

성견에서 표면처리된 교정용 마이크로임플란트의 골 접촉률 및 동요도

박승현^a · 김성훈^b · 류준하^c · 강윤구^d · 정규림^e · 국윤아^f

본 연구는 비글견에 식립된 sandblasted, large grit and acid-etched (SLA) 표면처리된 교정용 마이크로임플란트와 평활면 마이크로임플란트에 교정력을 가한 후 시간 경과에 따른 동요도와 골접촉률의 차이를 규명하기 위해 시행되었다. 비글 성견 네 마리를 이용하여 상, 하악 협측과 구개측 골에 대해 SLA 표면처리된 표면처리군 48개, 평활면의 비처리군 48개의 마이크로임플란트 96개를 식립하고 2주의 치유기간 후 교정력(150 - 200 g)을 지속적으로 가했으며 식립 4주 후에 두 마리를 희생시키고, 12주 후에 나머지 2마리를 희생시켰다. 표면처리군과 비처리군 간의 마이크로임플란트의 동요도와 골과 임플란트 간 접촉률을 조직학적인 측면에서 측정 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 상악 협측과 구개측에서는 표면처리군과 비처리군의 동요도에서 유의성 있는 차이가 없었으나 하악협측에서는 표면처리군이 유의하게 안정적인 동요도를 보였다. 마이크로임플란트와 인접골 간 접촉률은 상악 협측에서는 4주와 12주 모두 표면처리군과 비처리군 간에 유의한 차이가 없었으나 하악 협측과 구개측의 경우 4주와 12주 모두 표면처리군이 비처리군에 비해 유의하게 높은 접촉률을 보였다. 표면처리군은 비처리군에 비해 임플란트 주변에서 활발한 골개조가 관찰되었으며 모든 군에서 이물반응은 관찰되지 않았다. 본 연구를 통해 SLA 표면처리된 마이크로임플란트는 평활면 마이크로임플란트에 비하여 식립 초기에는 식립 부위에 따라 유의하게 높은 인접골 간 접촉률과 동요도의 안정성을 보임으로써 다양한 크기와 방향의 교정력의 적용이 가능할 것이라 생각한다. (대치교정지 2008;38(6):416-426)

주요 단어: 마이크로임플란트, 접촉률, 동요도, 골유착능

서론

교정치료에서 적절한 고정원의 조절은 교정 장치의 선택과 적용에서 중요한 요소인데, 치아 또는 구강 외에서 고정원을 얻는 경우 고정원의 소실, 교정력의 이동방향과 범위의 제한성, 비침미성 및 환자 협조도 의존성 등의 문제점이 제기되어 왔다. 이러한 한계점을 극복하고 다양한 형태의 치아이동을 쉽게 얻기 위하여 끝내에서 고정원을 얻어내는 다양한 방식이 개발되었다. 결손된 치아부위에 사용

되는 골유착성 보철용 임플란트를 이용한 치아이동 방법을 보고한 이래,¹ 교정용 마이크로임플란트의 유용성이 임상증례를 통해 보고되었으며,^{2,4} 식립 및 제거가 용이하고 크기가 작아 불편감이 작고 구강 내 위치 선정이 쉽고 저렴하여 많이 사용되고 있다.

보철용 임플란트에서는 sandblasted, large grit and acid etched (SLA) 표면처리된 임플란트가 골과의 결합력이 높다고 연구되어서 주로 사용되고 있다.^{5,7} Abrahamsson 등의 연구에서도 SLA 표면 처리된 임플란트가 기계적 표면의 임플란트보다 골유착의 비율과 정도에서 더 우수하다고 보고하였다.⁸ 반면 원하는 치아이동이 끝난 후에는 제거해야 하며, 가해지는 힘이 보철용보다는 상대적으로 적은 교정용 마이크로임플란트에서는 표면처리가 되지 않은 평활면 임플란트를 주로 사용하고 있다.

그러나, 최근 교정용 마이크로임플란트는 탈락이나 다양한 방향으로 가해지는 힘에 대한 저항에 한계가 있는 경우가 있어 다양한 형상에 따른 식립 토

^a대학원생, ^b조교수, ^c전공의, ^d전 임상강사, ^e자문교수, ^f부교수, 가톨릭대학교 임상치과대학원 교정과.

교신저자: 국윤아.

서울시 서초구 반포동 505 가톨릭대학교 강남성모병원 치과교정과.

02-590-1999; e-mail, Kook2002@catholic.ac.kr.

원고접수일: 2008년 7월 14일 / 원고최종수정일: 2008년 10월 21일 /

원고채택일: 2008년 10월 25일.

DOI: 10.4041/kjod.2008.38.6.416

오크의 비교, 다양한 피질골 두께에 따른 비교 연구 등이 보고되었다.^{9,10} 이러한 문제를 보완하기 위하여 Umemori 등¹¹은 플레이트를 여러 개의 마이크로 임플란트로 고정하여 개방교합을 치료한 사례를 제시하였다. Kyung 등¹²은 두 개의 마이크로 임플란트를 연결하여 힘을 분산시키거나 회전력에 저항하도록 하였다. 마이크로 임플란트가 보철용 임플란트처럼 골유착능이 우수하다면 최소한의 개수만으로도 기계적 안정성 및 회전력과 같은 다양한 교정력에 대한 저항성을 확보할 수 있을 것이다.

교정력의 증시와 지연 적용군 간에 비교연구를 시행했던, 비글 성견을 이용한 Cho¹³와 가토를 이용한 Sun 등¹⁴은 표면처리하지 않은 교정용 마이크로 임플란트에서도 골유착이 나타난다고 보고하였다. Chung 등¹⁵은 SLA 표면처리되어 골유착능을 향상시킨 마이크로 임플란트 시스템을 소개하였고, Oh 등¹⁶은 가토를 이용한 마이크로 임플란트의 제거에 관한 기계역학적 연구를 통해 SLA 표면처리된 마이크로 임플란트가 평활면 임플란트보다 제거회전력이 유의성 있게 높으며 이런 현상은 표면처리에 따른 임플란트의 골유착능의 차이때문일 것이라고 평가하였다. 하지만, 골-임플란트 접촉률에 대한 많은 연구가 이루어진 보철용 임플란트에 비하여 임상 적용이 광범위하게 이루어지고 있는 SLA 교정용 마이크로 임플란트와 평활면 임플란트와의 골-임플란트 접촉률이나 동요도 측정 등을 통한 비교 연구는 아직 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구의 목적은 SLA 표면처리된 마이크로 임플란트와 평활면 마이크로 임플란트에 교정력을 가한 후 시간 경과에 따른 동요도를 평가하고, 골-마이크로 임플란트 접촉률의 측정 비교를 통해 표면처리가 마이크로 임플란트의 골유착능에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

연구방법

실험동물과 실험재료

실험동물은 건강한 치주조직을 가진 웅성 성견 비글 4마리를 사용하였으며, 평균 체중은 13 kg이고, 평균 연령은 15개월이었다. 이들의 구입, 선택, 관리, 실험 등의 모든 제반 사항은 가톨릭대학교 강남성모병원 실험동물 위원회(IRB)의 심의를 거쳤다.

식립된 교정용 마이크로 임플란트는 총 96개로 직경 1.8 mm, 길이 9.5 mm의 C-Implant (CIMPLANT, Seoul, Korea)였으며, 이 중 SLA 표면처리한 군과, 평활면으로 된 군으로 각각 48개씩이 사용되었다 (Fig 1). C-Implant는 상부 head part와 하부 screw part로 구성되며 하부 screw part가 골내로 식립된 후에 head part를 가볍게 malleting하여 하부 screw part에 끼워 넣는 기계적인 접합을 이루게 되어있다.

식립된 마이크로 임플란트(C-Implant)의 표면처리 여부에 따라 SLA 표면처리된 임플란트를 표면처리

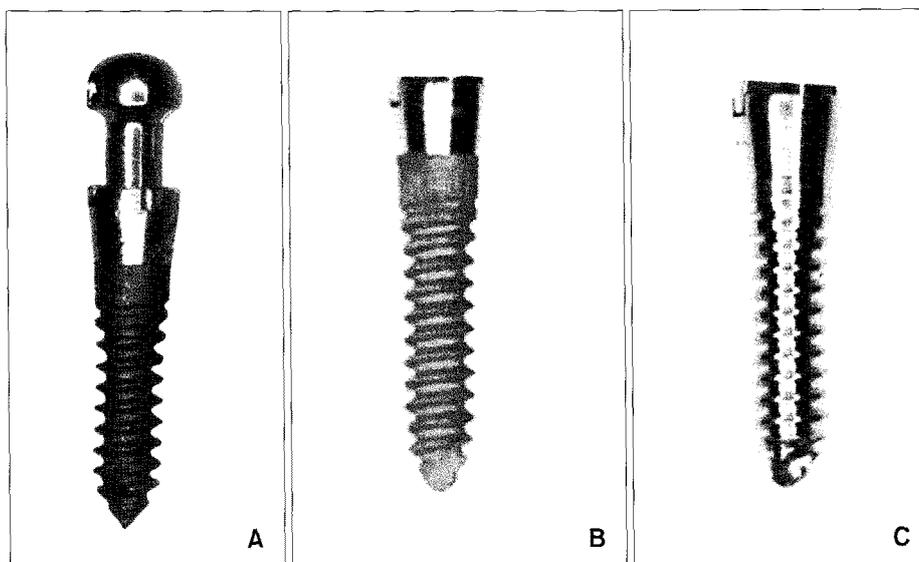


Fig 1. C-Implant components. A, C-Implant; B, surface-treated screw part; C, machined-surface screw part.

군(S군: surface treated group)으로, 표면처리를 하지 않은 평활면의 임플란트를 비처리군(M군: machined group)으로 하였다. 표면처리군의 경우 스크류 부분 9.5 mm 길이 중 상부 2 mm는 평활면으로 되어있고 하부 7.5 mm에 표면처리가 되어있어 골내에는 표면처리된 부분만 식립하였고, 비처리군에서는 하부 7.5 mm에 표면처리하지 않은 기계적 표면으로서 역시 7.5 mm만 골내에 식립하였다. 또한 마이크로 임플란트 식립 후 4주에 희생시킨 군과 12주 후에 희생시킨 군으로 분류하였다. 식립 부위는 실험동물의 좌측에는 비처리군을 식립하였고, 우측에는 표면처리군을 식립하였다. 각 군별로 하악 협측에 4개, 상악 협측과 구개 쪽에 각각 4개씩 식립하였다.

실험 방법

실험동물에 대한 술 전 처치로 atropine 0.05 mg/kg 을 투여하였으며, 마취방법은 Rompun (2 mg/kg, Bayer Korea, Seoul, Korea)과 Ketamine (10 mg/kg, Yuhon, Seoul, Korea)을 근육내 주사하였다. 실험동물의 마취가 풀리는 모습을 보이면 처음 주입량의 1/2 를 다시 근육내 주사하였다. 마이크로임플란트 식립 부위는 소독 후에 1 : 100,000의 epinephrine을 함유한 2% 리도케인 HCl (Nurocain Dentsply, NewYork, NY, USA)을 사용하여 침윤마취를 하였다. 발생하는 열을 최소화하기 위하여 생리식염수로 냉각시키면서 저속 핸드피스를 사용하여 1.5 mm 직경의 가이드드릴로 피질골층만을 관통시켰다. 핸드드라이버(CIMPLANT, Seoul, Korea)로 C-Implant의 screw part를 골내에 식립하였다. 식립 후 감염방지를 위

해 1주일간 항생제를 투여하였고(1일 1회 10 kg당 amoxicillin 1 ml), 3일간 비스테로이드성 소염제를 투여하였다(1일 1회 10 kg당 meloxicam 0.2 ml). 실험종료 시까지 1일 1회 구강내 클로헥신 가글(Chlohexine gargle, Daewoong, Seoul, Korea)을 1 : 10 희석액으로 사용하여 구강세척을 하였다.

마이크로임플란트 식립 2주 후 head part를 연결 하면서 교정용 금속 결찰선과 NiTi closed coil spring (Jeil Medical, Seoul, Korea)을 이용하여 150 - 200 gm의 힘을 적용시켰다 (Fig 2). 실험 중에 임플란트가 탈락하거나 심한 동요도를 보이는 경우에는 그 임플란트는 제거하고 인접위치에 새로 식립하여 기존의 임플란트와 스프링을 연결하여 계속적으로 하중이 가해지도록 하였다. 나중에 새로 식립한 임플란트는 동요도 검사와 조직표본에서 제외하였다.

골 개조 양상을 관찰하기 위해서 fluorescent bone labeling을 적용하였다. Marker로는 oxytetracycline과 calcein green 그리고 alizarin red를 사용하였으며 각각 10 mg/kg으로 정맥 주사하였다. 각 marker는 3 ml의 saline에 용해한 후 pH를 7.4로 적정하였으며 0.44마이크로미터의 disc filter에 통과하여 sterilize하였다. 12주 희생군은 식립 3일 후에 1차 oxytetracycline, 4주 후에 calcein green, 8주 후에 2차 oxytetracycline, 희생 3일 전에 alizarin red를 적용하였다. 4주 희생군은 식립 3일 후에 oxytetracycline, 희생 3일 전에 alizarin red를 적용하였다.

전체 실험은 4주와 12주로 진행되었으며, 식립된 마이크로임플란트의 안정성을 평가하기 위하여 희생 시 Periotest (Periotest Classic, Medizintechnik Gulden, Bensheim, Germany)를 이용하여 동요도를 측정

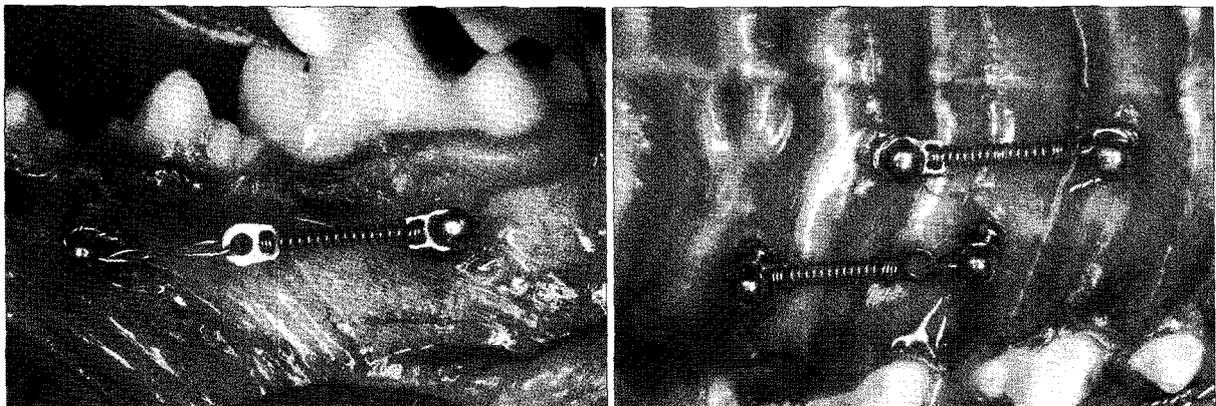


Fig 2. Application of force (150 - 200 g) by NiTi coil spring after 2 weeks of surgery in the buccal area (left), and in the palatal area (right).

하였으며, 조직을 채취한 후 비탈회 표본을 만들어서 골 접촉률을 계산하였다.

조직학 표본 제작과 관찰

실험 기간이 지난 후에 실험동물을 희생시킨 후 마이크로임플란트가 포함된 조직을 채취하고 포름알데하이드에 일주일 고정하고 이후 70% 에탄올에 1개월간 고정하여 조직학 표본을 만들 준비를 하였다.

표본을 70 - 100%의 점진적 고농도의 알코올을 이용하여 2일 동안 탈수시킨 후 alcohol : Technovit7200 (Exakt GmbH, Norderstedt, Germany)를 3 : 1, 1 : 1, 1 : 3의 농도로 각 단계별로 2주씩 6주간 침투시켰으며 이후 다시 Technovit7200으로 4주간 침투시킨 후 동일 시약으로 광중합기를 이용하여 포매시켰다. 포매된 블록은 2주간 42°C 항온기에서 경화시켰다. 레진 포매된 블록을 M310 Diamond band micro-cutting machine (Exakt GmbH, Norderstedt, Germany)을 사용하여 300 μ m의 두께로 절단하고, 연마기인 410 microgrinding machine (Exakt GmbH, Norderstedt, Germany)으로 연마하여 40 - 50 μ m 두께의 비탈회 표본을 제작하였다.

마이크로임플란트가 어느 정도 골과 접촉하고 있는지를 평가하기 위해서 선택된 나사산의 전체길이와 그 중 마이크로임플란트 표면과 골의 접촉이 이루어지는 접촉면 길이의 백분율을 구하여 골 접촉률을 계산하였다. 이를 위해서 광학현미경(Bx-51 research microscope, Olympus, Tokyo, Japan)과 Kappa Dx30c (Kappa Optoelectronics, Gleichen, Germany) 디지털 카메라로 표본을 촬영한 소견을 영상 분석 소프트웨어(Kappa ImageBase-Metreo, Kappa Optoelectronics, Gleichen, Germany)를 이용해서 측정 및 분석을 하였다. 투여된 형광물질의 골내 침착양상을 관찰하기 위하여 형광현미경(BHS-2, Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

통계분석

Periotest를 이용한 동요도 검사에 대한 통계분석은 표면처리군과 비처리군, 4주와 12주, 그리고 식립 부위의 차이를 알아보기 위해 다변량 분산분석(ANOVA)과 unpaired *t*-test를 하였으며 Bonferroni correction을 시행하였다.

조직학적 관찰 결과인 골 접촉률의 차이를 평가

하기 위한 통계분석은 다변량 분산분석(ANOVA)을 시행하여 표면처리군과 비처리군, 4주와 12주 그리고 식립 부위의 차이를 알아보았다.

연구성적

탈락 및 제외

식립된 96개의 마이크로임플란트 중 동요도가 심해서 탈락된 것은 6개였으며, 이 중 1개는 교정력을 적용시키고자 스프링을 건 헤드부분을 스크류 부분에 결합 시 과도한 힘에 의해 구개측의 골조직의 파손으로 인한 탈락이었다. 탈락되지는 않았으나 Periotest에 의한 동요도 측정치가 나오지 않은 것이 5개 있었으며, 이는 전부 구개측 부위에 식립했던 것이다. 또한 조직표본 제작 중 7개의 샘플이 손상되어 골접촉률 측정이 불가능하게 되었다. 이외에 동요도와 상관없이 스프링을 걸었던 헤드부분 4개(구개측 3개, 하악협측 1개)가 스크류로부터 분리되어 탈락되었고, 그 결과 함께 힘을 적용시켰던 상대측 마이크로임플란트까지 포함하여 8개가 제외되었다. 따라서 동요도 분석대상의 개체 수는 77개, 골 접촉률 분석대상의 개체 수는 75개로 차이가 생겼다 (Tables 1 and 2).

동요도 측정

Periotest를 사용한 동요도 측정에서는 먼저 표면처리군과 비처리군을 표면처리 요인, 4주 희생군과 12주 희생군을 시간 요인 그리고 상악협측과 하악협측, 구개측의 식립 부위의 차이를 위치 요인으로 놓고 위의 세 가지 요인을 동시에 고려한 삼원배치 분산분석결과 시간 요인의 효과가 유의하지 않았다. 따라서 시간 요인을 제외한 표면처리 요인과 위치 요인의 두 가지 요인을 동시에 고려한 이원배치 분산분석결과 표면처리 요인과 위치 요인 간에도 교호작용이 있어서, unpaired *t*-test를 통하여 각각의 위치 내에서 표면처리군과 비처리군의 차이를 분석하였다. 동요도는 상악 협측과 구개부 모두 표면처리군과 비처리군 간에 유의성 있는 차이가 없었다. 그러나 하악 협측에서 표면처리군은 6.6 ± 4.7 을 보인 반면, 비처리군에서는 13.0 ± 7.6 을 나타내 표면처리군이 유의한 차이로 안정적 동요도를 보였다 (Table 1).

Table 1. Comparison of mobility (Periotest value) between surface treated and machined micro-implants

Site	Micro-implant type (Ns/Nm)	Surface treated	Machined	Significance
Upper buccal	4 Wk (6/8)	8.0 ± 2.6	9.3 ± 3.5	NS
	12 Wk (8/8)	11.6 ± 5.7	10.0 ± 5.1	
	Total	10.1 ± 4.8	9.6 ± 4.2	
Lower buccal	4 Wk (6/8)	4.5 ± 1.1	15.5 ± 8.4	*
	12 Wk (8/7)	8.1 ± 5.8	10.1 ± 5.9	
	Total	6.6 ± 4.7	13.0 ± 7.6	
Palatal	4 Wk (5/5)	24.8 ± 2.8	26.6 ± 2.0	NS
	12 Wk (3/5)	22.3 ± 5.5	24.6 ± 4.4	
	Total	23.9 ± 3.8	25.6 ± 3.4	

Wk, weeks; Ns, number of surface treated micro-implants; Nm, number of machined micro-implants, NS; not significant, * $p < 0.05$.

Table 2. Comparison of bone-implant contact ratio (%) between surface treated and machined micro-implants

Site	Micro-implant type (Ns/Nm)	Surface treated	Machined	Significance
Upper buccal	4 Wk (6/7)	46.2 ± 18.2	37.8 ± 22.9	NS
	12 Wk (8/5)	45.9 ± 24.5	44.1 ± 21.2	NS
Lower buccal	4 Wk (6/7)	72.6 ± 9.4	47.9 ± 26.1	*
	12 Wk (8/7)	70.3 ± 23.5	48.2 ± 26.4	*
Palatal	4 Wk (6/5)	41.7 ± 8.3	17.9 ± 17.5	*
	12 Wk (4/6)	52.7 ± 16.0	27.0 ± 11.9	*

Wk, weeks; Ns, number of surface treated micro-implants; Nm, number of machined micro-implant, NS; not significant, * $p < 0.05$.

조직학적 관찰

골 접촉률과 광학현미경 관찰 소견

비치리군과 표면처리군 모두 4주에서 이미 골조직이 인접 치밀골과 유사한 정도의 성숙골로 이루어짐을 확인할 수 있었다 (Figs 3A, 4A, and C). 골 접촉률(Bone-implant contact, BIC)은 비치리군에서는 4주의 경우 상악 협측에서 37.8 ± 22.9%, 구개부에서 17.9 ± 17.5%, 하악 협측에서 47.9 ± 26.1%였으며, 12주의 경우 상악 협측에서 44.1 ± 21.2%, 구개부에서 27.0 ± 11.9%, 하악 협측에서 48.2 ± 26.4%를 보였다 (Table 2). 표면처리군에서는 4주의 경우 상악 협측에서 46.2 ± 18.2%, 구개부에서 41.7 ± 8.3%, 하악 협측에서 72.6 ± 9.4%였으며, 12주의 경우 상악 협측에서 45.9 ± 24.5%, 구개부에서 52.7 ± 16.0% 하악 협측에서 70.3 ± 23.5%의 골 접촉을 나타내었다 (Table 2).

마이크로임플란트와 골의 접촉률은 4주 희생군과 12주 희생군에서 시간 요인의 효과에는 유의성 있는 차이가 없었다. 그리고 상악 협측에서는 4주 표면처리군과 12주 표면처리군 모두 비치리군과 유의한 차이가 없었다. 그러나 하악 협측에서는 4주 표면처리군이 72.6 ± 9.4%, 12주 표면처리군이 70.3 ± 23.5%로 비치리군 47.9 ± 26.1%와 48.2 ± 26.4%보다 유의성 있게 높았다. 또한 구개부에서도 4주 표면처리군이 41.7 ± 8.3%, 12주 표면처리군이 52.7 ± 16.0%로 비치리군 17.9 ± 17.5%와 27.0 ± 11.9%보다 유의성 있게 높았다 (Table 2).

형광 현미경 관찰 소견

치밀골 부위에서 마이크로임플란트에 인접한 신생골 부위는 주위의 기존 골조직에 비하여 다수의

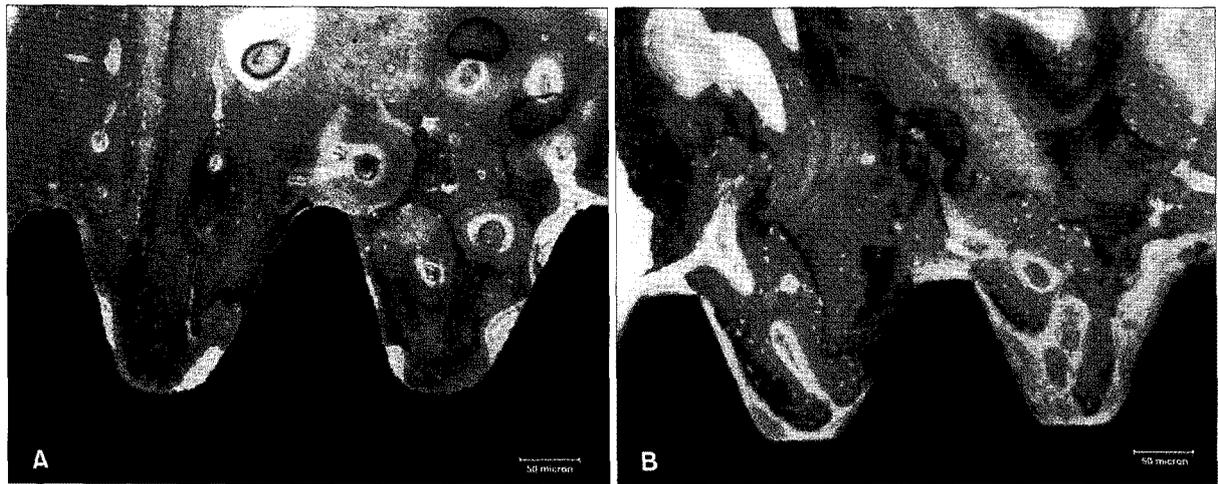


Fig 3. Photomicrograph of the machined surface micro-implant in the 4-week group (A) and 12-week group (B).

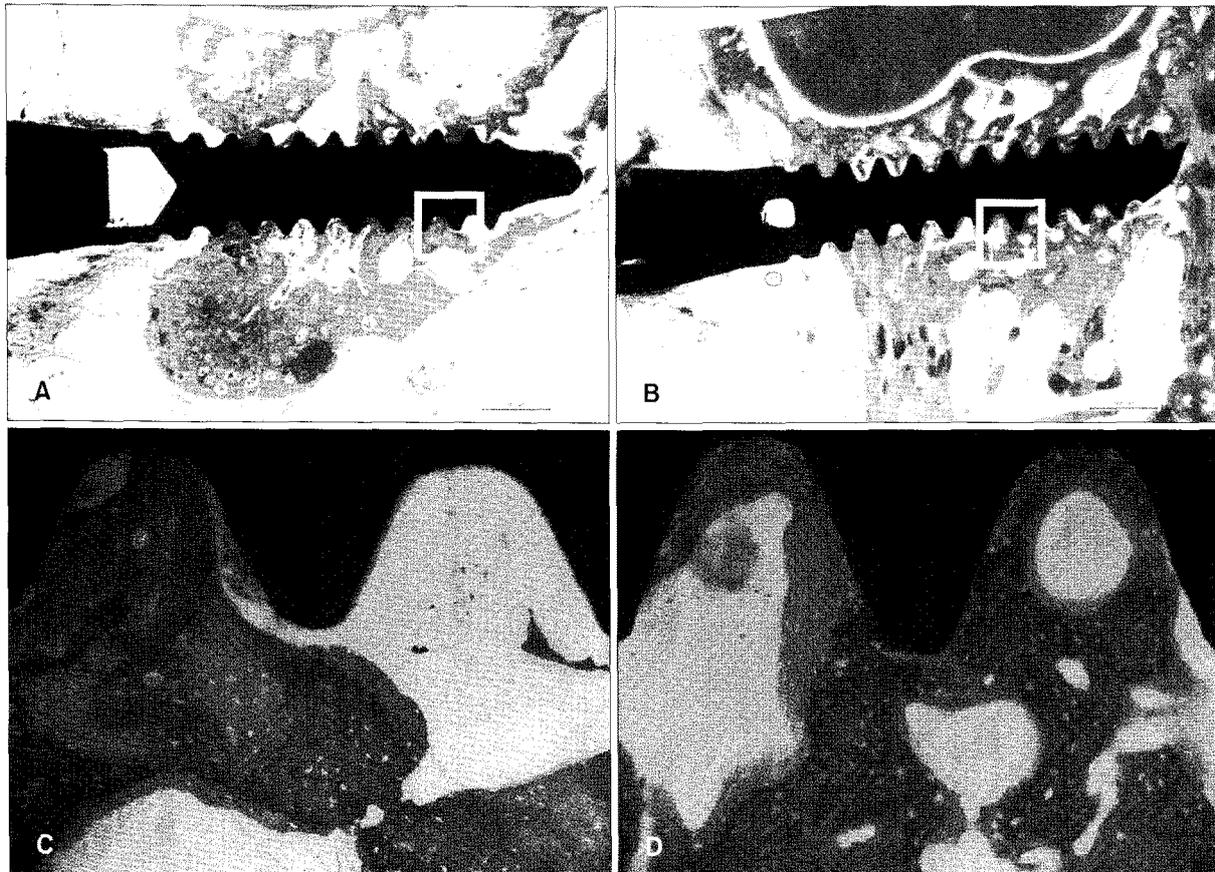


Fig 4. Photomicrograph of the surface treated micro-implant in the 4-week group (A, C) and 12-week group (B, D).

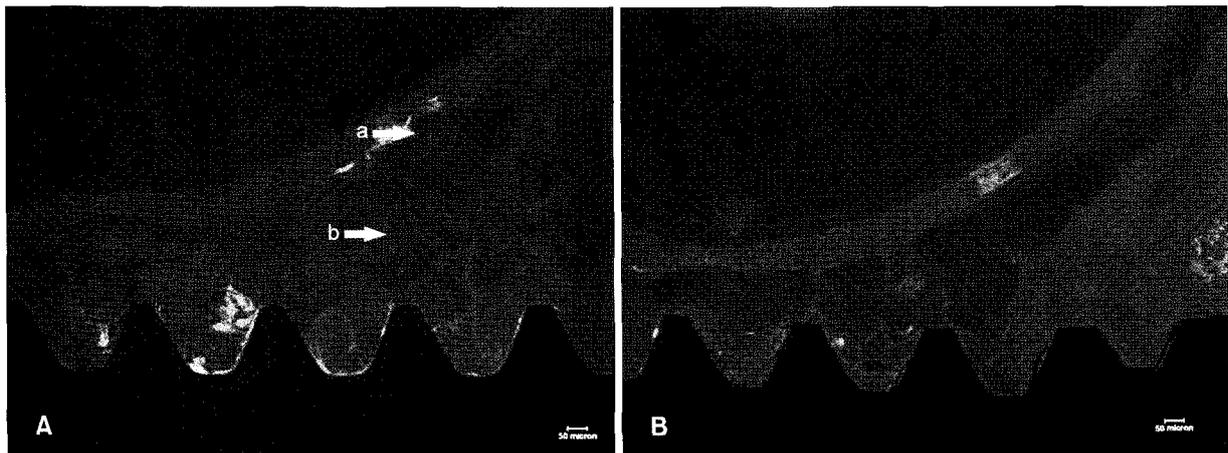


Fig 5. A, Fluorescence microscope image of the surface treated micro-implant in the 4-week group. a, First osteon; b, second osteon. **B,** Fluorescence microscope image of the machined micro-implant surface screw in the 4-week group.

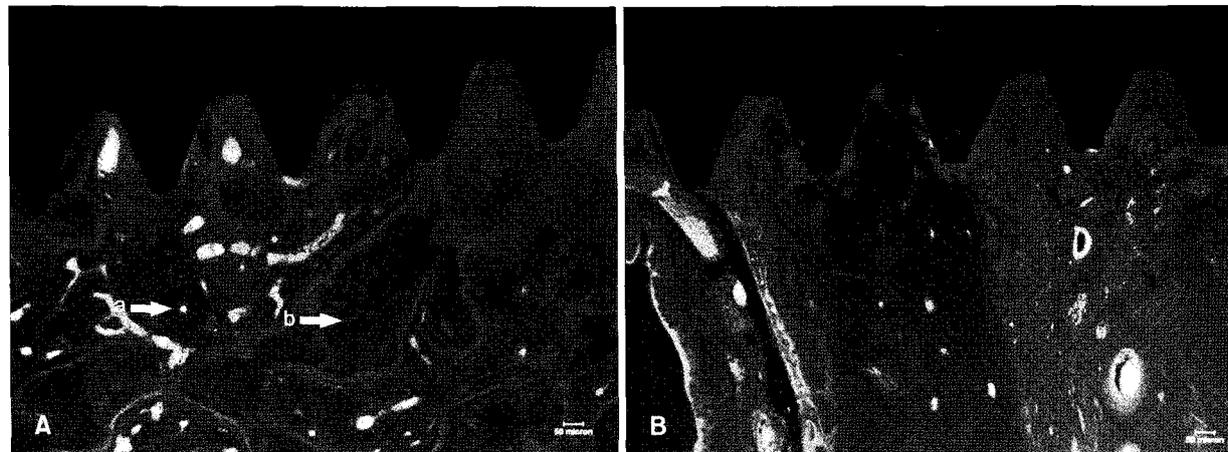


Fig 6. A, Fluorescence microscope image of the surface treated micro-implant in the 12-week group. a, First osteon; b, second osteon; **B,** Fluorescence microscope image of the machined micro-implant in the 12-week group.

동심원상의 골원 구조와 다양한 형태의 골개조 소견이 관찰되었으며, 인장측과 압박측 간의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 골-임플란트 계면에 인접한 신생골 조직에서는 계면을 따라 평행하게 배열된 녹, 적색의 형광 밴드가 관찰되거나 동심원을 이루는 형광 밴드로 구성된 1차 골원 구조도 관찰되었다 (Figs 5 and 6). 신생골과 기존 골과의 경계에서는 기존의 동심원상 1차 골원을 파괴하고 다시 형성된 동심원 구조인 2차 골원 구조가 나타나 골개조(interface remodeling)의 소견이 확인되었다 (Figs 5 and 6). 형광 염색제를 투여한 시기를 고려해 볼 때 마이크로임플란트 계면에서의 신생골은 임플란트 식립 후 4주 경과 이전에 형성된 것과 8주 이후

에 형성된 것이 혼재되었으며, 비처리군에 비해 표면처리군에서 마이크로임플란트 식립 이후 활발한 골개조가 임플란트 주변에서 지속적으로 이루어진 것을 알 수 있었다.

고찰

다양한 방식으로 표면처리된 보철용 임플란트에 비해 교정영역에서의 마이크로임플란트는 self drilling 방식을 가진 평활면의 임플란트가 주로 사용되고 있다. 이전의 연구에서 교정용 마이크로임플란트는 주로 기계적인 유지력에 의해 유지되며 골유착은 반드시 필요하지 않고 기계적인 유지만으로도

교정치료 영역에서 충분히 역할을 할 수 있다는 보고가 있었다.^{12,17} 하지만 마이크로임플란트를 이용해 보다 강한 유지력을 얻기 위한 노력들이 임상가와 연구자들 사이에서 지속적으로 진행되어왔다. 마이크로임플란트의 디자인, 직경, 혹은 식립 각도의 변화에 의해 유지력을 높이기 위한 연구들이 지속되었는데, Yoon 등¹⁸은 충분한 길이의 미니 스크류를 식립하면 안정적이라는 연구결과를 보고하였고, Lim 등¹⁹은 교정용 미니스크류의 유지력은 길이보다는 직경과 밀접한 상관관계가 있어 직경이 클수록 유지력이 증가한다고 보고하였다. 또한 Huja 등²⁰은 피질골의 두께가 두꺼울수록 더 높은 제거 저항력(pull-out strength)을 나타낸다고 하였다. 또한 성견을 이용한 연구에서 교정력의 즉시 적용군과 지연 적용군 간에 비교연구를 시행했던 Cho는 표면처리하지 않은 평활면의 교정용 임플란트에서도 골유착이 나타난다고 주장하였다.¹³ 본 연구의 결과도 Cho¹³의 결과와 마찬가지로 표면처리한 군과 하지 않은 군 모두에서 골유착이 관찰되었다.

그리고 Kim 등²¹은 최대고정원이 필요한 교정환자들의 상악 구치부 치근간 공간에 식립 후 전치부 견인을 위한 독립적인 교정장치로 사용된 SLA 표면처리된 교정용 마이크로임플란트가 교정치료 후에 전부 안전하게 제거되었으며, 골과의 결합력이 너무 강해져서 파절 등의 부작용의 위험성을 방지하기 위하여 치료 후에 교정력을 가하지 않은 상태로 6개월 이상을 방지하지 말 것을 권장했다. 보다 강한 유지력을 찾는 다양한 노력과 임상에서 SLA 표면처리된 교정용 마이크로임플란트가 안전하게 제거될 수 있음을 보여주고 있는 현 시점에서 표면처리된 교정용 마이크로 임플란트와 평활면 임플란트와의 골-임플란트 접촉률이나 동요도 측정 등을 통한 비교 연구는 아직 광범위하게 이루어지지 않았다.

저자들은 본 연구를 통해 교정용 마이크로임플란트에 SLA 표면처리를 함으로써 더 강한 골유착능을 확보하여 마이크로임플란트에서의 장점은 그대로 유지하면서도 단점인 다양한 방향으로 가해지는 힘에 대한 저항의 한계를 극복할 수 있는 대안을 찾고자 하였다.

임상적으로 임플란트의 안정성 평가에 유용하다고 여겨지는 비파괴적인 임플란트 안정성 평가 방법으로는 치주인대의 damping 정도를 측정함으로써 치아의 동요도를 측정하는 Periotest와 공진주파수 측정법을 상용화시킨 시스템인 Osstell이 있다.²² 임

상에서는 비용과 조작의 용이성으로 Periotest를 이용하여 동요도를 측정하는 방법이 널리 쓰이고 있으며, 본 실험에서도 같은 방법을 이용하였다. 본 실험의 동요도 측정결과를 보면 구개부위는 상, 하악 협측에 비하여 동요도가 더욱 심하게 나타났다.

또한 임플란트의 안정성 평가에서 임플란트를 직접적으로 손상시키면서 시행하는 평가 방법으로는 식립된 임플란트를 제거하는 힘을 측정하는 제거회전력(removal torque value; RTV)의 측정방법과 임플란트와 주변 골조직이 어느 정도의 골유착을 이루는지에 대한 조직학적 평가 방법이 있다. 특히 후자는 골과 임플란트 간의 골접촉률(bone-implant contact, BIC)을 계산하는 방법이 널리 사용되며²³⁻²⁵ 본 실험에서도 같은 방법을 이용하였다. 본 실험에서 나타난 마이크로임플란트와 골의 접촉률은 상악 협측에서는 4주 표면처리군과 12주 표면처리군 모두 비처리군과 유의한 차이를 보이지 않았지만, 하악 협측과 구개부에서는 유의하게 높은 수치를 보여 표면처리 양상에 따라 일부 부위에서 골유착능의 차이를 나타냄을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 특히 구개부위의 헤드 탈락률이 높고, 동요도가 심했다. 헤드 탈락률이 높았던 이유는 C-Implant의 스크류 부분과 헤드 부분이 마찰력으로 결합되는 특성 때문에 헤드 부분이 빠지지 않도록 힘을 주어야 했으나 인체에서와 같은 힘을 가하면 실험동물의 구개부 골조직이 파손되었다. 따라서 상대적으로 적은 힘을 적용하였기 때문에 헤드의 결합력이 떨어져 탈락되는 문제를 보였다. 그리고 구개 부위의 동요도가 높은 것은 구개 부위의 골조직의 협소함, 인체와 달리 실험동물의 제한된 구강 세정의 한계, 헤드 부분과 스프링이 조직 밖으로 노출된 부분에 실험동물의 혀가 계속 건드린 것이 요인으로 보인다.

동요도 분석 결과 하악에서는 표면처리군이 6.6 ± 4.7 로 평활면의 비처리군 13.0 ± 7.6 보다 유의하게 안정된 동요도를 보였다. 그러나 상악에서는 표면처리군과 비처리군에서 동요도의 차이가 인정되지 않았으며 그 원인은 본 연구로는 정확히 파악할 수 없었다. 다만 본 연구의 결과로 추정할 수 있는 원인으로는 마이크로임플란트 주변에서 생성된 골조직에 의한 골접착률 정도의 차이가 하악 협측에서 유의하게 컸기 때문에 이 부분에서 두 군 사이에 동요도의 차이가 발생하였고 상악 협측은 골접착률 정도의 차이가 없었기 때문에 동요도에서 차이가 없었던 것으로 생각하며, 구개측은 치밀골이 너무

얇아 전반적인 동요도가 너무 커서 비록 골접착률 정도의 차이가 있었어도 Periostest 기기의 측정 유효 범주를 벗어나 두 군 사이의 동요도 차이를 정밀하게 측정할 수 없었던 것으로 생각한다.

또한 구개측과 상악 협측 및 하악 협측의 해부학적인 차이를 고려하였을 때 본 연구의 결과는 피질골이 두터운 부위에서는 식립 후 12주까지는 표면처리군이 BIC 및 동요도가 비처리군에 비해 유리하다는 것을 시사하는 것으로 보인다. 역으로 피질골이 두텁지 않은 부위에서는 두 군 사이에 유의한 차이가 없다. 그러나 통계적으로 차이는 없으나 대부분의 동요도 평균수치는 비처리군에 비해 표면처리군이 낮게 나오는 경향을 가지며, 마찬가지로 BIC 또한 통계적으로는 차이가 없는 측정치도 표면처리군이 비처리군에 비해 평균치는 높게 나오는 경향을 가진다.

형광 현미경 소견상 가해진 하중은 식립된 마이크로임플란트 주변에서의 신생골의 형성에 영향을 주지 않는 것으로 판단되며 실험 기간인 12주 이후에도 지속적인 골개조가 일어나고 있음을 시사한다. 또한 비처리군에 비해 표면처리군에서 활발한 골개조가 관찰된 것을 생각한다면 실험 기간이 더 길었을 경우 BIC나 동요도에서 표면처리군과 비처리군이 차이를 보이지 않은 상악 협측과 구개측에서도 차이가 발생할 가능성도 있다. 이러한 가능성은 위에서 언급한 동요도와 BIC의 평균 차이의 경향을 봤을 때 더 유력한 것으로 생각된다. 그러나 실험 결과를 보면 BIC와 동요도는 4주군과 12주군에서 차이가 없었으며 따라서 12주 이상 실험을 진행하여도 예상되는 결과를 얻지 못할 가능성도 있다. 하지만 BIC와 동요도의 시간에 따른 변화 양상은 시술 부위에 대한 실험 동물의 협조(구강 위생, 시술 부위에 대한 반복적이고 의도적인 접촉 등)를 얻을 수 없어서 시간이 경과할수록 어느 정도 악화가 일어났을 가능성을 배제할 수 없으며 이런 요소까지 통제할 수 있다면 예상하는 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

대부분의 표면처리군과 비처리군에서 마이크로임플란트와 접촉을 이루는 피질골 변연부의 심한 골 흡수나 상피조직의 하방 증식은 관찰되지 않았으나 일부 표본에서 변연골부위의 흡수소견이 관찰되었으며 상피조직의 하방증식이 관찰되었는데 이는 초기 매식체에 강한 외력이 가해짐으로써 생긴 것으로 보인다. 치밀골 부위와 접한 마이크로임플란트의 계면은 골조직과 양호한 직접적인 접촉을

이루는 것을 볼 수 있으며 (Figs 3 and 4) 골수 조직에 위치한 마이크로임플란트에서도 골소주와 임플란트 사이의 계면에서 골유착이 일어난 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 일부 시편에서 골수 조직 내에 위치한 마이크로임플란트의 주위가 섬유성결합 조직으로 채워져 있는 것이 관찰되었다. 모든 조직 표본에서 이물반응은 관찰되지 않았다. 이러한 섬유성 조직의 존재가 추후 제거를 용이하게 하는 긍정적인 효과도 있다고 보고되기도 하였다.^{26,27}

이번 연구의 한계는 실험대상이 비글이었기 때문에 인간과는 다른 골질(bone quality), 전반적 구강 위생상태, 시술된 부위에 대한 실험대상의 대처방식에 차이가 있을 수 있을 것으로 예상되고, 실험기간도 4주와 12주까지만 관찰하였는데 다양한 기간의 관찰을 통하여 골유착에 대한 보완된 연구가 필요하리라 생각한다.

결론

본 연구는 4마리의 비글견에 식립된 48개의 sand-blasted, large grit and acid-etched (SLA) 표면처리된 교정용 마이크로임플란트와 48개의 평활면 마이크로임플란트에 교정력을 가한 후 4주, 12주 경과에 따른 동요도와 골접착률의 차이를 규명하기 위해 시행되었으며 다음의 결과를 얻었다.

1. 상악 협측과 구개측에서는 표면처리군과 비처리군의 동요도에서 유의성 있는 차이가 없었으나 하악협측에서는 표면처리군이 유의하게 안정적인 동요도를 보였다.
2. 마이크로임플란트와 인접골 간 접촉률은 상악 협측에서는 4주와 12주 모두 표면처리군과 비처리군 간에 유의한 차이가 없었으나 하악 협측과 구개측의 경우 4주와 12주 모두 표면처리군이 비처리군에 비해 유의하게 높은 접촉률을 보였다.
3. 표면처리군은 비처리군에 비해 임플란트 주변에서 활발한 골개조가 관찰되었으며 모든 군에서 이물반응은 관찰되지 않았다.

이상의 연구 결과 SLA 표면처리된 교정용 마이크로임플란트는 식립 부위에 따라 향상된 골유착능을 얻을 수 있으므로 사용할 교정력의 크기와 성질에 따라 마이크로임플란트의 종류와 식립 위치를 고려하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

참고문헌

1. Roberts WE, Marshall KJ, Mozsary PG. Rigid endosseous implant utilized as anchorage to protract molars and close an atrophic extraction site. *Angle Orthod* 1990;60:135-52.
2. Im DH, Kim YS, Cho MA, Kim KS, Yang SE. Interdisciplinary treatment of Class III malocclusion using mini-implant: problem-oriented orthodontic treatment. *Korean J Orthod* 2007;37:305-14.
3. Park HS. The skeletal cortical anchorage using titanium micro-screw implants. *Korean J Orthod* 1999;29:699-706.
4. Park HS. A new protocol of the sliding mechanics with Micro-Implant Anchorage (M.I.A). *Korean J Orthod* 2000;30:677-85.
5. Cordioli G, Majzoub Z, Piatelli A, Scarano A. Removal torque and histomorphometric investigation of 4 different titanium surfaces: an experimental study in the rabbit tibia. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:668-74.
6. Lim YJ, Oshida Y, Andres CJ, Barco MT. Surface characterizations of variously treated titanium materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:333-42.
7. Cho SA, Park KT. The removal torque of titanium screw inserted in rabbit tibia treated by dual acid etching. *Biomaterials* 2003;24:3611-7.
8. Abrahamsson I, Berglundh T, Linder E, Lang NP, Lindhe J. Early bone formation adjacent to rough and turned endosseous implant surfaces. An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:381-92.
9. Lim SA, Cha JY, Hwang CJ. Comparison of insertion torque regarding changes in shape, diameter, and length of orthodontic miniscrews. *Korean J Orthod* 2007;37:89-97.
10. Song YY, Cha JY, Hwang CJ. Evaluation of insertion torque and Pull-out strength of mini-screws according to different thickness of artificial cortical bone. *Korean J Orthod* 2007;37:5-15.
11. Umemori M, Sugawara J, Mitani H, Nagasaka H, Kawamura H. Skeletal anchorage system for open-bite correction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:166-74.
12. Kyung SH, Lim JK, Park YC. The use of miniscrew as an anchorage for the orthodontic tooth movement. *Korean J Orthod* 2001;31:415-24.
13. Cho JH. Effects on orthodontic miniscrew implants according to the timing of force application [thesis]. Seoul: Yonsei University; 2003.
14. Sun SB, Kang YG, Kim SH, Mo SS, Kook YA. Influence of immediate loading on the removal torque value of mini-screws. *Korean J Orthod* 2007;37:400-6.
15. Chung KR, Kim SH, Kook YA. The C-orthodontic micro-implant. *J Clin Orthod* 2004;38:478-86.
16. Oh NH, Kim SH, Kook YA, Lee KH, Kang YG, Mo SS. Removal torque of sandblasted large grit, acid etched treated mini-implant. *Korean J Orthod* 2006;36:324-30.
17. Maino BG, Bednar J, Pagin P, Mura P. The spider screw for skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 2003;37:90-7.
18. Yoon BS, Choi BH, Lee YU, Kim KN, Shim HB, Park JH. A study on Titanium Miniscrew as Orthodontic Anchorage; An experimental investigation in dogs. *Korean J Orthod* 2001;31:517-23.
19. Lim JW, Kim WS, Kim IK, Son CY, Byun HI. Three dimensional finite element method for stress distribution on the length and diameter of orthodontic miniscrew and cortical bone thickness. *Korean J Orthod* 2003;33:11-20.
20. Huja SS, Litsky AS, Beck FM, Johnson KA, Larsen PE. Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:307-13.
21. Kim SH, Cho JH, Chung KR, Kook YA, Nelson G. Evaluation of the removal torque values of surface-treated mini-implants after loading. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:36-43.
22. Kim JW, Ahn SJ, Chang YI. Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:190-4.
23. Gurgel BC, Goncalves PF, Pimentel SP, Nociti FH, Sallum EA, Sallum AW, et al. An oxidized implant surface may improve bone-to-implant contact in pristine bone and bone defects treated with guided bone regeneration: an experimental study in dogs. *J Periodontol* 2008;79:1225-31.
24. Iamoni F, Rasperini G, Trisi P, Simion M. Histomorphometric analysis of a half hydroxyapatite-coated implant in humans: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999;14:729-35.
25. Sennerby L, Thomsen P, Ericson LE. A morphometric and biomechanical comparison of titanium implants inserted in rabbit cortical and cancellous bone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992;7:62-71.
26. Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 1998;13:201-9.
27. Melsen B, Verna C. A rational approach to orthodontic anchorage. *Prog Orthod* 1999;1:10-22.

Bone-implant contact and mobility of surface-treated orthodontic micro-implants in dogs

Seung-Hyun Park, DDS, MSD, PhD,^a Seong-Hun Kim, DMD, MSD,^b Jun-Ha Ryu, DDS,^c
Yoon-Goo Kang, DDS, MSD, PhD,^d Kyu-Rhim Chung, DDS, MSD, PhD,^e
Yoon-Ah Kook, DDS, MSD, PhD^f

Objective: The purpose of this study was to evaluate the mobility and ratio of the bone-implant contact (BIC) of a sandblasted, large grit and acid-etched (SLA) orthodontic micro-implant. **Methods:** Ninety-six micro-implants (48 SLA and 48 machined) were implanted in the upper and lower buccal alveolar bone, and palatal bone of four beagle dogs. Two weeks after surgery, orthodontic force (150 - 200 g) was applied. Two beagles were sacrificed at 4-weeks and the other two at 12-weeks. Histomorphometric comparisons were made between the SLA experimental group and the machined micro-implant as a control group to determine the ratio of contact between the bone and implant. Micro-implant mobility was also evaluated using Periotest[®]. **Results:** Periotest values showed no statistically significant difference in the upper alveolar and palatal bone between groups except for the lower buccal area. BIC in the upper buccal area showed no significant difference between groups both at 4-weeks and 12-weeks. However, both the groups showed a significant difference in BIC ratio in the rest of the experimental areas between 4 weeks and 12 weeks. The experimental group showed active bone remodeling around the bone-implant interface compared to the control group. **Conclusions:** There were significant differences in the BIC and the Periotest values between the surface-treated and machined micro-implants according to bone quality in the early stage. (*Korean J Orthod* 2008;38(6):416-426)

Key words: Micro-implant, Bone-implant contact, Mobility, Osseointegration

^aGraduate student, ^bAssistant Professor, ^cResident, ^dFormer Clinical Fellow, ^eClinical Professor, ^fAssociate Professor and Chairman, Department of Orthodontics, College of Medicine, The Catholic University of Korea.

Corresponding author: Yoon-Ah Kook.

Department of Orthodontics, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Kangnam St. Mary's Hospital, 505, Banpo-dong, Seocho-gu, Seoul 137-701, Korea.

+82 2 590 1999; e-mail, Kook2002@catholic.ac.kr.

Received July 14, 2008; Last Revision October 21, 2008; Accepted October 25, 2008.