	1.6 (2.0)
Core Diameter (mm)	1.0	1.0	1.0
Taper Length (mm)	-	1.5	2.5
Pitch (mm)	0.7	0.7	0.6
Surface Finish	Machined	Machined	Acid etching and Sand blasting
Chemical Composition	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-4V

* The dimensions in the parentheses of Thread Diameter mean the dimensions of the screw shaft, and the dimensions of Core Diameter are the dimensions in the parallel part of the screw.

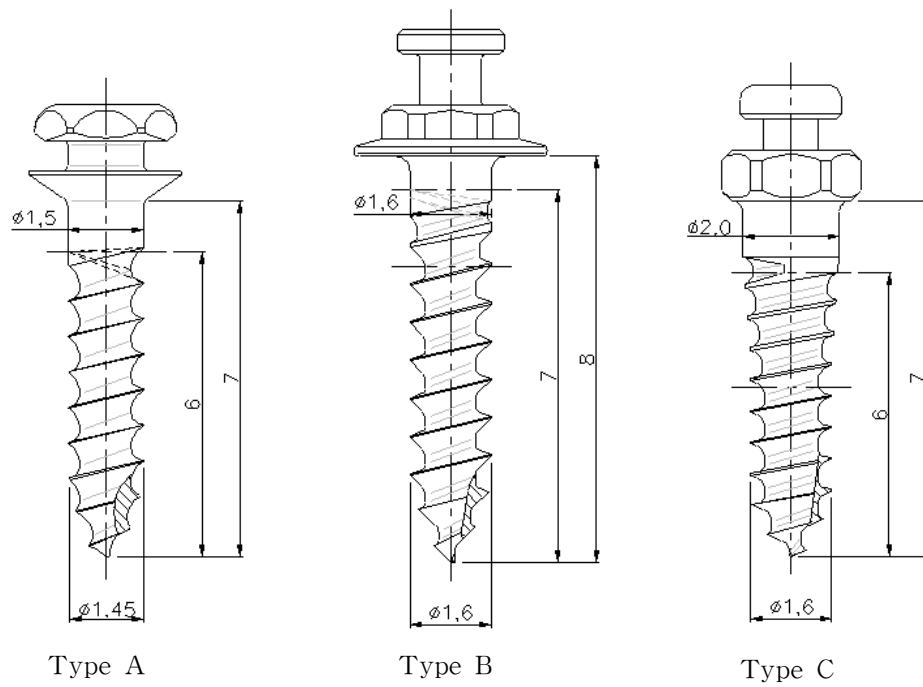


Fig. 1. Schematic diagram of the mini-screws used in this study.

Table 2. Mechanical properties of experimental bone used in this study

Alternative Test Medium	Density (g/cc)	Compressive		Tensile	
		Strength (MPa)	Modulus (MPa)	Strength (MPa)	Modulus (MPa)
Cortical bone	1.7	120	7,600	90	12,400
Cancellous bone	0.64	37	943	16	1,190

나. 연구 방법

1. 인공골 시편(artificial bone block)의 제작

E-glass-filled epoxy sheet를 1 mm, 1.5 mm, 2 mm로 가공하여 solid rigid polyurethane foam에 acrylate bond를 이용하여 부착하여 실험용 피질골 두께에 따라서 0 mm (대조군으로 polyurethane foam만으로 된 시편), 1 mm, 1.5 mm, 2 mm 네 종류의 인공골 시편을 각각 길이 110 mm, 너비 10 mm, 높이 10 mm의 크기로 세 개씩 총 열두 개의 시편을 제작하였다.

2. 구동 토크 시험 (Driving Torque Test)

ASTM F543-02 규정을 준용하여 분당 3회전의 일정한 속도를 가지는 구동모터식 토크 시험기(Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea, Fig. 2)를 이용하여 mini-screw를 삽입 또는 제거 시 토크를 시간에 대한 그래프로 도시하였다.

2-1. 삽입 토크 시험 (Insertion Torque Test)

인공골 시편에 수직 방향으로 mini-screw tip이 닿도록 한 후 분당 3회전의 속도로 토크 시험기의 회전축을 시계 방향으로 회전시키면서 나사부까지 삽입하면서 컴퓨터 프로그램(QuickDataAcq)을 이용해 0.1초 단위로 토크 값을 기록하였다. 이 때 mini-screw가 피질골을 뚫을 수 있을 정도로 적절한 수직력을 부가하기 위해서 토크 시험기의 회전축에 470 g의 무게추를 장착하였으며 mini-screw의 삽입 깊이를 정확히 하기 위해서 0.01 mm까지 sensitive한 dial indicator depth gauge를 사용하였다. 각 골 시편 당 10개의 mini-screw를 삽입하였으며 mini-screw의 삽입 간격은 10 mm를 유지하였다.

2-2. 제거 토크 시험 (Removal Torque Test)

나사부까지 mini-screw의 삽입이 완성된 인공골 시편에서 토크 시험기의 회전축이 반시계 방향으로 회전하도록 하여 mini-screw를 제거할 때의 토크 값을

0.1초 단위로 기록하였다. 이 때 토오크 시험기의 회전축에서 무게추를 제거하여 회전축 자체의 무게를 제외하고는 mini-screw에 작용하는 수직력을 없앴다. 삽입된 10개의 mini-screw 중에서 5개를 실험하였다.

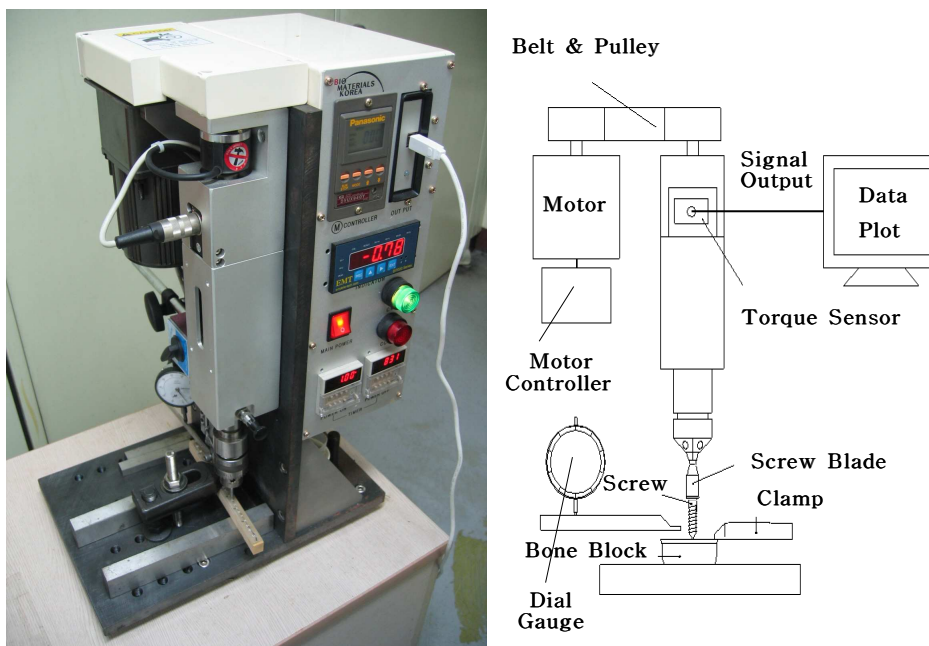


Fig. 2. Photo image and schematic diagram of torque tester (Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea).

3. Pull-Out Strength 시험 (Fig. 3)

구동 토오크 시험 방법으로 mini-screw를 나사부까지 삽입한 골 시편을 만능시험기(Universal Testing Machine, Instron 3366, Instron Corp., Massachusetts, U. S. A.)에 설치하고 mini-screw가 빠져나올 때까지 5 mm/min 속도로 인장하여 인장 하중에 대한 힘 - 변위 그래프(load - displacement graph)를 도시한 후 최대의 인장 하중 값을 MPa 단위로 기록하였다. 삽입된 10개의 mini-screw 중에서 5개를 실험하였다.

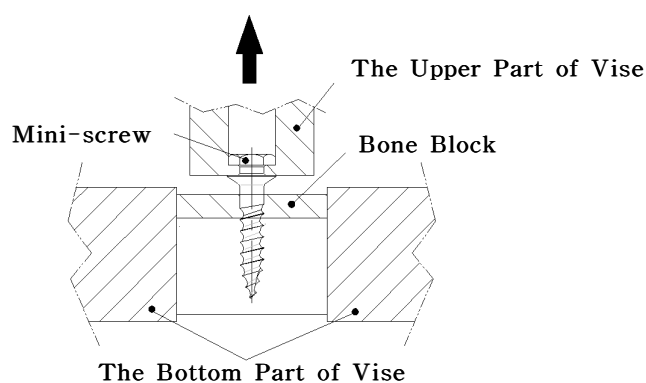


Fig. 3. Schematic diagram of Pull-Out Strength Test.

Table 3. Numbers of experimental tests

CBT (mm)	Type A				Type B				Type C			
	0	1	1.5	2	0	1	1.5	2	0	1	1.5	2
Test 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
sub-total												60
N. of tests												60
Test 2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sub-total												60
N. of tests												60
Total												120
N. of tests												120

* CBT ; Cortical Bone Thickness.

* Test 1 ; Insertion Torque Test, followed by Removal Torque Test.

* Test 2 ; Insertion Torque Test, followed by Pull-Out Strength Test.

다. 계측치 및 통계 처리

아래의 계측치들을 SAS 8.2(STAT User's Guide) 프로그램을 이용하여 각 Type 별과 피질골 두께에 따라서 변수들 사이의 유의성을 보기 위해서 two-way ANOVA로 통계 처리하였고, Tukey's Studentized Range Test를 통하여 순위 검정을 하였으며, 각 변수간의 상관성을 관찰하기 위하여 Pearson Correlation Coefficient를 측정하였다.

1. 피질골 삽입 시간 (Cortical Bone Insertion Time, sec)

mini-screw의 tip이 피질골을 뚫고 들어가 수질골로 진입하기 시작할 때까지의 시간을 말한다(Fig. 4).

2. 최대 삽입 토크 (Maximum Insertion Torque, N cm)

구동 토크 시험에서 mini-screw를 나사부까지 삽입할 때 얻은 토크 값에서 삽입 시작부터 종료 시까지의 최대 토크 값을 의미한다(Fig. 4).

3. 최대 제거 토크 (Maximum Removal Torque, N cm)

구동 토크 시험에서 mini-screw를 제거할 때 얻은 토크 값을 시간에 대한 그래프로 그려보았을 때 최대의 토크 값을 의미한다(Fig. 5).

4. 토크 소실 (Torque Loss, N cm)

최대 삽입 토크와 최대 제거 토크의 차이를 의미한다.

5. 제거 시간 (Removal Time, sec)

구동 토크 시험에서 mini-screw를 제거할 때 얻은 토크 값을 시간에 대한 그래프로 그려보았을 때 최대치에 도달 후 기울기가 급격히 떨어지다가 토크 값의 증가와 감소의 폭이 1 N cm 이하로 완만하게 유지되기 시작하는 지점까지의 시간을 의미한다(Fig. 5).

6. Pull-Out Strength (MPa)

Pull-Out Strength 시험에서 도시된 힘 - 변위 그래프에서 최대 인장 강도를 의미한다.

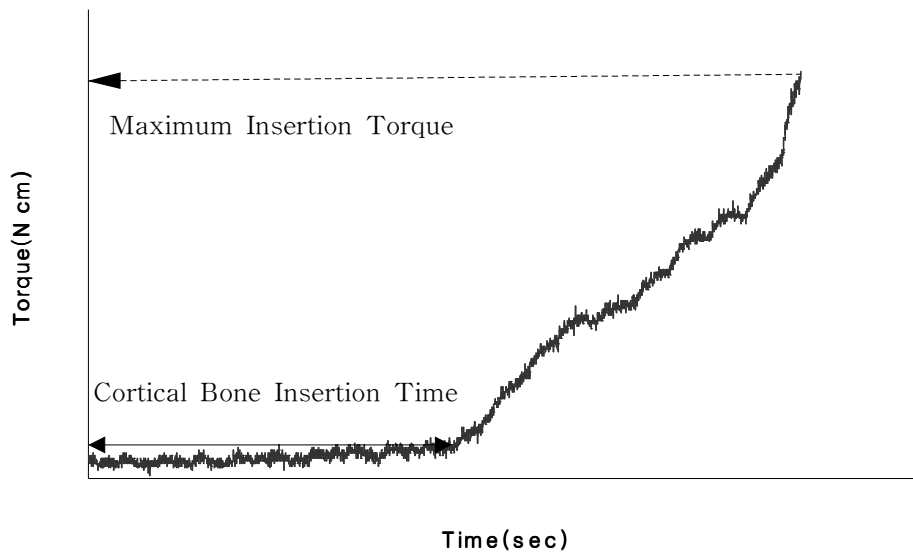


Fig. 4. Time - Insertion Torque graph and the definitions of measurement values regarding Insertion Torque Test.

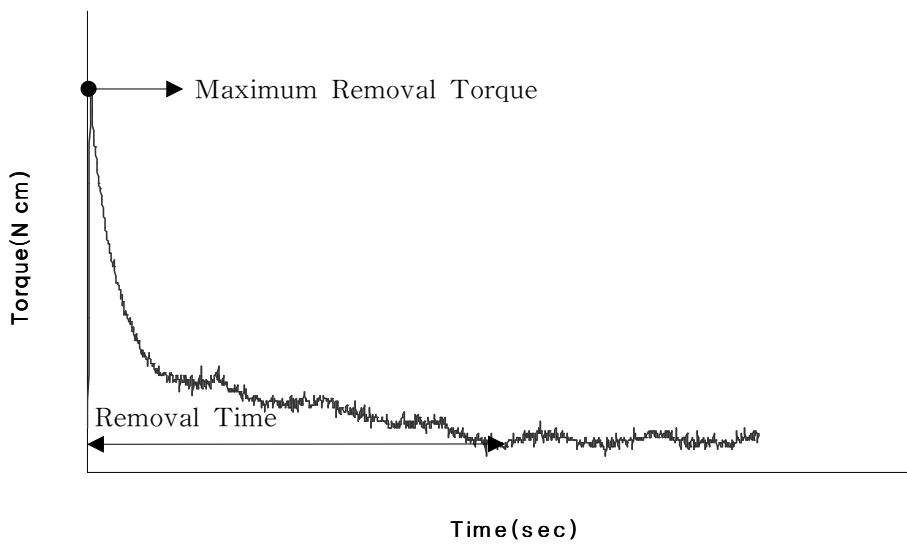


Fig. 5. Time - Removal Torque graph and the definitions of measurement values regarding Removal Torque Test.

Ⅲ . 연구 결과

가. 피질골 삽입 시간(Cortical Bone Insertion Time, Table 4, Fig. 6)

mini-screw의 삽입 토크 시험을 시행하였을 때 mini-screw의 tip이 피질골의 표면을 뚫고 피질골을 관통하여 수질골과의 계면에 닿을 때까지 걸리는 시간, 즉 피질골 삽입 시간을 측정해 본 결과 각 Type마다 피질골 두께가 두꺼워질수록 피질골을 뚫는데 걸리는 시간이 길어졌다.

모든 피질골 두께에서 Type B의 피질골 삽입 시간이 가장 짧았으며, Type C는 피질골 두께 1.5 mm와 2 mm에서 표준 편차가 컸다.

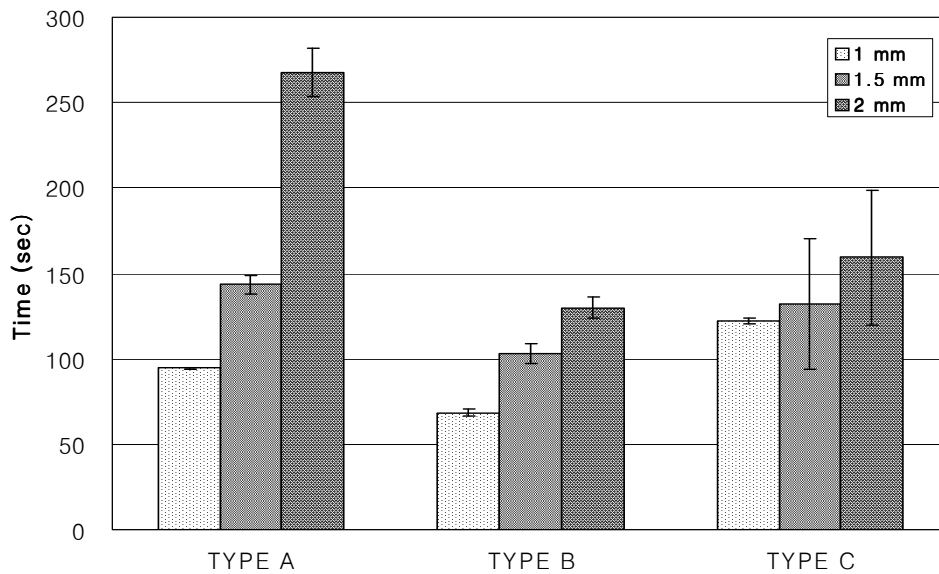


Fig. 6. Cortical Bone Insertion Time (sec) according to cortical bone thickness (Bars show mean, and error bars show standard deviation).

Table 4. Cortical Bone Insertion Time (sec) according to cortical bone thickness

	1 mm	1.5 mm	2 mm	Tukey's
Type A	94 ± 0.55	144 ± 5.37	268 ± 14.21	1<1.5<2 mm
Type B	68 ± 2.05	103 ± 5.79	130 ± 6.04	1<1.5<2 mm
Type C	122 ± 1.48	132 ± 38.10	159 ± 39.97	1<1.5<2 mm
Tukey's	Type B<A<C	Type B<C=A	Type B<C<A	

Statistical Significance is determined by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

나. 최대 삽입 토오크 (Maximum Insertion Torque, Table 5, Fig. 7)

mini-screw의 삽입 토오크 시험을 시행하였을 때 mini-screw의 나사부까지 삽입이 종료될 때까지의 토오크의 최대값, 즉 최대 삽입 토오크를 측정해 본 결과, 모든 Type에서 대개 삽입이 종료되는 시점에서 최대의 토오크 값을 보였으나 피질골 두께에 따라서는 각 Type마다 뚜렷이 다른 양상을 나타내었다.

Type A는 수질골만으로 구성된 대조군보다는 피질골이 있을 경우 증가한 최대 삽입 토오크 값을 보였지만, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm 사이에서는 거의 차이가 없었다. Type B와 Type C는 피질골 두께가 증가할수록 최대 삽입 토오크 값도 증가하였다. 그러나 Type C는 피질골 두께가 1 mm에서 1.5 mm, 1.5 mm에서 2 mm로 증가할수록 비슷한 폭으로 최대 삽입 토오크 값이 증가한 반면, Type B는 피질골 두께 1 mm에서 1.5 mm로 증가했을 때의 최대 삽입 토오크 값의 증가폭에 비해서 1.5 mm에서 2 mm로 증가했을 때의 최대 삽입 토오크 값의 증가폭이 작았다. 또한 모든 피질골 두께에서 Type C > Type B > Type A의 순서로 최대 삽입 토오크 값이 높았다.

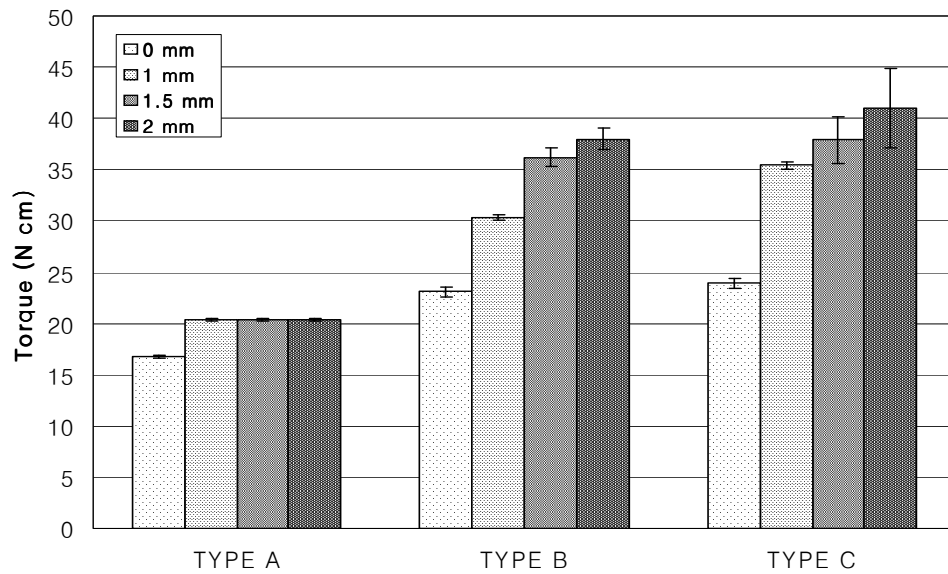


Fig. 7. Maximum Insertion Torque (N cm) according to cortical bone thickness (Bars show mean, and error bars show standard deviation).

Table 5. Maximum Insertion Torque (N cm) according to cortical bone thickness

	0 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	Tukey's
Type A	16.73 ± 0.12	20.33 ± 0.10	20.33 ± 0.11	20.34 ± 0.13	0<1=1.5=2 mm
Type B	23.09 ± 0.50	30.31 ± 0.27	36.20 ± 0.91	38.01 ± 1.06	0<1<1.5<2 mm
Type C	23.91 ± 0.45	35.39 ± 0.40	37.89 ± 2.23	40.97 ± 3.86	0<1<1.5<2 mm
Tukey's	A<B<C	A<B<C	A<B<C	A<B<C	

Statistical Significance is determined by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

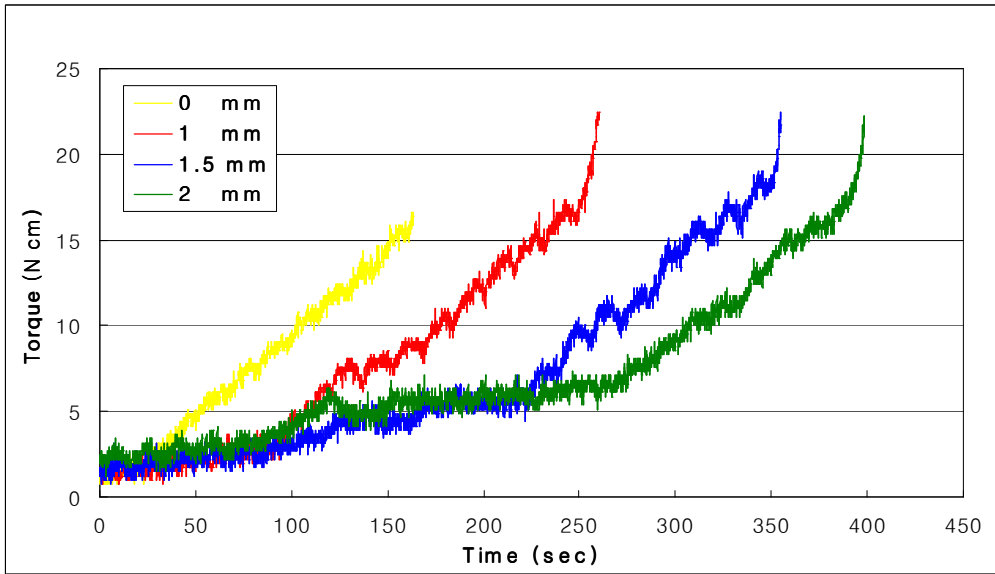


Fig. 8. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by cortical bone thickness in Type A.

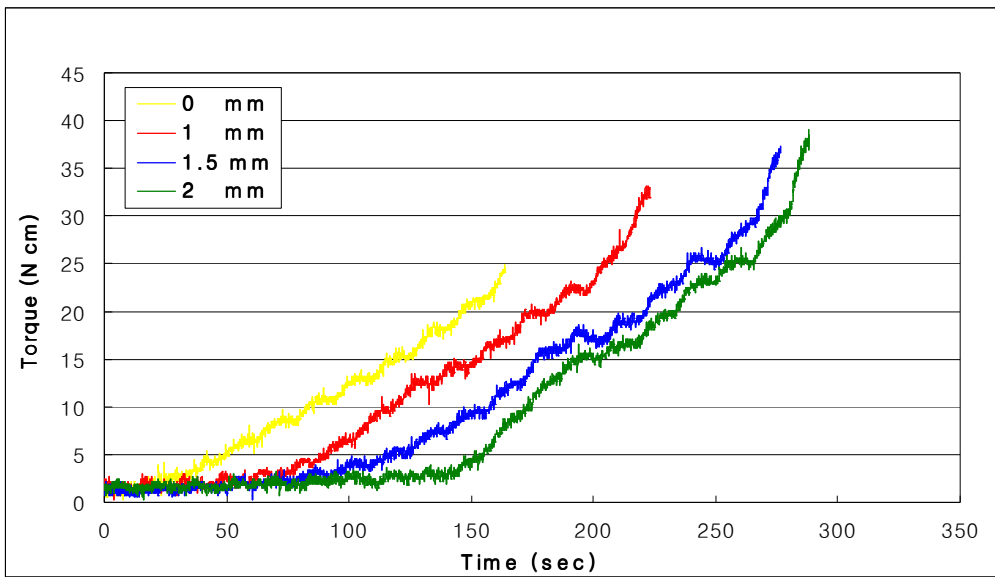


Fig. 9. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by cortical bone thickness in Type B.

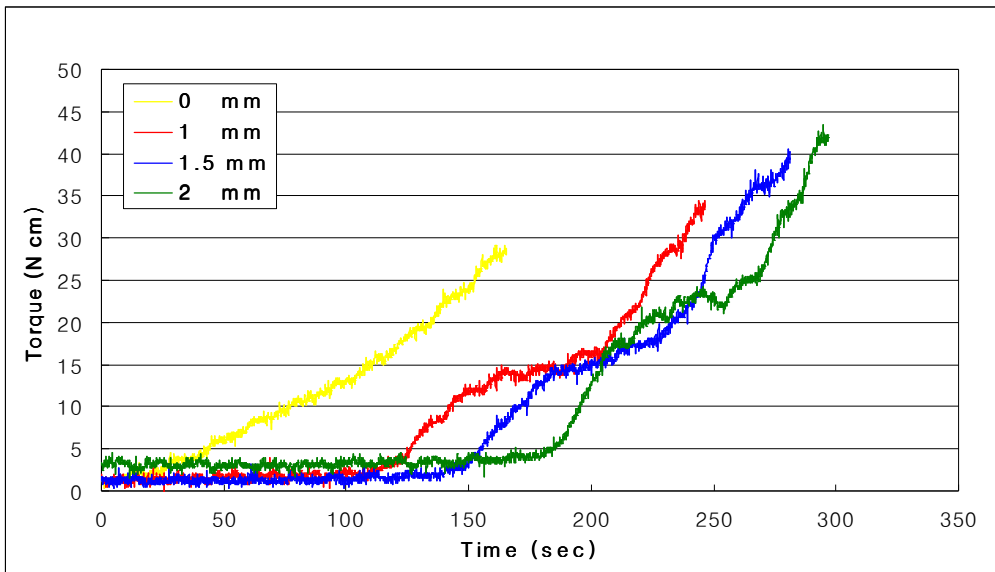


Fig. 10. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by cortical bone thickness in Type C.

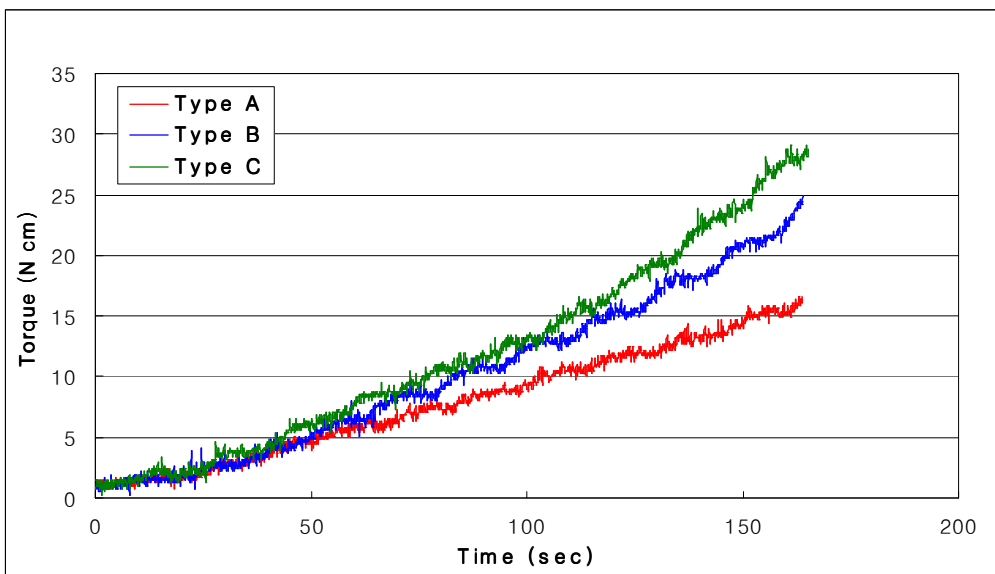


Fig. 11. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by Types in only cancellous bone.

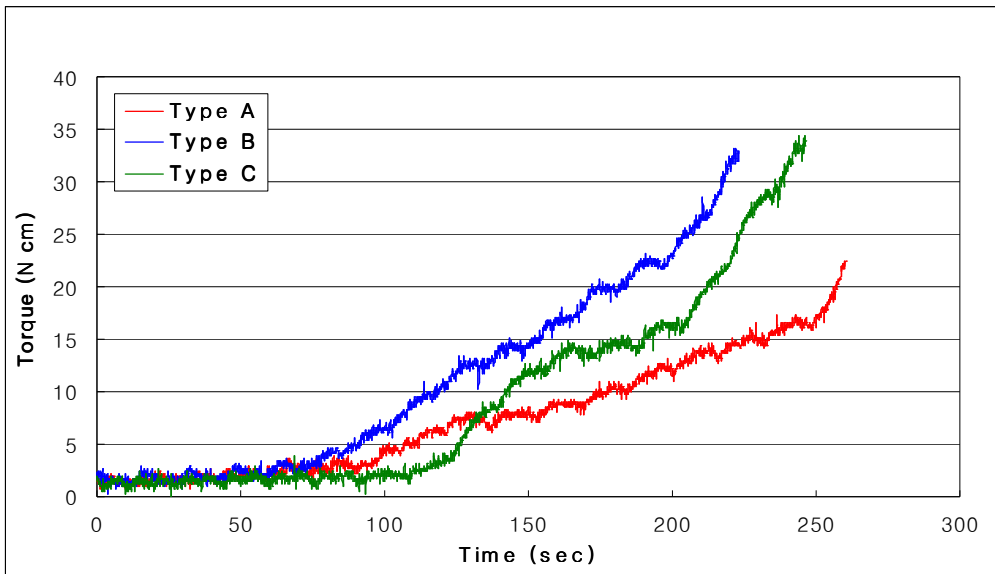


Fig. 12. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by Types in 1 mm cortical bone thickness.

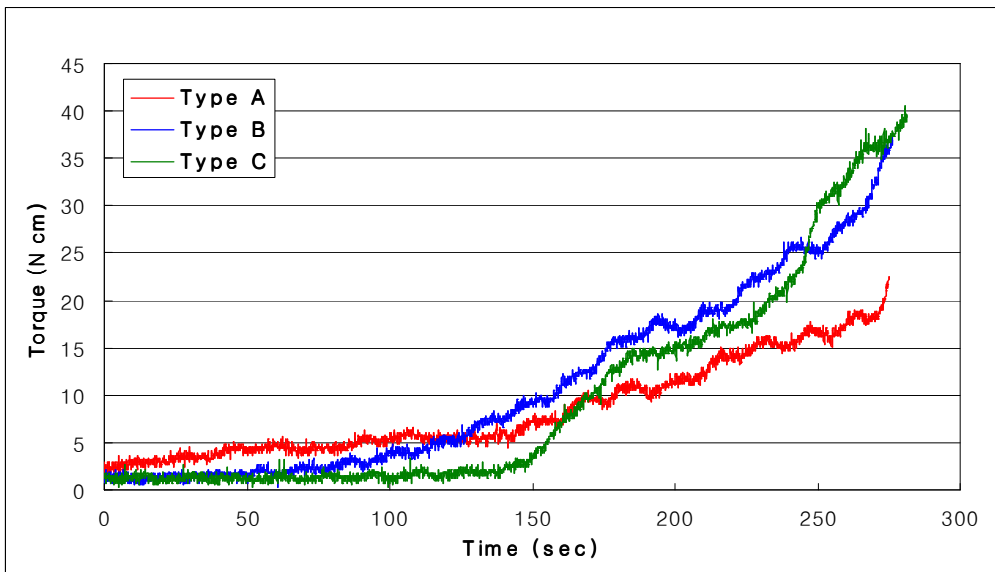


Fig. 13. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by Types in 1.5 mm cortical bone thickness.

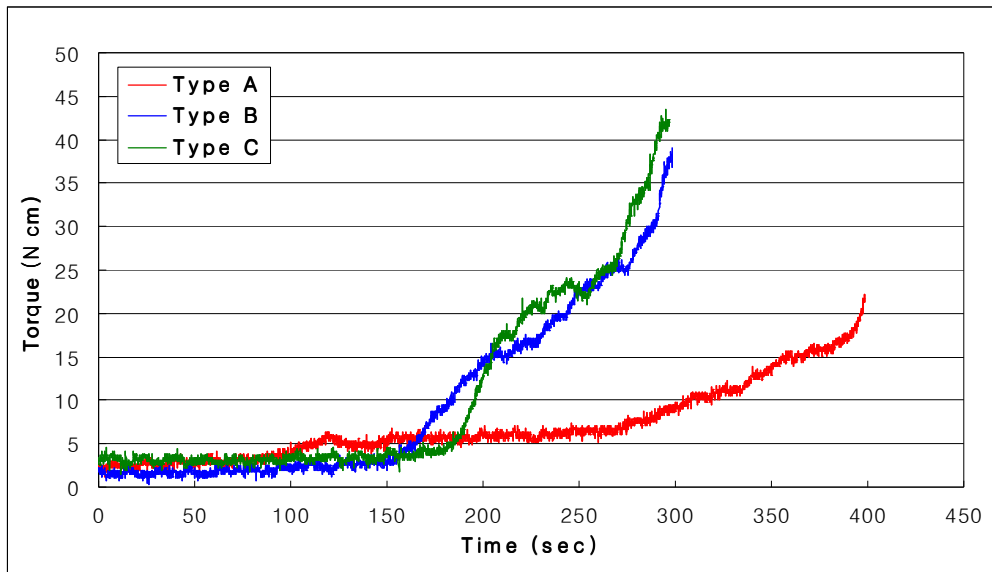


Fig. 14. Superimposition of Time - Insertion Torque graphs by Types in 2 mm cortical bone thickness.

다. 최대 제거 토크 (Maximum Removal Torque, Table 6, Fig. 15)

삽입 토크 시험이 끝나고 골 시편에 식립된 mini-screw에 대해서 제거 토크 시험을 시행해 보았을 때의 최대의 토크 값, 즉 최대 제거 토크를 측정하였다.

Type A는 수질골만으로 구성된 대조군보다는 피질골이 있을 경우 증가한 최대 제거 토크 값을 보였지만, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm 사이에서는 거의 차이가 없었다. Type B와 Type C는 피질골 두께가 증가할수록 최대 제거 토크 값도 커졌다.

모든 Type에서 최대 삽입 토크보다 최대 제거 토크가 낮았다.

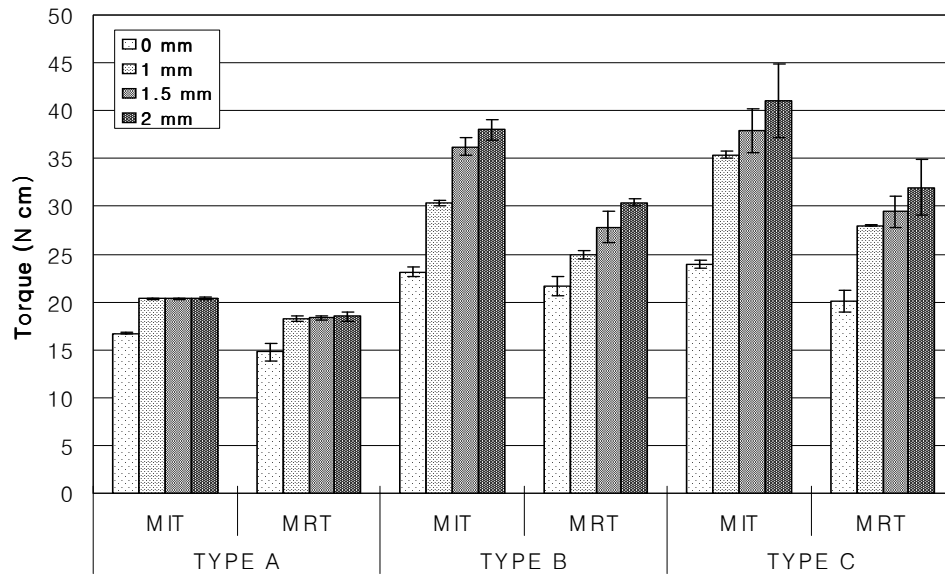


Fig. 15. Maximum Insertion Torque and Maximum Removal Torque according to cortical bone thickness (Bars show mean, and error bars show standard deviation).

Table 6. Maximum Removal Torque (N cm) according to cortical bone thickness

	0 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	Tukey's
Type A	14.79 ± 0.94	18.23 ± 0.27	18.35 ± 0.19	18.46 ± 0.50	0<1=1.5=2 mm
Type B	21.68 ± 1.00	24.95 ± 0.46	27.83 ± 1.67	30.41 ± 0.38	0<1<1.5<2 mm
Type C	20.08 ± 1.10	27.99 ± 0.09	29.46 ± 1.65	31.93 ± 2.92	0<1<1.5<2 mm
Tukey's	A<C=B	A<B<C	A<B=C	A<B=C	

Statistical Significance is determined by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

라. 토오크 소실 (Torque Loss, Table 7, Fig. 16)

대체적으로 최대 삽입 토오크가 높을수록 최대 제거 토오크도 높았지만, 최대 삽입 토오크와 최대 제거 토오크의 차이인 토오크 소실도 컸다. Type B나 Type C에 비해서 Type A의 토오크 소실이 작았다.

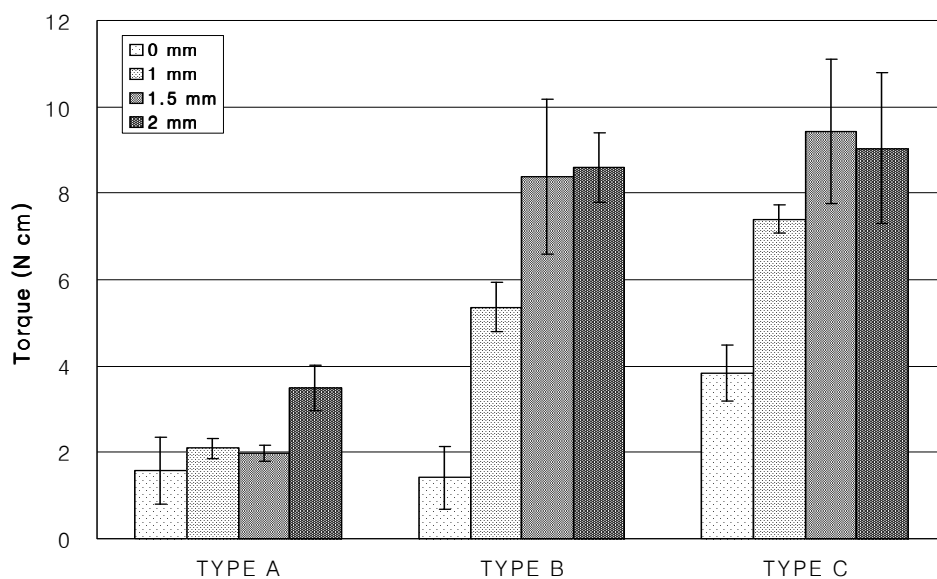


Fig. 16. Torque Loss (N cm) according to cortical bone thickness (Bars show mean, and error bars show standard deviation).

Table 7. Torque Loss (N cm) according to cortical bone thickness

	0 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	Tukey's
Type A	1.58 ± 0.77	2.10 ± 0.23	1.98 ± 0.20	3.49 ± 0.52	0<1.5=1<2 mm
Type B	1.41 ± 0.73	5.36 ± 0.58	8.38 ± 1.80	8.60 ± 0.80	0<1<1.5=2 mm
Type C	3.83 ± 0.65	7.40 ± 0.33	9.43 ± 1.67	9.04 ± 1.74	0<1<2=1.5 mm
Tukey's	B=A<C	A<B<C	A<B=C	A<B=C	

Statistical Significance is determined by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

마. 제거 시간 (Removal Time, Table 8, Fig. 17)

모든 Type에서 피질골이 있는 경우보다 수질골만으로 구성된 대조군에서 제거 시간이 길었으며, 대체적으로 피질골 두께가 증가할수록 제거 시간이 짧아졌다. 모든 피질골 두께에서 Type A와 Type B에 비해서 Type C의 제거 시간이 상당히 짧았다.

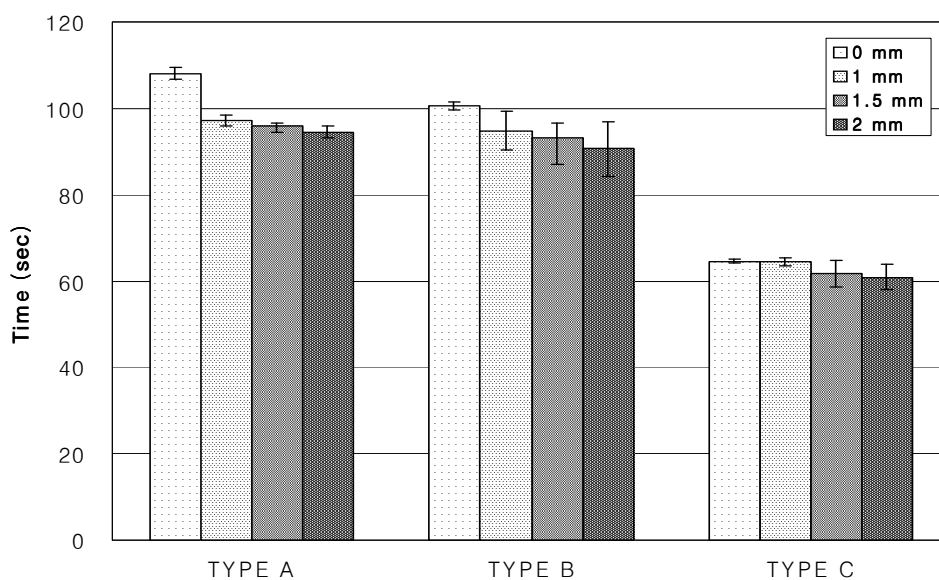


Fig. 17. Removal Time (sec) according to cortical bone thickness (Bars show mean, and error bars show standard deviation).

Table 8. Removal Time (sec) according to cortical bone thickness

	0 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	Tukey's
Type A	108 ± 1.41	97 ± 1.30	96 ± 0.84	95 ± 1.38	2<1.5=1<0 mm
Type B	101 ± 0.89	95 ± 4.44	93 ± 3.42	91 ± 6.23	2<1.5≤1<0 mm
Type C	65 ± 0.55	64 ± 0.89	62 ± 3.05	60 ± 2.88	2<1.5=1=0 mm
Tukey's	C<B<A	C<B=A	C<B=A	C<B=A	

Statistical Significance is determined by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

바. Pull-Out Strength (Table 9, Fig. 18)

모든 Type에서 피질골 두께가 1.5 mm일 때 가장 큰 Pull-Out Strength를 보였고, 모든 피질골 두께에서 Type C의 Pull-Out Strength가 Type A나 Type B에 비해서 작았다.

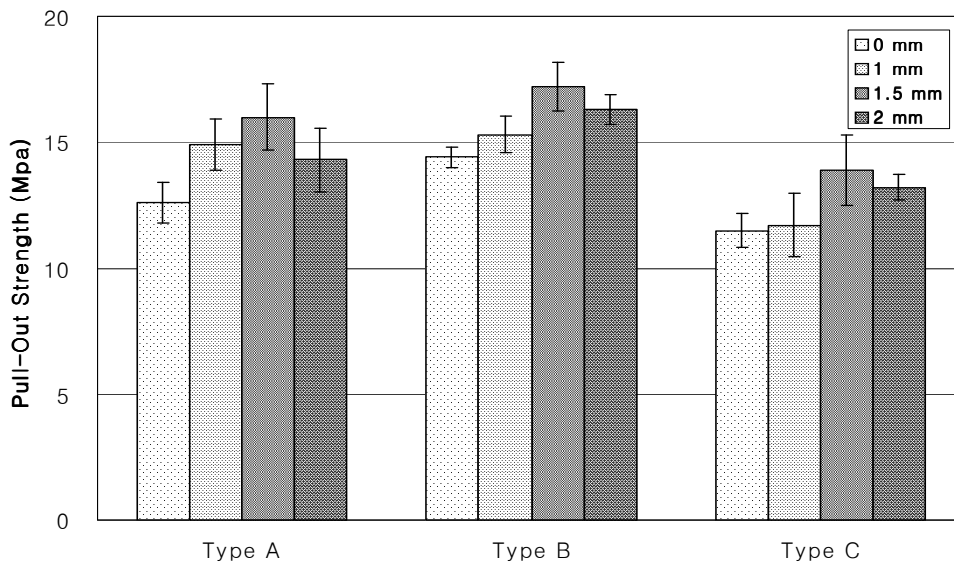


Fig. 18. Pull-Out Strength (MPa) according to cortical bone thickness (Bars show mean, and error bars show standard deviation).

Table 9. Pull-Out Strength (MPa) according to cortical bone thickness

	0 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	Tukey's
Type A	12.54 ± 0.57	14.97 ± 0.05	16.87 ± 0.62	14.34 ± 1.27	0<2=1<1.5 mm
Type B	13.86 ± 0.45	14.85 ± 0.45	17.53 ± 0.54	16.47 ± 0.60	0=1<2=1.5 mm
Type C	10.99 ± 0.18	12.11 ± 0.10	14.22 ± 1.16	13.21 ± 0.50	0=1=2<1.5 mm
Tukey's	C<A<B	C<B=A	C<A=B	C=A<B	

Statistical Significance is determined by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

사. 각 변수들 사이의 상관성 (Table 10-12)

모든 Type에서 피질골 두께와 피질골 삽입 시간 사이에 높은 상관관계가 있었다.

피질골 두께와 최대 삽입 토오크, 피질골 두께와 최대 제거 토오크의 상관관계도 매우 높았으며, 또한 최대 삽입 토오크와 최대 제거 토오크 사이의 상관관계도 매우 높았으며 특히 Type B와 Type C에서 더욱 그러하였다.

최대 삽입 토오크와 Pull-Out Strength는 통계적으로 유의한 상관관계에 있었지만, 그 상관계수가 최대 삽입 토오크와 최대 제거 토오크 사이의 상관계수보다는 낮았다.

Table 10. Pearson Correlation Coefficients of Type A

	<i>CBT</i>	<i>CBIT</i>	<i>MIT</i>	<i>MRT</i>	<i>TL</i>	<i>RT</i>	<i>POS</i>
<i>CBT</i>		0.97 ****	0.87 ****	0.50 *	0.79 ****	-0.97 ****	0.65 **
<i>CBIT</i>	0.97 ****		0.75 ****	0.29 NS	0.86 ****	-0.97 ****	0.48 *
<i>MIT</i>	0.87 ****	0.75 ****		0.82 ****	0.56 *	-0.81 ****	0.77 ****
<i>MRT</i>	0.50 *	0.29 NS	0.82 ****		0.01 NS	-0.41 NS	
<i>TL</i>	0.79 ****	0.86 ****	0.56 *	0.01 NS		-0.86 ****	
<i>RT</i>	-0.97 ****	-0.97 ****	-0.81 ****	-0.41 NS	-0.86 ****		
<i>POS</i>	0.65 **	0.48 *	0.77 ****				

Statistical Significance

* ; p<0.05, ** ; p<0.01, *** ; p<0.001, **** ; p<0.0001, NS ; Not significant

CBT; Cortical Bone Thickness, *CBIT*; Cortical Bone Insertion Time

MIT; Maximum Insertion Torque, *MRT*; Maximum Removal Torque

TL; Torque Loss, *RT*; Removal Time, *POS*; Pull-Out Strength

Table 11. Pearson Correlation Coefficients of Type B

	<i>CBT</i>	<i>CBIT</i>	<i>MIT</i>	<i>MRT</i>	<i>TL</i>	<i>RT</i>	<i>POS</i>
<i>CBT</i>		0.996 ****	0.99 ****	0.95 ****	0.93 ****	-0.69 ***	0.81 ***
<i>CBIT</i>	0.996 ****		0.98 ****	0.95 ****	0.93 ****	-0.71 ***	0.80 ***
<i>MIT</i>	0.99 ****	0.98 ****		0.96 ****	0.95 ****	-0.66 **	0.81 ***
<i>MRT</i>	0.95 ****	0.95 ****	0.96 ****		0.81 ****	-0.60 **	
<i>TL</i>	0.93 ****	0.93 ****	0.95 ****	0.81 ****		-0.67 **	
<i>RT</i>	-0.69 ***	-0.71 ***	-0.66 **	-0.60 **	-0.67 **		
<i>POS</i>	0.81 ***	0.80 ***	0.81 ***				

Table 12. Pearson Correlation Coefficients of Type C

	<i>CBT</i>	<i>CBIT</i>	<i>MIT</i>	<i>MRT</i>	<i>TL</i>	<i>RT</i>	<i>POS</i>
<i>CBT</i>		0.88 ****	0.96 ****	0.92 ****	0.90 ****	-0.60 **	0.76 **
<i>CBIT</i>	0.88 ****						0.64 *
<i>MIT</i>	0.96 ****	0.88 ****		0.98 ****	0.92 ****	-0.47 *	0.72 **
<i>MRT</i>	0.92 ****	0.82 ****	0.98 ****		0.81 ****	-0.46 *	
<i>TL</i>	0.90 ****	0.90 ****	0.92 ****	0.81 ****		-0.44 NS	
<i>RT</i>	-0.60 **	-0.54 *	-0.47 *	-0.46 *	-0.44 NS		
<i>POS</i>	0.76 **	0.64 *	0.72 **				

Statistical Significance

* ; p<0.05, ** ; p<0.01, *** ; p<0.001, **** ; p<0.0001, NS ; Not significant

CBT; Cortical Bone Thickness, *CBIT*; Cortical Bone Insertion Time

MIT; Maximum Insertion Torque, *MRT*; Maximum Removal Torque

TL; Torque Loss, *RT*; Removal Time, *POS*; Pull-Out Strength

IV. 총괄 및 고찰

최근 치과 교정과 영역에서 고정원의 확보를 위해서 교정용 mini-screw의 사용이 보편화되고 있으나 교정용 mini-screw의 역학적 특성이나 유지력에 영향을 미치는 요소에 대한 연구는 희박하다. 이에 본 연구의 목적은 피질골의 두께를 다르게 설정한 인공골 시편에 피질골과의 접촉 부위에 서로 다른 구조물을 가진 세 종류의 drill-free 형태 mini-screw를 일정한 회전 속도와 수직력을 부여할 수 있는 구동식 토오크 시험기를 이용하여 삽입 및 제거 시의 연속적인 토오크 측정과 Pull-Out Strength의 측정을 통해서 mini-screw의 역학적 특성을 연구하고자 하는 것이었다.

Cortical Bone Screw는 골의 한쪽 면만 관통하게 사용하는 unicortical screw, 골의 양쪽 면을 다 사용하지만 외피질에만 나사부가 있는 lag screw, 그리고 골의 양쪽 면을 다 사용하며 양쪽 피질에 나사부가 있는 bicortical screw의 세 가지 방식으로 사용될 수 있으며(Lawson과 Brems, 2001), 비록 하악 구치부의 전방 이동을 위한 고정원으로 bicortical screw를 사용한 증례 보고(Freudenthaler 등, 2001)도 있었지만 대개의 교정용 mini-screw는 unicortical screw에 준한다고 할 수 있다. 따라서 본 연구를 시행함에 있어서 bone screw를 많이 사용하는 정형외과나 구강외과 영역에서의 문헌들을 많이 참고하였다.

본 연구에서 사용한 교정용 mini-screw는 모두 unicortical로 사용하는 drill-free 형태의 mini-screw이었으며, 피질골 두께에 따른 역학적 특성을 연구하기 위해서 현재 국내에 시판되고 있는 교정용 mini-screw 중에서 피질골과의 접촉 부위에 특징적인 구조를 가지고 있는 세 회사의 모델을 선정하였다. 화학적 성분은 모두 Ti-6Al-4V의 티타늄 합금으로 비록 삽입 후 시간이 경과하면 임플란트처럼 골유착이 일어난다는 보고가 있지만(김과 장, 2002; 임 등, 2003; 강, 2003; Kim 등, 2005) mini-screw의 역학적 특성에 의해 좌우되는 1차 안정성만을 고려하였다.

많은 선학들의 연구에서 스크류의 역학적인 안정성을 평가하는 방법으로 삽입

및 제거 시의 토오크를 측정하거나 Pull-Out Strength를 측정하는 방법을 주로 사용하고 있으며 여러 문헌들에서 안정성에 영향을 미치는 요소들로 주로 스크류나 임플란트의 직경과 길이 등을 포함하는 스크류 디자인과 삽입 부위의 골밀도에 대해서 언급하고 있다. Brown 등(2000)과 Homolka 등(2002), 그리고 Hitchon 등(2003)이 삽입 토오크와 골밀도 사이에는 유의한 상관관계가 있다고 하였으며, Koistinen 등(2005)은 골밀도가 삽입 토오크에 영향을 미쳐서 나이가 많은 사람의 골보다는 젊은 사람의 골에서 통계적으로 유의하게 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 스크류와 골 사이에 전해지는 최대 하중이 피질골의 두께와 수질골의 밀도와 가장 연관이 있다고 하였다. 또한 Ciarelli 등(1991)에 의하면 많은 연구가들에 의해서 수질골의 강도(strength) 및 강성(stiffness)은 골밀도와 방향성(orientation)에 비례한다고 알려져 있으나 수질골 내에서 이러한 변수들이 일정하지 않기 때문에 물리적 특성의 범위도 넓다고 하였으며, 정상적인 관절 기능으로부터 야기되는 mechanical stress가 골의 방향성과 구조(structure) 및 강도에 영향을 미친다고 가정하는 “Wolff의 법칙”으로 잘 알려진 이러한 현상이 해부학적 위치에 따르는 기능에 따라서 다양한 수질골의 물리적 특성을 설명한다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 골밀도라는 변수를 통제하기 위해서 삽입 부위에 따라서 변하지 않고 일정하게 정해진 밀도 값을 가지는 실험용 인공골 시편을 사용하였다. 이번 실험에 사용한 인공 피질골은 1.7 g/cc, 인공 수질골은 0.64 g/cc의 밀도를 가지고 있으며 금속성 bone screw의 역학 연구에 대한 ASTM(American Society for Testing and Materials)의 규정을 통과한 재료이다. 역학적인 실험을 할 때 인공골 시편을 사용하면 그 결과 값이 비록 인체에서와는 다를 수 있지만, 인체에서 mini-screw의 삽입과 제거 시의 연속적인 토오크를 연구하는 것은 어렵고, 인간 cadaver bone을 이용할 경우 식립 부위에 따라 피질골의 두께가 다르고 골밀도도 다르기 때문에 토오크 값을 서로 비교하기가 힘들지만, 인공골 시편을 사용하면 하중을 주는 부위에 따른 변이가 적기 때문에 보다 믿을 만하며 특별한

조작이나 보존 과정이 필요하지 않은 장점을 가지고 있다고 할 수 있다.

본 연구에서의 연구 방법들은 대체적으로 ASTM F543-02 규정을 준용하였으나 ASTM F543-02 규정은 금속성 의료용 bone screw에 대한 규정이기 때문에 치아 교정과 영역에서의 mini-screw와는 다소 차이가 있어서 약간의 변화를 주었다. ASTM은 구동 토크 시험 시에 1-5 rpm의 속도로 회전력을 주도도록 규정하고 있으며 따라서 본 연구에서는 3 rpm의 회전 속도로 고정하였다. ASTM에서는 삽입 토크(insertion torque)를 “screw를 물질 속으로 진입시킬 때 screw와 물질 사이의 마찰력을 극복하는데 필요한 토크의 양”이라고 정의하고 있으며, 초기 4회전 동안에 얻어진 최대값으로 기록하도록 하고 있다. 또한 최대 토크(maximum torque)를 “회전을 계속하는 동안에 screw failure가 일어나기 전까지 기록된 최대 토크의 값”으로 정의하고 있지만 본 연구에서는 교정용 mini-screw가 피질골을 뚫는 용이성을 보기 위해서 삽입 토크보다는 피질골 삽입 시간(Cortical Bone Insertion Time)이 합당하다 여겨져서 피질골 삽입 시간을 측정하였으며, 교정용 mini-screw의 역학적 안정성에 중요한 요인은 mini-screw를 나사부까지 삽입했을 때의 최대 토크 값이라 판단되어 나사부까지 삽입했을 때의 최대의 토크 값을 최대 삽입 토크(Maximum Insertion Torque)라고 정의하였다. 또한 ASTM에서는 제거 토크(Removal Torque)는 “물질로부터 screw를 제거할 때 screw와 물질 사이의 마찰력을 극복하는데 필요한 토크의 양”이라고 정의하고 있으며 삽입과 반대 방향으로 회전시켰을 때 초기 4회전 동안에 얻어진 최대의 토크 값으로 기록하도록 하고 있으며, 본 연구에서는 나사부까지 삽입한 mini-screw를 인공골로부터 제거될 때까지의 시간을 제거 시간(Removal Time)이라고 정의를 하였으며, 연속적인 시간 동안의 최대의 토크를 최대 제거 토크(Maximum Removal Torque)로 정의하고 측정하였다. 그리고 ASTM에서는 Axial Pullout Test는 물체로부터 screw를 제거하기 위해서 필요한 axial tensile force를 측정하는 실험으로 “axial pullout 실험에서 얻은 힘-변위 곡선에서 얻은 최대의 힘”을 Axial Pullout Strength로 정의하고 있으며, 본 연구에서는 Pull-Out Strength가 동일한 의미로 사용되었다.

가. 삽입 토오크 시험에 대한 고찰

parallel part만으로 구성된 순수한 cylindrical type인 Type A는 피질골을 통과하면 피질골 두께와 상관없이 토오크 값이 거의 일정한 기울기를 가지면서 토오크 값이 증가하며, 수질골만으로 구성된 대조군을 제외하면 피질골 두께에 상관없이 비교적 일정한 최대 삽입 토오크 값을 보였다. mini-screw의 구조 중에서 삽입 토오크 값에 영향을 미치는 부분은 피질골과 접촉하는 부분이라 생각되는데 Type A는 tip 부분을 제외한 나사부가 parallel part로만 구성되어 있는 순수한 cylindrical type이어서 피질골과 접촉하는 부분의 면적이 피질골 두께가 증가하여도 그렇게 많이 증가하지는 않기 때문이라 생각된다. 종합하면, 수질골만으로 구성된 대조군에 비해서는 최대 삽입 토오크 값이 큰 것으로 보아 수질골보다 밀도가 높은 피질골과의 접촉이 생기면 삽입 토오크 값이 증가를 하는 것임은 틀림없지만 그 접촉 면적이 피질골 두께에 따라서 크게 차이가 없기 때문에 피질골 두께가 증가할수록 피질골을 뚫는데 걸리는 시간이 증가할 뿐이지 그 이후는 시간에 대해서 비슷한 토오크 증가율을 가지면서 최대 삽입 토오크 값도 거의 일정함을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 Type A mini-screw의 직경이 1.45 mm에 불과하므로 직경이 훨씬 큰 mini-screw를 사용하였다면 피질골과의 접촉 부위에서 특별한 구조물이 없다고 하더라도 피질골과의 접촉 면적이 피질골 두께에 따라서 뚜렷이 차이가 날 것이므로 피질골 두께에 따라서 최대 삽입 토오크 값이 커질 수 있으리라 생각된다(Fig. 8).

Type B는 대조군에 비해서 피질골이 부착된 골 시편에서 최대 삽입 토오크 값이 뚜렷이 증가하였으며, 피질골의 두께가 두꺼울수록 그 값이 더 커졌다. 그러나 피질골 두께가 1 mm에서 1.5 mm로 증가했을 때의 최대 삽입 토오크 값의 증가폭보다는 1.5 mm에서 2 mm로 증가했을 때의 최대 삽입 토오크 값의 증가폭이 작았다. Type B는 기본적으로는 Type A 같이 tip 부분을 제외한 나사부가 parallel한 cylindrical type이지만 외경은 유지되면서 나사부의 윗부분의 내경이 조금씩 증가하면서 연조직 접촉부로 이행되는 부분이 존재하는데 그 구간이 연구자

의 계측에 의하면 1.5 mm 정도였다. 이러한 구조물이 mini-screw가 삽입될수록 골에 대한 측방 압력을 증가시키게 하는 요인이며 따라서 피질골의 두께에 따라서 최대 삽입 토오크 값은 Type A에 비해서 더 차이가 많이 나지만 그 구간이 1.5 mm 정도여서 피질골 두께가 1.5 mm에서 2 mm로 증가하여도 그 값에는 별 차이가 없는 것이라 생각된다. 즉 내경이 증가하는 구간이 2 mm 이상이라면 피질골 두께가 1.5 mm에서 2 mm로 증가했을 때 피질골과의 접촉 면적에 확연한 차이를 나타내므로 피질골 두께 2 mm에서의 최대 삽입 토오크 값이 더 많이 상승했을 것이다(Fig. 9).

Type C도 Type B와 같이 피질골이 존재할수록 최대 삽입 토오크 값이 더 증가를 하였으며, 피질골 두께가 증가할수록 Type B보다도 더 뚜렷이 그 값이 증가하였다. Type C는 구조적으로 dual core diameter를 가지는 제품으로 tip을 제외한 나사부가 내경과 외경이 일정하게 유지되는 parallel part와 내경과 외경이 서서히 증가하면서 연조직 접촉부와 이행되는 taper part로 구성되어 있는 combination type이며 연구자의 계측에 의하면 taper part의 길이가 2.5 mm 정도여서 피질골 두께가 증가할수록 피질골과 taper part의 접촉 면적이 크게 증가하므로 피질골 두께가 1 mm에서 1.5 mm, 1.5 mm에서 2 mm로 증가하면서 최대 삽입 토오크 값도 점차적으로 증가하였다고 생각된다(Fig. 10).

각 피질골 두께에서 Type 별로 그래프를 겹쳐보면 각 피질골 두께에서의 삽입 토오크 값의 상승 추이를 잘 관찰할 수 있다.

피질골이 없이 수질골만으로 구성된 대조군을 살펴보면, 나사부까지 삽입이 종료되는 시간은 거의 비슷하였는데 이는 수질골의 밀도인 0.64 g/cc를 뚫는 데는 세 제품의 mini-screw tip의 효율성이 거의 비슷함을 의미한다. 그러나 그래프의 기울기와 최대 삽입 토오크를 살펴보면 Type C > Type B > Type A의 순으로 그 값이 컸다. 즉, 0.64 g/cc의 밀도를 가지는 수질골에서 Type C가 가지는 구조물이 토오크 값을 가장 상승시킨다고 볼 수 있다. 그러나 Type A의 외경이 1.45 mm로 다른 두 제품에 비해서 월등히 작기 때문에 전체적으로 시간에 따른 삽입 토오크의 증가량이 작은 것에 작은 외경이 일부분 기여한다고 생각되어진다(Fig. 11). 피질골 두께가 1 mm일 경우에는 Type B mini-screw tip이 가장 빠르게 피

질골을 뚫고 수질골 내로 진입하였으며 따라서 전체 삽입 시간도 가장 짧았다. 시간이 지날수록 Type B와 Type C의 삽입 토오크 값이 빠르게 증가하였으며, 특히 삽입이 종료되는 시점 가까이에서의 기울기는 더 급격해져서 순수한 cylindrical type으로 피질골과 접촉하는 부분에 특별한 구조물이 없는 Type A에 비해서 Type B와 Type C의 최대 삽입 토오크 값이 훨씬 커짐을 알 수 있다(Fig. 12). 피질골 두께가 1.5 mm일 경우(Fig. 13)와 2 mm일 경우(Fig. 14)에도 1 mm 피질골에서의 양상과 유사하였다.

이상으로, 삽입 토오크는 스크류의 디자인과 연관성이 높다고 생각되어진다. 또한 피질골을 뚫는데 걸리는 시간(피질골 삽입 시간, Cortical Bone Insertion Time)은 screw tip의 각도 및 sharpness, cutting flute 디자인에 따라서 영향을 받을 것이라 생각되어지는데, Yerby 등(2001)은 cutting flute 디자인이 삽입 토오크와 Pull-Out Strength에 영향을 주며 cutting flute는 이상적으로 스크류의 삽입을 용이하게 하고 연조직 자극을 최소화하면서 스크류의 유지력을 최대로 하도록 디자인해야 한다고 하였다.

많은 생역학적 연구에서 삽입 토오크가 스크류의 안정성에 영향을 미친다고 하였지만(Okuyama 등, 2000) 삽입 토오크 값이 mini-screw의 안정성과 비례 관계에 있다고 단언하기는 힘들다. Lawes 등(2004)은 tapered bone screw의 높은 삽입 토오크는 골과의 계면에서의 loosening을 감소시킨다고 하였다. 반면에 Okuyama 등(2000)은 요추 수술에 사용하는 스크류에 대한 연구에서 수술 중 삽입 토오크의 측정이 스크류의 loosening을 예측할 수 없었다고 하였다. Frost(2003)는 골조직에 변형이 과도하게 일어나면 integrity를 유지할 수 없다고 하였으며, Hansson과 Werke(2003)도 골조직에 응력이 과도하게 집중되어 생리적 한계를 넘을 경우 골흡수가 일어난다고 하였다. 즉 골 내로 mini-screw를 삽입할 때 골이 견디는 범위 이상으로 토오크 값이 과도하면 골 균열(bone crack)이나 골 괴사(bone necrosis)를 초래할 수 있으므로 골이 견디는 범위 내에서 적절한 토오크를 가지는 것이 좋을 것이며 그러한 적절한 토오크 값을 찾으려는 연구가 더 필요할 것이다.

나. 제거 토오크 시험에 대한 고찰

피질골 두께에 따른 Type 별 최대 제거 토오크 값은 최대 삽입 토오크 값의 양상을 비교적 그대로 따르는 경향이 있었지만, 모든 Type에서 최대 삽입 토오크 값보다는 최대 제거 토오크 값이 작아서, 이른바 토오크 소실이 있었다. 이것은 screw가 감겨 있는 그대로 토오크 값이 유지되지 않는다는 의미이다. 즉, 회전력에 의해서 나사부 끝까지 삽입이 완성되어 토오크 값이 최고조로 올랐어도 회전력을 제거하면 screw가 식립된 물체와의 사이에서 힘의 평형 관계를 이룰 때까지 screw가 조금 풀린다고 생각할 수 있다. 따라서 mini-screw의 안전성에 대한 보다 확실한 지표는 삽입 토오크보다는 제거 토오크라 생각되어진다.

Type A에 비해서 최대 삽입 토오크 값이 컸던 Type B와 Type C의 최대 제거 토오크 값도 컸다. 그러나 토오크 소실은 순수한 cylindrical 형태인 Type A에서 가장 작았는데, 이는 토오크 값 상승의 목적으로 디자인에 포함시킨 taper 형태가 삽입 시 토오크 값을 상승시키는 효과만큼 직접 교정력을 적용하는 시점에서 효력을 다 발휘하지는 못한다는 의미가 될 것이다.

제거 토오크 테스트를 통해서 얻을 수 있는 또 하나의 의미 있는 정보는 mini-screw가 제거될 때까지의 시간인 제거 시간이다. 각 Type 별로는 피질골 두께에 따라서 제거 시간에서 크게 차이가 없었지만 Type C가 다른 두 Type에 비해서 제거 시간이 짧았다. 제거 시간이 짧다는 것은 골내 염증 반응이나 과도한 힘의 적용 등과 같이 피질골과 mini-screw의 접촉 부위에서의 결합을 깨뜨릴 상황이 발생한다면, 빠른 시간 내에 탈락될 수 있음을 의미한다. 순수한 cylindrical 형태인 Type A에서 토오크 소실이 가장 작고, 제거 시간이 가장 길었던 반면에, 부분 taper 형태인 Type C는 제거 회전력에 의해서 피질골과 강하게 접촉하고 있던 최대 외경 부분에서 피질골과의 접촉이 깨어지면 쉽게 빠지는 것은 구조적으로 당연하다고 할 수 있다. 그러나 Type C의 토오크 값이 임상에서 사용하는 교정력(Ren 등, 2003)에 비해서 충분히 크므로 체인이나 스프링을 걸 때 부주의하게 토오크 값을 증가할 정도로 너무 과도한 힘을 주지 않는다면 임상적인 측면에서

는 안정성이 떨어진다고 보기는 힘들며, 표면처리 등으로 증가된 골유착에 의한 이차적 안정성도 고려되어야 하며, 무엇보다 mini-screw 삽입 시 감염에 의한 염증 반응이 없도록 하는 것이 가장 중요하다고 생각된다.

다른 방향으로 해석하면, Type C와 같이 최대 제거 토크 값이 크면서 제거 시간이 짧다는 것은 임상에서 충분한 유지력을 가지면서 교정력의 고정원으로 사용할 수 있으며, 사용이 끝난 mini-screw를 제거할 때에 초기에는 다소 큰 힘이 요구되지만 한 번 turning이 되면 쉽게 제거할 수 있다는 의미로 해석될 수도 있을 것이다.

다. Pull-Out Strength 시험에 대한 고찰

초기 디자인의 스크류에 대한 연구를 한 많은 연구자들은 Pull-Out Strength와 삽입 토크는 상관관계가 있다고 주장하고 있지만 아직 삽입 토크와 Pull-Out Strength와의 연관성에 대해서는 의견이 분분하다. Inceoglu 등(2004)은 삽입 토크와 Pull-Out Strength는 유의한 상관관계가 없다고 하였으며, 점차로 좁아지는 flutes를 가지는 스크류에서 완전 삽입에 가까워질수록 골소주가 더 작은 부피 내로 압박을 받으며, trapezoidal thread도 또한 피질골과의 접촉을 높이고 골소주를 피질골 쪽으로 압박하기 때문에 마찰력이 높아져서 토크 값이 증가하지만, 토크 값의 증가가 Pull-Out Strength의 비례적인 증가로 나타나지는 않는다고 하였다. Reitman 등(2004)도 경추에 사용한 스크류에서 Pull-Out Strength는 골밀도와는 높은 상관관계를 나타내었지만, 삽입 토크와는 낮은 상관관계를 보여서 스크류의 성공과 실패는 스크류를 삽입할 때의 토크보다는 골의 질이 보다 중요하다고 하였다. Lawson과 Brems(2001)는 axial force를 증가시키려는 의도로 삽입 토크를 증가시키는 것이 스크류 구조물의 기계적 유지력을 감소시켜서 결국 구조적으로 약한 골융합을 초래할 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 각 Type 내에서 최대 삽입 토크 값과 Pull-Out Strength 사이에는 유의한 상관관계가 있었다. 그러나 그 상관계수가 최대 삽입 토크와 최

대 제거 토오크 사이의 상관계수보다는 낮았는데, 그 이유는 피질골 두께가 증가할수록 최대 삽입 토오크와 최대 제거 토오크는 점차적으로 증가한 반면에 Pull-Out Strength는 피질골 두께가 1.5 mm에서 2 mm로 증가할 때 감소하였기 때문이라 생각되어진다. 이는 두꺼운 피질골을 뚫으면서 스크류의 tip이나 나선에서 변형이 일어났을 가능성 또는 삽입 시 발생한 debris가 깨끗이 빠져나가지 못하고 flute나 나선 주위로 쌓여서 스크류와 골 사이의 긴밀한 접촉을 방해한 결과라 생각되어진다. 임상에서 mini-screw의 삽입 시 충분한 생리 식염수 관주하에 천천히 삽입하는 것이 삽입 시 열이 발생하는 것을 방지하는 목적도 있겠으나 삽입된 골편을 깨끗이 제거하여 골과 긴밀한 접촉을 이루도록 하는 목적도 있다고 하겠다.

교정 치료의 고정원으로 사용하는 mini-screw에 주로 가해지는 힘은 측방력이므로 수직적인 인장력에 대한 실험인 Pull-Out Strength Test는 교정용 mini-screw의 유지력을 평가하는 간접적인 방법으로 인식함이 옳을 것이라 생각된다.

총괄하면, 구동식 토오크와 인공골을 이용한 연구는 교정용 mini-screw의 역학 연구에 좋은 방법이 될 수 있다. 그러나 본 연구는 비록 인간의 골과 물리적 특성이 유사하다고 하더라도 인공골을 사용하였으므로 생리 식염수 관주하에 혈행이 있는 생활골에 mini-screw를 삽입 할 때의 토오크 값과는 분명한 차이가 있을 것이다. 또한 본 연구는 mini-screw의 역학적 특성에 의해 좌우되는 이차적 안정성만을 고려하였으므로 골유착의 개념을 포함하는 이차적 안정성과 외력에 대한 골의 생리적 반응에 대한 이해를 위해서 생체 연구가 더 필요할 것이다.

향후 인체에서 골의 손상을 최소로 하고, 골이 견디는 범위 내에서 교정력에 대한 고정원으로서 충분한 역할을 할 수 있는 적절한 토오크 값을 찾기 위한 연구가 이어져야 할 것이며, 교정용 mini-screw의 디자인은 그러한 적절한 토오크 값을 고려해서 만들어져야 한다고 생각된다. 또한 본 연구에서 고려하지 못한 mini-screw의 직경, 길이, pitch, flute 디자인, 나선의 모양 및 나선의 높이 등이 토오크 값의 변화에 어떻게 기여하는지에 대한 연구가 이어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 피질골의 두께를 다르게 설정한 인공골 시편에 피질골과의 접촉 부위에 서로 다른 구조물을 가진 세 종류의 drill-free 형태의 교정용 mini-screw(Type A; 순수한 cylindrical 형태, Type B; 내경이 증가하는 구간이 있는 부분적인 cylindrical 형태, Type C; cylindrical 형태와 taper 형태가 함께 있는 복합형)를 일정한 회전 속도와 수직력을 부여할 수 있는 구동식 토오크 시험기(Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea)를 이용한 삽입 및 제거 시의 연속적인 토오크 측정과 만능 시험기(Instron 3366, Instron Corp., Massachusetts, U. S. A.)를 이용한 Pull-Out Strength의 측정을 통해서 mini-screw의 역학적 특성을 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 피질골 두께에 따라서 최대 삽입 토오크(maximum insertion torque)나 최대 제거 토오크(maximum removal torque)의 값이 Type A는 거의 차이가 없는 반면, Type B와 Type C는 피질골 두께가 증가할수록 그 값이 커졌으며, 모든 피질골 두께에서 Type C > Type B > Type A의 순으로 최대 삽입 토오크 값이 크게 나타났다.

2. 모든 개체에서 토오크 소실(torque loss)이 있었으며, 모든 피질골 두께에서 Type A가 Type B나 Type C에 비해서 토오크 소실이 적고 제거 시간(removal time)이 길었고, 모든 피질골 두께에서 Type C의 제거 시간이 가장 짧았으며, Pull-Out Strength가 가장 작았다.

3. 각 Type 내에서 피질골 두께와 최대 삽입 토오크, 최대 제거 토오크, Pull-Out Strength는 통계적으로 유의한 상관관계가 있었으며, 최대 삽입 토오크와 최대 제거 토오크 또는 Pull-Out Strength 사이에도 통계적으로 유의한 상관관

계가 있었다.

본 연구를 통하여 taper 형태, 특히 외경 증가형 taper 형태가 토오크 값을 가장 많이 상승시키는 디자인이며, 피질골이 얇은 부위에는 taper 형태를, 피질골이 두꺼운 부위에는 cylindrical 형태의 mini-screw를 선택하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 또한 구동식 torque tester와 인공골을 이용한 연구는 교정용 mini-screw의 역학 연구에 좋은 방법이 될 수 있다.

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.
- 김종완, 장영일 : 고정원을 위한 micro-implant 매식 시 drilling 유무에 따른 안전성에 관한 연구. *대치교정지* 32(2): 107-115, 2002.
- 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.
- 박효상 : Micro-implant Anchorage(M.I.A)를 이용한 Sliding mechanics. *대치교정지* 30(6): 677-685, 2000.
- 박효상 : CT 이미지를 사용한 Micro-implants 식립을 위한 해부학적 연구. *대치교정지* 32(6): 435-441, 2002.
- 박효상 : 교정치료 고정원으로서 Microscrew implants의 성공률에 대한 임상적 연구. *대치교정지* 33(3): 151-156, 2003.
- 백철우 : 교정용 미니스크류(Miniscrew)의 디자인에 대한 삼차원 유한요소분석. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2003.
- 우순섭, 정순태, 허영성, 황경균, 유임학, 심광섭 : 구내고정원을 이용한 교정 치료 중 miniscrew 탈락에 관한 연구. *대구외지* 29: 102-107, 2003.
- 이종석 : 교정용 미니 임플란트의 초기 안정성에 대한 접촉 비선형 유한요소분석. 박사학위논문, 연세대학교 대학원 치의학과, 2004.
- 임중원, 김왕식, 김일규, 손충렬, 변효인 : 교정용 미니스크류 식립 시 스크류의 길

- 이, 직경 및 피질골 두께에 따른 응력 분포에 관한 3차원 유한요소법적 연구. *대치교정지* 33(1): 11-20, 2003.
- 정용구, 이영준, 정규림 : 성견의 하악골에 식립된 Minipate에 가한 조기 부하의 영향에 관한 실험적 연구. *대치교정지* 33(4): 307-317, 2003.
- 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.
- Bae SM, Park HS, Kyung HM, Kwon OW, Sung JH : Clinical application of micro implant anchorage. *J Clin Orthod* 36(5): 298-302, 2002.
- Berkowitz R, Njus G, Vrabec G : Pullout strength of self-tapping screws inserted to different depths. *J Orthop Trauma* 19(7): 462-465, 2005.
- Block MS, Hoffman DR : A new device for absolute anchorage for orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107(3): 251-258, 1995.
- 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.
- Byloff FK, Kärcher H, Clar E, Stoff F : An implant to eliminate anchorage loss during molar distalization : A case report involving the Graz implant-supported pendulum. *Int J Orthod Orthognath Surg* 15(2): 129-137, 2000.
- Carano A, Velo S, Incorvati C, Poggio P : Clinical applications of the Mini-Screw-Anchorage-System (M.A.S.) in the maxillary alveolar bone. *Prog Orthod* 5(2): 212-235, 2004.
- Carano A, Lonardo P, Velo S, Incorvati C : Mechanical properties of three different commercially available miniscrews for skeletal anchorage. *Prog Orthod* 6(1): 82-97, 2005a.
- Carano A, Velo S, Leone P, Siciliani G : Clinical applications of the Miniscrew Anchorage System. *J Clin Orthod* 39(1): 9-24, 2005b.
- 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.
- Chang YJ, Lee HS, Chun YS : Microscrew anchorage for molar intrusion. *J Clin Orthod* 38(6): 325–330, 2004.
- 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.
- Creekmore TD, Eklund MK : The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 17(4): 266–269, 1983.
- Daimaruya T, Nagasaka H, Umemori M, Sugawara J, Mitani H : The influences of molar intrusion on the inferior alveolar neurovascular bundle and root using the skeletal anchorage system in dogs. *Angle Orthod* 71(1): 60–70, 2001.
- Daimaruya T, Takahashi I, Nagasaka H, Umemori M, Sugawara J, Mitani H : Effects of maxillary molar intrusion on the nasal floor and tooth root using the skeletal anchorage system in dogs. *Angle Orthod* 73(2): 158–166, 2003.
- Deguchi T, Yamamoto T, Kanomi R, J. K. Hartsfield, Jr., Roberts WE, Garetto LP : The use of small titanium screws for orthodontic anchorage. *J Dent Res* 82(5): 377–381, 2003.
- Erverdi N, Keles A, Nanda R : The use of skeletal anchorage in open bite treatment : a cephalometric evaluation. *Angle Orthod* 74(3): 381–390, 2004.
- Fanuscu MI : Elastic modulus and hardness of cortical and cancellous bone

- measured by nanoindentation in maxilla and mandible. No. 1563, 32nd Annual Meeting and Exhibition of the AADR, 2003.
- Fanuscu MI, Dialani N : Anisotropic properties of maxillary and mandibular cortical and cancellous bone as measured by nanoindentation. No. 1702, 32nd Annual Meeting and Exhibition of the AADR, 2003.
- Ford CM, Keaveny TM : The dependence of shear failure properties of trabecular bone on apparent density and trabecular orientation. *J Biomechanics* 29(10): 1309-1317, 1996.
- Freudenthaler JW, Haas R, Hans-Peter Bantleon : Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible : a preliminary report on clinical applications. *Clin Oral Impl Res* 12: 358-363, 2001.
- Frost HM : From Wolff's Law to the Utah paradigm : Insights about bone physiology and its clinical applications. *Anat Rec* 262(4): 398-419, 2001.
- Frost HM : Bone's mechanostat : a 2003 update. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 275(2): 1081-1101, 2003.
- Frost HM : A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *Angle Orthod* 74(1): 3-15, 2004.
- Giancotti A, Muzzi F, Santini F, Arcuri C : Miniscrew treatment of ectopic mandibular molars. *J Clin Orthod* 37(7): 380-383, 2003.
- Hansson S, Werke M : The implant thread as a retention element in cortical bone : the effect of thread size and thread profile : a finite element study. *J Biomech* 36: 1247-1258, 2003.
- 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.
- Inceoglu S, Ferrara L, McLain RF : Pedicle screw fixation strength : pullout versus insertional torque. *Spine J* 4(5): 513-518, 2004.
- Kanomi R : Mini-Implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31(11): 763-767, 1997.
- 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 Implantology* 23(4): 163-169, 1997.
- Kim JW, Ahn SJ, Chang YI : Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 128(2): 190-194, 2005.
- 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.
- Kyung SH, Choi JH, Park YC : Miniscrew anchorage used to protract lower second molars into first molar extraction sites. *J Clin Orthod* 37(10): 575-579, 2003.
- Kyung SH, Choi HW, Kim KH, Park YC : Bonding orthodontic attachments to miniscrew heads. *J Clin Orthod* 39(6): 348-353, 2005.

- Kyung SH, Hong SG, Park YC : Distalization of maxillary molars with a midpalatal miniscrew. *J Clin Orthod* 37(1): 22-26, 2003.
- 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.
- Lawson KJ, Brems J : Effect of insertion torque on bone screw pullout strength. *Orthopedics* 24(5): 451-454, 2001.
- Lee JS, Kim DH, Park YC, Kyung SH, Kim TK : The efficient use of midpalatal miniscrew implants. *Angle Orthod* 74(5): 711-714, 2004.
- Melsen B, Petersen JK, Costa A : Zygoma ligatures : An alternative form of maxillary anchorage. *J Clin Orthod* 32: 154-158, 1998.
- Ohmae M, Saito S, Morohashi T, Seki K, Qu H, Kanomi R, Yamasaki K, Okano T, Yamada S, Shibasaki Y: A clinical and historical evaluation of titanium mini-implants as anchors for orthodontic intrusion in the beagle dog. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 119(5): 489-497, 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.
- Paik CH, Woo YJ, Boyd RL : Treatment of an adult patient with vertical maxillary excess using miniscrew fixation. *J Clin Orthod* 37(8): 423-428, 2003.
- Park HS, Bae SM, Kyung HM, Sung JH : Micro-Implant Anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. *J Clin Orthod* 35(7): 417-422, 2001.
- Park HS, Kwon TG, Kwon OW : Treatment of open bite with microscrew implant anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 126(5): 627-636, 2004.
- Park HS, Kwon TG, Sung JH : Nonextraction treatment with microscrew

- implants. *Angle Orthod* 74(4): 539-549, 2004.
- Park HS, Kwon TG : Sliding mechanics with microscrew implant anchorage. *Angle Orthod* 74(5): 703-710, 2004.
- Park HS, Kwon OW, Sung JH : Microscrew implant anchorage sliding mechanics. *World J Orthod* 6(3): 265-274, 2005.
- Park HS, Lee SK, Kwon OW : Group distal movement of teeth using microscrew implant anchorage. *Angle Orthod* 75(4): 602-609, 2005.
- Park YC, Chu JH, Choi YJ, Choi NC : Extraction space closure with vacuum-formed splints and miniscrew anchorage. *J Clin Orthod* 39(2): 76-79, 2005.
- Radhakrishnan P, Mao JJ : Nanomechanical properties of facial sutures and sutural mineralization front. *J Dent Res* 83(6): 470-475, 2004.
- Reitman CA, Nguyen L, Fogel GR : Biomechanical evaluation of relationship of screw pullout strength, insertional torque, and bone mineral density in cervical spine. *J Spinal Disord Tech* 17(4): 306-311, 2004.
- Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM : Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement. A systematic literature review. *Angle Orthod* 73(1): 86-92, 2003.
- Rho JY, Tsui TY, Pharr GM : Elastic properties of human cortical and trabecular lamellar bone measured by nanoindentation. *Biomaterials* 18(20): 1325-1330, 1997.
- Roth A, Yildirim M, Diedrich P : Forced eruption with microscrew anchorage for preprosthetic leveling of the gingival margin. *J Orofac Orthop* 65(6): 513-519, 2004.
- Sanden B, Olerud C, Petren-Mallmin M, Johansson C, Larsson S : The significance of radiolucent zones surrounding pedicle screws. Definition of screw loosening in spinal instrumentation. *J Bone Joint Surg British volume* 86(3): 457-461, 2004.
- Schmid MR, Schiel HJ, Lambrecht JT : Torque of endosseous dental screw

- type implants. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 112(8): 804-813, 2002.
- 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.
- Smith DE, Zarb GA : Criteria for success of osseointegrated endosseous implants. *J Prosthetic Dentistry* 62(5): 567-572, 1989.
- Sugawara J, Baik UB, Umemori M, Takahashi I, Nagasaka H, Kawamura H, Mitani H : Treatment and posttreatment dentoalveolar changes following intrusion of mandibular molars with application of a skeletal anchorage system (SAS) for open bite correction. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 17(4): 243-253, 2002.
- Sugawara J, Daimaruya T, Umemori M, Nagasaka H, Takahashi I, Kawamura H, Mitani H : Distal movement of mandibular molars in adult patients with the skeletal anchorage system. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 125(2): 130-138, 2004.
- Szmukler-Moncler S, Perrin D, Ahossi U, Magnin G, & Bernard JP : Biological properties of acid etched titanium implants : effect of sandblasting on bone anchorage. *Biomed Mater Res B Appl Biomater* 68(2): 149-159, 2004.
- Umemori M, Sugawara J, Mitani H, Nagasaka H, Kawamura H : Skeletal anchorage system for open-bite correction. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 115(2): 166-174, 1999.
- 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.
- You ZH, Bell WH, Schneiderman ED, Ashman RB : Biomechanical properties of small bone screws. *J Oral Maxillofac Surg* 52: 1293-1302, 1994.
- Zhang QH, Tan SH, Chou SMI : Investigation of fixation screw pull-out strength on human spine. *J Biomech* 37(4): 479-485, 2004.

Abstract

Mechanical properties of orthodontic mini-screws having different screw designs according to artificial cortical bone thickness

Young-Youn Song

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 have been used frequently for anchorage control which plays an important role in determining orthodontic treatment results. Yet, studies regarding the mechanical properties of mini-screws and the element factors influencing stability are rare.

The purpose of this study was to evaluate the mechanical properties of mini-screws through continuous measuring of torque during inserting and removing with driving torque tester(Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea) and testing of Pull-Out Strength with universal testing machine(Instron 3366, Instron Corp., Massachusetts, U. S. A.) using experimental bone blocks having different cortical bone thickness. The driving torque tester is capable of rotating at a constant velocity under the constant vertical force. Three types of commercially available drill-free type mini-screws(Type A; pure cylindrical type, Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea, Type B; partial cylindrical type, Jeil Medical Corp., Seoul, Korea, Type C; combination type of cylindrical and taper type, Ortholution, Seoul, Korea), having different screw designs in contact area with cortical bone, were used in this study.

The obtained results were as follows:

1. There was a little effect of cortical bone thickness on maximum insertion torque or maximum removal torque in Type A mini-screws. But in Type B and C, maximum insertion torque and maximum removal torque increased as cortical bone thickness increased. Maximum insertion torque of Type C was highest in all situation, and then Type B, Type A in order.

2. Torque loss existed in all individuals. Type A mini-screws showed lower torque loss and longer removal time than Type B or C, and Type C mini-screws showed shorter removal time and lower Pull-Out Strength than Type A or B in all situations.

3. There were statistically significant interrelations between cortical bone thickness and maximum insertion torque, maximum removal torque, and Pull-Out Strength in each type of mini-screws.

According to our experiment, the taper type mini-screw, especially gradually increasing thread diameter type, showed the highest torque value. It was advisable to choose the taper type mini-screws in thin cortical bone area and the cylindrical type in thick cortical bone area. And the study using the driving torque tester and experimental bone blocks can be one of the most useful methods in the study to evaluate the mechanical properties of orthodontic mini-screws.

Key words : orthodontic mini-screw, driving torque tester, cortical bone thickness, maximum insertion torque, maximum removal torque, Pull-Out Strength