

토끼 경골에서 치과용 임플란트의 이중 산부식 및 양극 산화 표면처리에 따른 조직계측학적 연구

한예숙 · 김일규 · 장금수 · 박태환 · 전 원
인하대학교 의과대학 구강악안면외과학교실

Abstract

HISTOMORPHOMETRIC STUDY OF DENTAL IMPLANTS WITH DOUBLE ACID-ETCHED AND ANODIC OXIDIZED SURFACE IN THE RABBIT TIBIA

Ye-Sook Han, Il-Kyu Kim, Keum-Soo Chang, Tae-Hwan Park, Won Jeon
Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Medicine, Inha University

This study was performed to evaluate the effects of three different implant surface treatments to the bone formation during osseous healing period under unloading conditions. Machined, double-acid etched and anodic oxidized implants were inserted into tibia of 3.0 - 3.5 kg NZ white male rabbits and 2 animals of each group were sacrificed at 2, 4 and 8 weeks.

The specimens containing implant was dehydrated and embedded into hard methacrylate plastic. After grinding to 50 μ m, the specimens were stained with Villanueva bone stain. From each specimen, histomorphometric evaluation and the bone implant contact rate were analysed with optical microscope.

The results were as follows:

1. In the scanning electronic microscopic examination, machined surface implant had several shallow and paralleled scratches on plain surface, double acid-etched implant had lots of minute wrinkles, rough valley and also irregularly located craters that looked like waves, anodic oxidized surface implant had porosity that minute holes were wholly distributed on the surface.
2. After 2 weeks of implantation, the percentages of bone-to-implant contact in the machined implant, double acid-etched implant and anodic oxidized implant were 26.85%, 62.64% and 59.82%, after 4 weeks of implantation they were 64.29%, 77.85% and 75.23%, and after 8 weeks they were 82.66%, 85.34% and 86.39%.
3. After 2 weeks of implantation, the percentages of bone area between threads in the machined implant, double acid-etched implant and anodic oxidized implant were 21.55%, 42.81%, and 40.33%, after 4 weeks of implantation they were 49.32%, 62.60% and 75.56%, and after 8 weeks they were 71.62%, 87.73% and 83.94%.

In summary, percentages of implant surface contacted to bone trabeculae and bone formation area inside threads in double acid-etched implants and anodic oxidized implants were greater than machined implants in early healing stage.

These results suggest that double acid-etched and anodic oxidized surface implants could reduce the healing period for osseointegration and may enable to do early function.

Key words: Implant, Tibia, Acid-etched, Anodic oxidized surface

I. 서 론

치과 임플란트 식립의 장점으로는 치아를 발거한 환자의 저작 기능을 증가 시키고, 치아 발거 후에 필연적으로 나타나는 골 소실을 감소시키며, 골의 형태를 유지 시키도록 하는 자극 효과와 함께¹⁾, 환자에게 틀니에 의한 수복 방법보다 정서적인 안정감을 주고 틀니의 착탈에 의한 불편감의 감소에도 도움을 준다. 이러한 치과용 임플란트를 사용한 이래로 임플란트 시술의 계획과 치료의 성공을 위한 많은 연구와 노력이 있어 왔는데, 임플란트 치료 후 장기간 성공을 위하여는 처음 시술 당시의 초기 고정과 식립 후 초기 치유기간에서의 골유착이 중요하기 때문에 이를 높이고자 하는 시도가 계속되어져 왔다.

초기 치유기간 동안의 골유착의 개념에 있어서는 Branemark^{2,3)}이 동물실험 중 생체와 금속간의 직접적인 결합 현상을 발견한 것을 계기로 골유착 (osseointegration)의 개념을 최초로 소개하였고, 처음에는 생체 조직에서 살아있는 골과 부하를 받는 임플란트 표면 사이의 직접적인 구조적, 기능적 연결로 정의 되었으며, Albrektsson⁴⁾은 골유착이란 광학현미경 하에서 임플란트와 골 조직이 섬유성 결합 조직의 개재 없이 직접 접촉하는 상태라고 정의 하였고, 그 후 기능적 부하 하에서 유지되는 골과 합성물 간의 임상적으로 증상이 없는 견고한 고정이라는 임상적 정의가 추가되었다⁵⁾.

치과에서는 1950년대부터 부분 또는 완전 무치악 환자의 보철수복에 골막 하 임플란트나 브레이드 임플란트 등이 임상에서 이용되었고⁶⁾, 최근까지의 여러 연구들을 통하여 상업적으로 순수한 티타늄의 성공적인 골유착이 보고됨에 따라 티타늄이 치과용 임플란트 로는 가장 좋은 재료라는 것이 밝혀져 왔다⁷⁾.

그 후 많은 동물 실험에서 티타늄 임플란트의 거친 표면이 매끈하게 연마된 표면보다 골 반응이 빠르다는 연구보고들이 있었다^{8,9)}. 이에 따라 임플란트 표면에 거칠기를 주기 위한 다양한 방법들이 개발되었으며 다양한 표면거칠기를 가진 상업적으로 유용한 임플란트가 제작되었다. 1970년에 처음으로 Hahn 등¹⁰⁾에 의해 임플란트를 플라즈마 피복 (titanium plasma spray: TPS)하면 다공성 표면을 형성 한다는 것이 보고 되었고, 그 이후로 수산화인회석이 피복된 임플란트(Hydroxyapatite coated implant)가 개발되었으며, 이들 피복 임플란트 표면에서의 미세 유지 (microretention)가 임플란트 표면의 입자들을 탈락시킬 수 있어 이 입자들이 주위 조직에서 발견되기도 한다는 보고가 있음에 따라 임플란트 표면에서 미세 입자들을 떼어내는 제거 과정(subtractive process)을 통한 방법이 개발되었는데, 산성 용액으로 표면을 부식시키는 방법과 산화 알루미늄(Al_2O_3), 산화 티타늄(TiO_2), 인산칼슘 등의 입자를

분사하여 거친 표면을 만드는 모래 분사 처리 방법이 있다.

본 논문에서는 표면 처리 방법에 따른 임플란트의 임상적 유용성을 관찰하고자 기계 연마 임플란트, 황산과 질산 (H_2SO_4/HNO_3)용액으로 이중 산부식 표면 처리한 임플란트 및 티타늄 임플란트에 전기의 양극을 가하고 전해질 용액에 음극을 가하여 임플란트에 산화 피막을 입힌 양극 산화 표면 처리 임플란트를 선택하여, 임플란트의 표면을 주사 전자현미경을 이용하여 거칠기를 관찰하였으며, 토끼의 경골에 임플란트를 식립하여 2주, 4주, 8주의 경과에 따른 골-임플란트 접촉률과 나사산 사이의 골면적 비율을 측정하여 비교하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

실험에는 기계 연마 임플란트 (Dentium, Korea, 3.4 mm × 6.0 mm), 이중 산부식 표면 처리 임플란트 (3i, USA, 4.0 mm × 8.5 mm), 양극 산화 표면 처리 임플란트 (Cowell medi, Korea, 3.3 mm × 7.0 mm)를 사용하였다. 9마리 토끼의 좌우측 경골에 하나씩 식립 하였으며, 식립 후 2주, 4주, 8주에 3마리씩의 토끼를 희생하여 관찰 하기 위하여 총 18개의 임플란트가 사용되었다.

2. 연구 방법

(1) 주사 전자현미경 임플란트 표면관찰

실험에 사용된 각 임플란트의 표면 형상을 관찰하기 위해 기계 연마 임플란트, 이중 산부식 표면 처리 임플란트, 양극 산화 표면 처리 임플란트를 주사 전자현미경(TESCAN/VEGA TS5130MM, Tescan, Czech)을 사용하여 20kv 에서 2000배의 배율로 각각 관찰하였다.

(2) 실험동물 및 수술 방법

1) 실험 동물

실험에는 체중 3.0-3.5 kg의 건강한 웅성 토끼(New Zealand white rabbits) 9마리를 사용하였다. 변화된 환경에 적응시키기 위해 1주일의 적응기간을 둔 후에 실험하였다.

2) 수술 방법

인하대학교 생명과학연구소의 관리를 준수하여 연구소 내 수술실에서 모든 실험을 진행하였으며, 인하대학교 의과대학 실험동물위원회(Committee for the Care and Use of Laboratory Animals)의 방침 및 동물실험 관련 법규를 준수하였다.

전신 마취를 위하여 동물용 진정, 근육 이완제인 2% Xylazine HCl(Rompun, 바이엘코리아, 한국) 10 mg/kg 과 전신 마취제 Ketamine HCl(Ketamine, 유한양행, 한국) 30 mg/kg을 근육 주사하였다. 토끼의 양측 슬관절 하방의 경골 내측부를 제모하여 수술 부위의 피부를 노출 시킨 후 수술 소독포가 놓인 수술대로 옮기고, 수술부위 주변 충분히 넓은 부위를 거즈에 적신 Betadine으로 소독하였다. 수술 부위에는 지혈 목적과 국소 마취를 위하여 1:100000 epinephrine을 함유한 2% Lidocaine HCl (유한양행, 한국)을 피하 주사하였다.

소독포를 덮고 수술 부위를 노출 시킨 후 수술은 무균적 조건에서 시행하였다. 토끼 경골의 내측 부위에 피부를 절개한 후 근막 및 골막의 판막을 형성하여 경골의 내측을 노출 시킨 후 경골 관절면에서 1cm 하방 경골 내측면의 평평한 부위에 임프란트를 각각 좌우 경골에 한 개씩 식립하였다. 나사형 임프란트를 식립하기 위하여 충분한 양의 생리식염수로 냉각하면서 드릴의 크기를 순차적으로 높여 가며 저속으로 점진적인 골삭제를 하였다. 슬관절 하방 경골의 내측 피질골에 수직이 되도록 임프란트를 6mm 깊이 까지 생리 식염수의 주수 하에 식립하고 한쪽 피질골에서 초기 고정을 얻을 수 있도록 하였다. 식립 후 골막과 근막과 피부의 봉합은 Vicryl사(Ethicon Ltd. England)로 하였고 감염방지를 위해 수술 당일 항생제(겐타마이신, 대성미생물 연구소, 0.2 ml/kg)를 근육 주사하고 수술부위에 클로람페니콜을 분사하였다.

(3) 조직 표본 제작 및 관찰방법

실험동물에 각각의 임프란트를 매식 후 표면 처리 방법에 따라 2주, 4주, 8주로 구분하여 희생시켰다. 희생된 토끼에서 경골을 채취하여 70% 알코올 농도에서 고정시킨 후에 Bone trimmer를 이용하여 절단하고 Villanueva bone stain 용액에 일주일간 침적하였다.

조직 표본을 70%알코올에서 60분, 80%에서 90분, 95%에서 90분으로 알코올의 농도를 증가시키면서 탈수를 시행한 후 methylmethacrylate monomer에 하룻밤을 침적시킨 후 다시 methylmethacrylate monomer와 poly-methylmethacrylate beads 레진을 이용하여 포매하였다. 37℃ 항온기에서 30일 동안 경화시킨 후 Crystal cutter (Maruto, Japan)를 사용하여 식립 된 임프란트의 정중부를 중심으로 조직 표본이 만들어지도록 400µm 두께로 절편을 자르고 Grinding machine (Maruto, Japan)으로 80µm 두께가 되도록 연마한 후 손으로 경조직 연마를 이용하여 50µm 두께의 표본을 만들어 광학 현미경으로 골형성 양상을 관찰하였다.

(4) 조직 계측학적 분석

조직계측학적 분석은 광학현미경(OLYMPUS VANOX-S, Japan)에 CCD카메라 (Polaroid DMC 2 digital microscope camera, Polaroid Corporation, Cambridge, MA 02139, USA)를 부착하고 컴퓨터 상에서는 조직형태 계측 프로그램 (Image-Pro Plus V3.0)을 사용하였다.

모든 측정은 10배 하에서 실시하였으며 정확한 골 접촉의 측정을 위해 필요한 경우 40배의 고배율로 조직 표본에 대한 관찰을 실시하였다. 일관성 있는 조건을 얻기 위해 임프란트 경부와 근단부가 피질골에 의해 양측으로 고정된 표본을 제외시키고 임프란트의 경부만이 피질골로 고정된 표본만을 선택하였으며 다음과 같이 골-임프란트 접촉률과 나사산 사이의 골면적 비율을 산출하였다.

1) 골-임프란트 접촉률

전체 총 나사선의 길이(M1-M2)를 측정한 후, 총 나사선의 길이에서 골접촉이 일어나지 않은 나사선의 길이를 뺀 값을 백분율로 표시하여 측정하여 골-임프란트 접촉률을 구하였다(Fig. 1).

골-임프란트 접촉률 =

$$\frac{\text{골 접촉이 일어난 임프란트 측면의 나사선 길이}}{\text{임프란트 측면의 전체 나사선 길이}} \times 100 (\%)$$

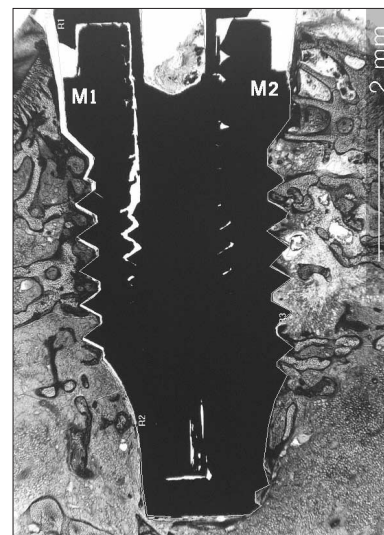


Fig. 1. Histologic micrograph of the ground section. (Villanueva bone stain: original magnification × 10)

2) 나사선 사이의 골면적 비율

조직표본을 CCD 카메라 (Polaroid DMC 2 digital microscope camera, Polaroid Corporation, Cambridge, MA 02139, USA)를 이용하여 100배의 배율로 임플란트의 나사선 중 연속적으로 가장 골접촉이 잘 일어난 첫 번째, 두 번째, 세 번째 나사산을 컴퓨터 모니터에 나타나도록 한 후 조직형태 계측 프로그램 (Image-Pro Plus V3.0)을 사용하여 골면적 비율을 측정하였다.

모니터 상에서 마우스를 이용하여 나사산과 나사산 사이의 윤곽을 선으로 둘러 싸이도록 그려 전체 면적을 측정한 후, 각각의 골형성된 부위의 면적을 측정하고 이 비율을 계산하여 나사산 사이의 골면적 비율을 구하였다 (Fig. 2).

$$\text{골 면적 비율} = \frac{\text{나사산과 나사산 사이의 골면적}}{\text{나사산과 나사산 사이의 총면적}} \times 100(\%)$$

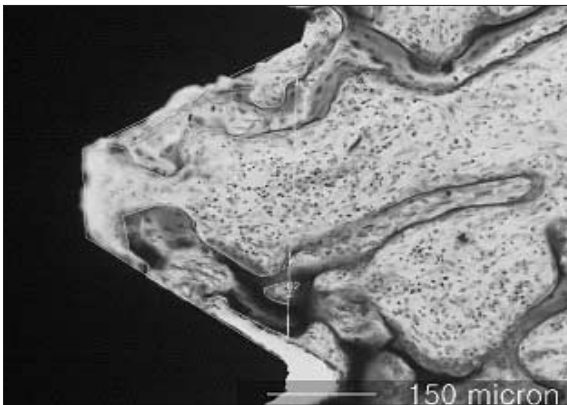


Fig. 2. Morphometry of ground section. (Villanueva bone stain; original magnification × 100)

Ⅲ. 연구 결과

1. 주사 전자 현미경 임플란트 관찰

1) 기계 연마 임플란트
전체적으로는 평활한 표면으로 보이나, 기계로 연마하면서 생긴 굽힌 자국이 얇게 형성되어 평행으로 그어져 있는 것이 관찰되었다.

2) 이중 산부식 표면 처리 임플란트
크고 작은 수많은 미세 주름과 크고 작은 날카로운 능선이 있는 거친 골짜기 형태와 불규칙한 분화구 모양들이 관찰되었다.

3) 양극 산화 표면 처리 임플란트
불규칙하면서도 쭈굴 쭈굴한 여러 겹의 산화층과 함께 미세 기공이 전체적으로 고루 분포되어 있는 다공성의 표면이 관찰되었다.

2. 광학 현미경 관찰

1) 기계 연마 임플란트
식립 후 2주의 기계 연마 임플란트에서는, 초기 고정을 형성한 피질골 주위의 골-임플란트 경계면에 골조직이 있었으나, 내부 해면골에서는 골접촉이 관찰되지 않았고 염증 세포의 침윤은 보이지 않았다. 식립 후 4주에서는 많은 양의 층판골이 보였으며, 치근부 방향으로도 골소주가 형성되었으나 임플란트 표면에 골이 직접 접촉하지 않고 있는 부위도 관찰되었다. 식립 후 8주에서는 골소주들이 서로 결합하여 골 성숙도가 증가하였고 골-임플란트 접촉 부위에도 층판골로 치밀하게 결합된 양상이 관찰되었다.

Table 1. Percentages of Implant Surface Contacted to Bone Trabeculae in 3 Different Implant Types(%)

Group	2 weeks	4 weeks	8 weeks
Machined	26.85	64.29	82.66
Double acid-etched	62.64	77.85	85.34
Anodic oxidized	59.82	75.23	86.39

Table 2. Percentages of Bone Formation Area Inside the Threads in 3 Different Implant Types (%)

Group	2 weeks	4 weeks	8 weeks
Machined	21.55	49.32	71.62
Double acid-etched	42.81	62.60	87.73
Anodic oxidized	40.33	75.56	83.94

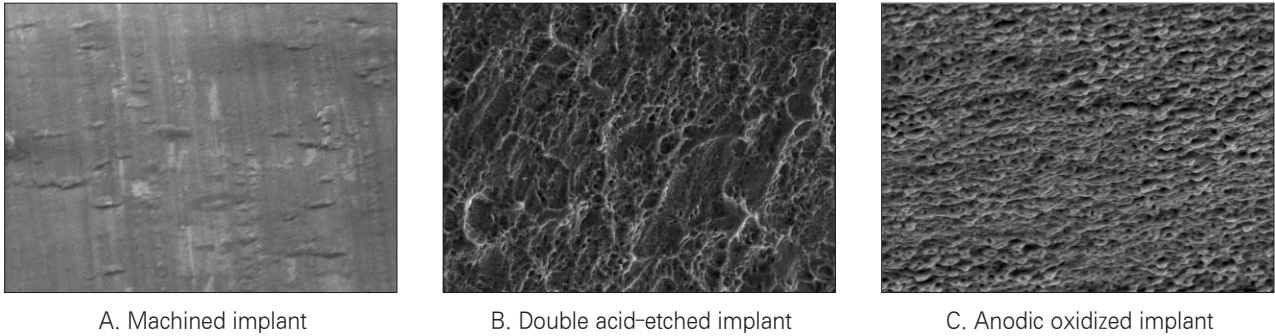


Fig. 3. Scanning electron micrographs of 3 different implant types. (Original magnification $\times 2000$)

- A: Several foci of scratch were seen.
- B: Variable sized valley-like foci were intermixed with many microfolds.
- C: Uniform sized pores were regularly arranged.

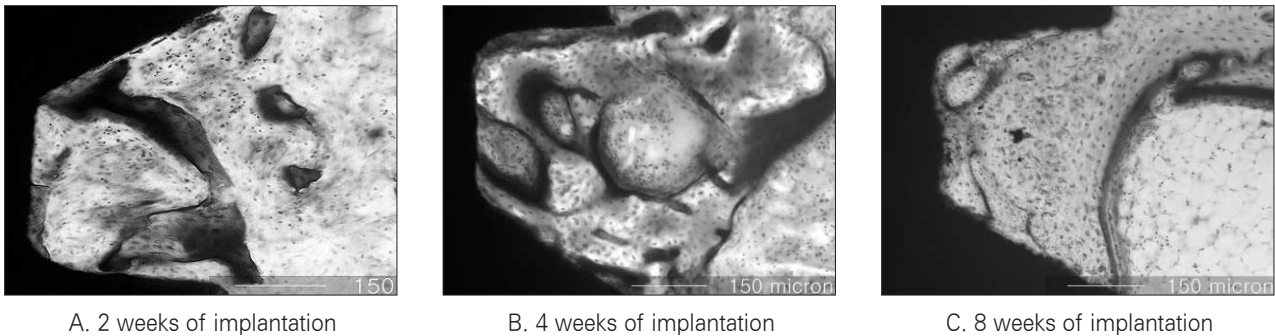


Fig. 4. Histologic micrographs in machined implants. (Villanueva bone stain, $\times 100$)

- A: 2 weeks: Bone trabeculae were haphazardly arranged and two foci of bone trabeculae were contacted with implant surface.
- B: 4 weeks: Bone trabeculae covered implant surface.
- C: 8 weeks: The space between threads was filled with mature bone.

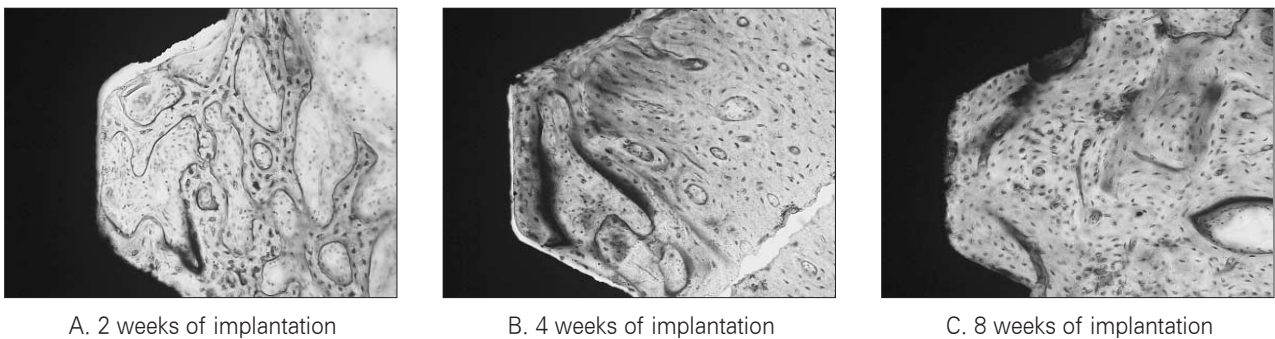


Fig. 5. Histologic micrographs in double acid-etched implants. (Villanueva bone stain, $\times 100$)

- A: 2 weeks: Bony trabeculae showing arborizing pattern were formed.
- B: 4 weeks: Implant surface was surrounded by bony tissue.
- C: 8 weeks: The space between threads was completely filled with mature bone.

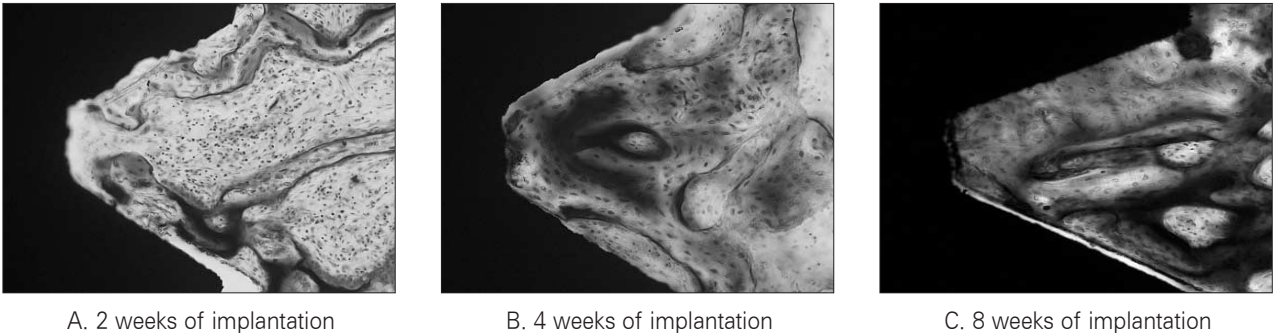


Fig. 6. Histologic micrographs in anodic oxidized implants. (Villanueva bone stain, × 100)

- A; 2 weeks: Bony trabeculae were shown into implant surface.
- B; 4 weeks: Bony trabeculae were shown into implant surface, but implant surface contacted to fibrous tissue was still remained.
- C; 8 weeks: Implant surface was surrounded by bony tissue.

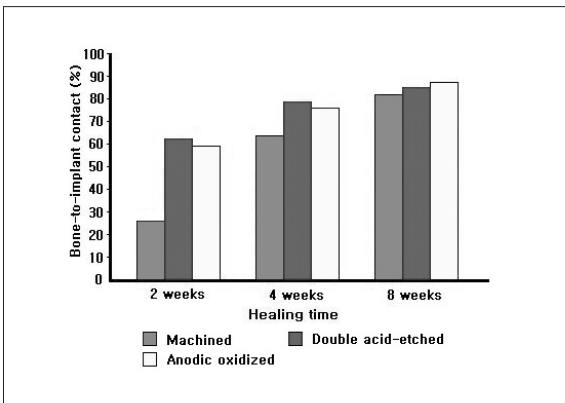


Fig. 7. Diagram showing the percentages of implant surface contacted to bone trabeculae in 3 different implant types.

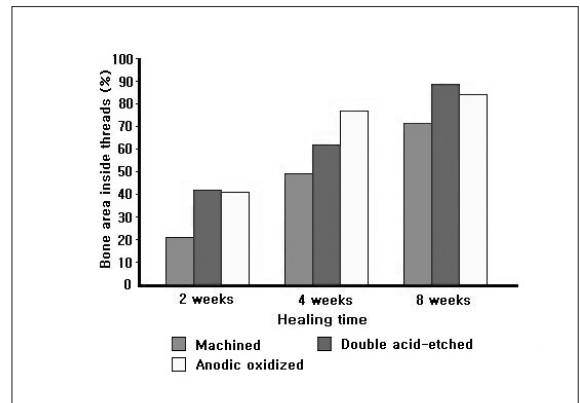


Fig. 8. Diagram showing the percentages of bone formation area inside the threads in 3 different implant types.

2) 이중 산부식 표면 처리 임플란트

식립 후 2주의 이중 산부식 표면 처리 임플란트에서도 기계 연마 임플란트와 마찬가지로 염증 세포의 침윤은 없었으며, 내부 해면골 부위에서는 기계 연마 임플란트나 양극 산화 표면 처리 임플란트 보다도 많은 양의 골-임플란트 접촉을 형성하는 골형성이 관찰 되었고, 새로운 골소주의 형성도 관찰되었다. 식립 후 4주에서도 임플란트 주위로 다른 표면처리 방식의 임플란트에 비하여 가장 많은 골형성을 볼 수 있었다. 식립 후 8주에서는 점차적인 골형성의 증가로 인한 많은 골형성이 있었으며, 나사산 사이가 성숙된 치밀골로 충분히 채워진 양상을 관찰 할 수 있었다.

3) 양극 산화 표면 처리 임플란트

식립 후 2주의 양극 산화 표면 처리군에서도 다른 임플란트와 마찬가지로 염증 소견은 보이지 않았으며 가느다란 골

소주들이 뺏어나오는 것이 보였다. 골-임플란트 접촉면에서 대조군보다는 많은 양의 골형성과 새로운 골소주들의 형성이 보였다. 식립 후 4주에서는 골소주들이 서로 연결되어 좀더 두꺼운 모양의 골조직을 이루는 것이 관찰되었다. 식립 후 8주에서는 두꺼워진 골소주들이 나사산 사이에서 결합하여 골형성이 증가된 소견이 관찰되었다. 나사산 사이의 대부분을 성숙 치밀골이 채우고 있었다.

3. 조직 계측학적 분석

1) 골-임플란트 접촉률

임플란트 식립 후 기계 연마 임플란트, 이중 산부식 표면 처리 임플란트, 양극 산화 표면 처리 임플란트에 있어서 각각의 골-임플란트 접촉률은 식립 후 2주에 26.85%, 62.64%, 59.82%로 측정 되었고, 식립 후 4주에는

64.29%, 77.85%, 75.23%, 식립 후 8주에는 82.66%, 85.34%, 86.39%로 측정되었다. 식립 후 2 주에는 기계 연마 임프란트에 비하여 다른 두 임프란트의 골-임프란트 접촉률이 매우 크게 나타났으며 식립 4주에서 8주로 시간이 경과함에 따라 측정값의 차이는 감소하였다.

2) 나사산 사이의 골면적 비율

기계 연마 임프란트, 이중 산부식 표면 처리 임프란트, 양극 산화 표면처리 임프란트에 있어서의 나사산 사이의 골면적 비율은 임프란트 매식 후 각각 2주 째에는 21.55%, 42.81%, 40.33%로 측정되었고, 매식 후 4주 째에는 49.32%, 62.60%, 75.56%로 측정되었으며, 매식 후 8주 째에는 71.62%, 87.73%, 83.94%로 측정되었다. 이 계측에 의하면 임프란트 식립 후 2주에서의 나사산 사이 골면적 비율은 이중 산부식 표면 처리 임프란트, 양극 산화 표면처리 임프란트 모두 기계 연마 임프란트보다 높았으며, 식립 후 4주에는 양극 산화 표면 처리 임프란트에서 가장 높았고, 식립 후 8주에서의 차이는 크지 않으나 기계 연마 임프란트보다 다른 두 임프란트에서 모두 높은 골면적 비율을 보였다.

IV. 총괄 및 고찰

치과 임프란트 치료의 성공은 골조직과 임프란트 표면 사이에서 이루어지는 골유착의 성공적인 형성과 유지에 달려 있다¹¹⁾. 골유착이란 광학적 현경 하에서 관찰하였을 때 하중을 받는 임프란트의 표면과 생활력 있는 생존골 사이에 직접적인 접촉이 일어난 것을 말하며^{3,12)}, 이는 임프란트 식립 후에 임프란트 표면과 접촉한 골면에서 간엽세포가 활성화되어 이 세포에서 분비된 국소인자들이 골모세포를 자극하고, 골의 재흡수를 유도하는 파골 세포들과 신생골이 임프란트 주위를 둘러싸며 이루어지는 것으로 보고되었다¹¹⁾.

또한 치과 임프란트의 궁극적인 목적은 저작 기능을 하기 위한 것이므로 상부 보철물이 형성된 후 저작압을 가했을 때 구강내의 생리적 하중을 충분히 지탱할 정도의 골유착이 이루어져야 한다. 임프란트는 치아와 달리 백악질 층이 존재하지 않으며 임프란트 주위 점막의 교원섬유들은 골조직 표면에서 기시하여 임프란트 표면과 평행하게 주행하므로 자연치보다 하중에 약하며¹²⁾ 미성숙한 골-임프란트 접촉면에 응력이 과도하게 전달되면 치조골 상실과 초기 골소실을 가져오게 된다¹³⁾. 임프란트와 접해있는 골은 외상의 발생시기와 치유 시기에 따라 하중에 민감하여 대부분 식립 후 초기 치유 단계에서 실패가 일어나므로¹⁴⁾ 식립 초기의 충분한 골형성이 임프란트의 성공 요인이 되며 골-임프란트 접촉률이 높을수록 임프란트가 더 빨리 고정되어 성공률도 높

아진다¹⁵⁾.

임프란트 식립 후에 치유 과정과 골유착의 정도를 평가하는 방법으로는 광학 현미경으로 조직 소견을 관찰하여 골-임프란트 접촉률과 나사산 사이의 골면적 비율 등을 측정하는 조직 계측학적 분석 방법^{16,17)}과 골유착 인접 부위에서의 세포의 개체수를 측정하는 방법, 뒤틀림 제거력 측정¹⁷⁾, 전단 강도 측정 방법^{18,19)} 등의 방법 등이 있다.

본 연구에서는 광학 현미경을 이용한 조직 계측학적 분석 방법으로 연구하였으며, 골-임프란트 접촉률을 구할 때에는 Sennerby¹⁶⁾의 방법을 이용하여 골접촉이 일어난 임프란트의 총길이를 측정하고 이에 대하여 골접촉이 일어난 부위의 길이를 비율로 계산하였고, 나사산 사이의 골면적 비율을 구할 때에는 골접촉이 잘 일어난 연속 3개의 나사산 부위에서 골면적 비율을 구하는 Wennerberg¹⁵⁾의 방법을 이용하였으며, 상기 두 가지의 방법의 계산 시에는 조직 표본을 컴퓨터 모니터 상에서 확대하여 조직형태 계측 프로그램 (Image-Pro Plus V3.0)을 이용하여 측정하였다.

임프란트 식립 후 골유착의 성공여부는 골-임프란트 경계면의 골조직의 치유 형태에 영향을 받는데 골-임프란트 경계면에 초기 혈병이 형성되어 섬유소 기질과 섬유소층이 형성되고 임프란트 표면에 부착된 섬유소 기질로 골모세포가 이동되어 신생골이 생성되게 된다. 이 때 임프란트 표면의 젖음성은 혈병의 유지에 영향을 미치는데 산부식된 표면의 미세구조는 임프란트가 식립되는 동안에 혈액과 혈장액의 확산이 잘 일어나게 하여 젖음성을 증가시키므로 평활한 표면의 임프란트보다 골결합이 증가하게 되며 황산과 질산으로 이중 산부식 처리가 된 불규칙한 거친 표면은 세포의 부착 및 고정을 증가시켜 골유착을 증가시킨다.

또한 순수 티타늄은 약 3-5 μm 두께의 산화막으로 덮여 있는데 양극 산화 표면 처리를 하여 산화막의 두께를 증가시키면 단백질 흡착, 혈소판 축적 및 활성화, 섬유소 유지가 증가하여 임프란트 식립 초기의 골형성을 촉진시키며, 다공성의 미세 기공이 형성됨에 따라 골-임프란트 접촉 면적도 증가하고, 식립된 임프란트 주위의 세포에서 분비된 세포외 기질과 교원질 섬유가 0.2-2.0 μm 의 미세 기공에 더 친화성을 가지고 결합하여 임프란트의 접촉면에서 세포가 분열하며 성장하게 되므로 골유착이 증가하게 된다.

표면 거칠기의 증가는 임프란트 표면의 골접촉 면적을 증가시켜 골수 세포의 초기 부착을 촉진시키게 되고 골모세포의 분화와 골기질의 생성을 유도하며 골형성 기간을 단축시키게 된다²⁰⁾. 기계 연마 임프란트의 표면 거칠기는 Ra 수치가 약 0.67-1.17 μm 이며, 이중 산부식 표면 처리 임프란트의 표면 형상은 0.3-1.5 μm 의 간격과 1.0-2.0 μm 의 봉우리를 보이며 표면 거칠기는 0.54-1.97 μm 를 나타낸다²¹⁾. 제조회사에 의하면 양극 산화 표면 처리 임프란트의 표면에는 0.2-2.0 μm 크기의 기공이 형성되어 있으며 표면 거칠

기는 약 $1.0\mu\text{m}$ 이며 이는 미세 가공의 높이에 의한 것이다.

Buser 등²²⁾의 연구에서는 미니 피그의 상악골에 기계 연마 임플란트와 이중 산부식 표면 처리 임플란트를 식립하여 4주, 8주, 12주에 제거회전력 검사와 골-임플란트 경계면에서의 전단 강도를 측정하였다. 4주에서 이중 산부식 표면 처리 임플란트의 제거 회전력은 62.5 Ncm 을 나타내었고, 8주에는 87.6 Ncm , 12주에는 95.7 Ncm 을 나타내었고 평균 거칠기 값은 $15.0\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

Yamagami 등²⁰⁾은 기계 연마 임플란트의 Ra 값을 $1.1\mu\text{m}$, 전단 강도는 $4.5\pm 0.9\text{kg}$ 으로 측정하였으며, 양극 산화 표면 처리 후 크기가 각각 다른 입자를 분사하여 표면 거칠기 Ra 값이 각각 $1.2\mu\text{m}$, $2.7\mu\text{m}$, $4.7\mu\text{m}$ 로 측정된 임플란트의 전단 강도는 각각 $8.8\pm 5.0\text{kg}$, $17.7\pm 5.7\text{kg}$, $1.7\pm 10.7\text{kg}$ 인 것으로 측정하였다. 표면 거칠기 값이 커질수록 대체로 전단 강도가 강해지는 것으로 연구되었으나 기계 연마 임플란트의 Ra 수치와 비슷한 $1.2\mu\text{m}$ 의 Ra수치를 보인 양극 산화 표면 처리 임플란트에 있어서는 전단강도에서 2배 정도의 차이가 나는 것으로 보아 임플란트 표면의 두꺼운 산화층이 골형성을 증가시킨 결과라 보고하였다.

Sul 등²³⁾은 기계연마 임플란트와 0.1M 아세트산에서 100 볼트, 200 볼트, 280 볼트, 380 볼트의 전압을 가하여 양극 산화 표면처리를 한 임플란트의 표면에 대한 여러 관찰을 하였는데, 각각의 산화막 두께는 $17\pm 6\text{nm}$, $202\pm 53\text{nm}$, $608\pm 127\text{nm}$, $805\pm 112\text{nm}$, $998\pm 199\text{nm}$ 로 보고 하였으며, 다공성 정도는 200 볼트 이상에서 산화 처리된 임플란트 표면에서만 각각 12.70%, 24.40%, 18.70%라고 하였으며, 표면 거칠기는 200볼트에서의 값이 $1.03\pm 0.33\mu\text{m}$ 로서 가장 큰 것으로 보고하였다. 또한 각 임플란트를 토끼 경골에 식립 후 6주에 제거 회전력을 측정하여, 기계 연마 임플란트와 4군의 양극 산화 임플란트에서 각각 7.5 Ncm , 7.9 Ncm , 11.3 Ncm , 12 Ncm , 12.9 Ncm 값을 보여, 200 볼트 이상에서 산화막을 형성한 임플란트에서의 제거 회전력이 대조군 보다 큰 것을 보고 하였다.

본 실험에 사용한 양극 산화 표면처리 임플란트는 200 볼트에서 처리되어 다공성의 티타늄 산화막이 형성되어 있는 것으로, 이 600nm 두께 이상의 산화막과 다공성 표면은 표면적을 증가시키며 표면 거칠기도 증진되어 골 임플란트 경계면에서의 골 임플란트 결합을 조기에 증진시키는 것으로 사료된다.

골-임플란트 접촉률에 대한 연구를 보면 Albrektsson 등²⁴⁾은 피질골 부위에서는 골유착이 잘 이루어지며, 임플란트는 최소 90-95%의 직접적인 골접촉이 나타나야 한다고 하였으나, 이후의 연구에서는 골-임플란트 접촉률이 27%-69%로 다양하다고 하였고, Vernino 등²⁵⁾은 10마리의 비비에 80개의 이중 산부식 표면처리 임플란트를 식립한 후 1개월과 2개월에 40개 썩의 단일 치관 보철물을 제작하여 저

작 기능을 하게 한 뒤, 3개월 후에 조기 저작의 효과를 조직 표본으로 관찰한 결과 골 접촉률에 있어서 각각 76.6%와 77.2%로 유의적인 차이가 없음을 관찰하여 수술 후 치유 기간이 감소될 수 있음을 보고하였다.

Lazzara 등²⁶⁾은 기계 연마 임플란트와 이중 산부식 표면 처리 임플란트를 식립하여 6개월 후에 골-임플란트 접촉률을 비교하기 위해 순수 티타늄 임플란트의 반쪽 면에 이중 산부식 표면 처리면을 형성하여 두 표면을 가진 임플란트를 만들어 11명의 환자에게 1개씩을 상악 구치부에 식립하였다. 식립 6개월 후에 임플란트와 주위 경조직을 제거하여 조직학적 분석을 시행하였는데, 이중 산부식 표면 처리면에서의 골-임플란트 접촉률은 평균 72.96%이었고, 기계 연마면에서는 평균 33.98%로 측정되었다. 수치가 낮은 50%의 값만을 평균한 값을 보면 각각 59.1%와 6.5%로서 골질의 상태가 좋지 않을수록 이중 산부식 표면 처리면의 골-임플란트 접촉률 값이 기계 연마면에 비해 더 큰 값을 갖는 것을 보고하였다.

Testori²⁷⁾ 등은 15명의 환자에게 이중 산부식 표면 처리 임플란트를 식립한 후 즉시 교합력을 가하여 48개월 후까지 경과 관찰하였다. 모두 하악의 완전 무치악 환자로서 총 103개의 임플란트를 식립하였는데 이중 92개의 임플란트에 즉시 교합력이 가해졌다. 9명의 환자에서는 식립 4시간 후에 임시 보철물을 장착하고 6개월 후에 보철물을 장착하였고, 6명의 환자에서는 식립 36시간 후에 보철물을 장착한 후 예후를 관찰하였는데 92개 중 한 개의 임플란트만이 기능 3주에 감염으로 실패되어 98.9%의 성공률을 볼 수 있었고, 나머지는 48개월 후까지 100%의 성공률을 보여, 하악의 완전 무치악 환자에 있어서 5-6개의 이중 산부식 표면 처리 임플란트에 의한 즉시 하중 임플란트 보철물이 기존의 수개월 후 교합력을 받게 되는 임플란트 치료의 대체 치료법이 될 수 있음을 보고하였다.

Trisi²⁸⁾ 등은 기계 연마 임플란트와 이중 산부식 표면 처리 임플란트에 있어서 골접촉과 골질에 대한 연구를 하였다. 상악 구치부에 2mm 지름의 임플란트를 식립 6개월 후에 trephine 하여 조직학적 표본에서 비교하였다. Image-analysis software로 50배에서 분석하였다. 기계 연마 임플란트의 골-임플란트 접촉률은 $35.32\%\pm 27.87\%$ 이었으며, 이중 산부식 표면 처리 임플란트의 골-임플란트 접촉률은 $72.35\%\pm 24.13\%$ 이었다.

Stach²⁹⁾ 등은 2614 개의 기계연마 임플란트와 2288개의 이중 산 부식 표면 처리 임플란트에 대한 계측값을 분석하여 누적 성공률(cumulative success rates)을 계산하였다. 기계 연마면 임플란트의 4-year 누적 성공률은 모든 골 부위에서 92.7%였고, 골질이 좋은 상태에서는 93.6%, 골질이 좋지 않은 상태에서는 88.2% 였으며, 이중 산 부식 표면 처리 임플란트의 4-year 누적성공률은 모든 골 부위에

서 98.4%, 좋은 골 상태에서 98.4%, 좋지 않은 골 상태에서는 98.1% 였다. 그러므로 골질의 상태가 좋지 않을 때에는 이중 산부식 표면 처리 임프란트의 식립이 예후가 좋다는 결과를 보고하였다.

Weng 등³⁰⁾은 열악한 골질 상태에서 이중 산 부식 표면 처리 임프란트와 기계 연마 임프란트의 조직학적 소견을 비교하였다. 다섯 마리의 여우 사냥개의 골 한쪽에 있는 소구치들을 발치 한 후 8개월의 치유 기간 후에 각각 두 개씩의 이중 산부식 표면 처리 임프란트와 기계 연마 임프란트를 식립하였다. 임프란트 끝은 골밀도가 낮은 하악골의 중앙 부위에 위치시켰다. 4개월 후의 조직 형태학적 소견을 평가하였는데, 임프란트 주위의 치근단 부위에서의 골밀도는 이중 산부식 표면 처리군 52.2%, 기계 연마군 49.9%로 비슷한 양을 나타내었으나 골-임프란트 접촉률은 이중 산부식 표면 처리군 62.9%, 기계연마군 39.5%로 이중 산부식 표면 처리군이 더 높았다.

본 연구에서 토끼의 경골에 임프란트를 식립 후 치유 기간에 따른 골-임프란트 접촉률은 기계 연마 임프란트에서 2주, 4주, 8주에 각각 26.85%, 64.29%, 82.66%, 이중 산부식 표면 처리 임프란트에서는 62.64%, 77.85%, 85.34%의 결과를 얻었고, 나사산 사이의 골면적 비율은 기계 연마 임프란트에서 21.55%, 49.32%, 71.62%, 이중 산부식 표면 처리 임프란트에서 42.81%, 62.60%, 87.73%로 측정되어, 식립 2주에 있어서 이중 산부식 표면 처리 임프란트가 기계 연마 임프란트보다 골형성이 약 2배 정도 많이 되어 있는 것으로 나타났다.

Kim 등³¹⁾은 50 μ m 산화 알루미늄 입자로 표면을 분사 처리한 임프란트와 분사 후에 표면을 산화 처리한 임프란트를 가토에서 연구한 결과, 식립 4주 후의 골-임프란트 접촉률은 분사 처리군에서 23.1%, 분사 후 산화 처리군에서 33.3%를 나타냈으며, 12주 후에는 유의적인 차이가 없었고, 나사선 사이에서의 골면적률은 식립 4주에서 각각 53.1%와 44.9%로 분사 처리군이 높았으나 12 주에서는 유의적 차이가 없다고 하였다.

Zechner 등³²⁾은 12 마리 성장된 미니피그에서 하악 소구치를 발치 후 다른 세 종류의 표면처리 방식의 임프란트를 각각 24개씩 매식하여 3주, 6주, 12주 후에 조직 형태학적 관찰을 시행한 연구에서, 총 관찰 기간 동안의 골-임프란트 접촉률은 기계 연마군이 19.39%, HA-coated 표면처리군이 39.05%, 양극 산화 표면 처리군이 42.72% 로 기계 연마군과 다른 두 표면 처리군 과는 차이가 있었고, 두 표면 처리군은 골-임프란트 접촉률이 유사한 값으로 관찰되었다.

Ivanoff 등³³⁾은 인체의 악골에 기계 연마 표면의 소형 임프란트와 양극산화 표면 처리된 소형 임프란트 각각 20개씩을 식립하여 상악에서는 평균 6.6 개월 동안, 하악에서는

평균 3.5 개월 동안의 치유기간 후에 조직을 관찰하였다. 임프란트 주위 조직을 trephine으로 임프란트와 함께 채취 후 조직 표본을 만들어 관찰하였는데, 양극 산화 표면 처리된 임프란트의 표면을 따라서는 새로이 형성된 가는 골소주들이 표면에 근접하여 존재하는 것이 많이 보였으나 기계 연마 표면에서는 별로 관찰되지 않았다. 골-임프란트 접촉률은 양극 산화 표면 처리군에서 상악각 각각 29%와 37% 이었으며, 기계 연마군에서는 각각 11%와 15% 이었고, 나사산 사이의 골면적은 양극 산화 표면 처리군에서 상, 하악 각각 32%와 44% 이었으며 기계 연마군에서는 23%와 31%였다고 보고하였다.

본 연구에서 양극 산화 표면 처리 임프란트의 골-임프란트 접촉률은 식립 후 2주, 4주, 8주에 각각 59.82%, 75.23%, 86.39%로 측정되었고, 나사산 사이의 골면적 비율은 40.33%, 75.56%, 83.94%로 측정되어, 식립 2주에는 기계 연마 임프란트보다 이중 산부식 임프란트와 양극 산화 임프란트에서 약 2배의 골-임프란트 접촉률과 나사산 사이의 골면적 비율을 보이므로 식립 초기에 골형성이 증진되어 있음을 확인 할 수 있었다.

피질골에 있어서 골유착 임프란트의 계면골 성장의 시간적 과정은 사람에 있어서 토끼보다 약 3배의 시간이 소요되므로³⁴⁾, 2주에는 가골이 형성되는 시기로 사람의 6주에 해당하고, 4주에는 사람에서의 3개월에 해당하며, 6주 이후는 계면골이 개조되기 시작하고 8주정도면 점차 골성숙이 되어가는 시기로 사람에서는 대략 6개월에 해당한다. 환자에게 임프란트 시술을 할 경우 즉시 하중 임프란트 외에는 대개 3개월에서 6개월 사이에 보철물을 수복하게 되는데, 이 시기가 되면 임프란트 주위 골계면에 골성숙이 이루어져 교합력에 저항할 수 있기 때문이다.

본 실험 결과에 의하면 토끼의 경골과 같이 골질이 좋지 않은 상태에 있어서도 이중 산부식 표면 처리 임프란트와 양극 산화 표면 처리 임프란트가 식립 초기의 골유착이 양호하였던 것으로 미루어 저작 기능을 조기에 수행할 수 있을 것이라 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 임프란트의 표면 처리 방법에 따른 골유착률을 비교 관찰하기 위하여 기계 연마 임프란트, 이중 산부식 표면 처리 임프란트, 양극산화 표면 처리 임프란트를 선택하여 각 임프란트의 표면을 주사 현미경으로 관찰하였으며, 체중 3.0-3.5 Kg의 NZ White 토끼 9마리를 이용하여 좌우측 경골에 총 18개의 임프란트를 식립하여 2주, 4주, 8주에 희생시킨 후 조직 표본을 만들어 광학 현미경 하에서 각각의 골형성 양상을 관찰하였고, 골-임프란트 골접촉률과 나사산 사이의 골면적 비율을 측정하여 다음의 결과를 얻

었다.

1. 주사 전자 현미경적 소견에서 기계 연마 임플란트는 평활한 표면에 굽힌 자국이 관찰되었고, 이종 산부식 표면 처리 임플란트에서는 크고 작은 수많은 미세 주름과 크고 작은 날카로운 능선이 있는 거친 골짜기 형태들이 관찰되었으며, 양극 산화 표면 처리 임플란트는 산화층과 미세기공이 전체적으로 고루 분포되어 있는 다공성의 표면이 관찰되었다.
2. 골-임플란트 접촉률은 임플란트 식립 후 2주에 기계 연마 임플란트, 이종 산부식 표면 처리 임플란트, 양극 산화 표면 처리 임플란트 순으로 각각 2주에 26.85%, 62.64%, 59.82%로 측정되었고, 식립 후 4주에는 64.29%, 77.85%, 75.23%, 식립 후 8주에는 82.66%, 85.34%, 86.39%로 측정되었다.
3. 나사산 사이의 골면적 비율은 기계 연마 임플란트, 이종 산부식 표면 처리 임플란트, 양극 산화 표면 처리 임플란트에 있어서 임플란트 식립 후 2주 째에는 각각 21.55%, 42.81%, 40.33%로 측정되었고, 식립 후 4주 째에는 49.81%, 62.60%, 75.56%로 측정되었으며, 식립 후 8주 째에는 71.62%, 87.73%, 83.94%로 측정되었다.

이상의 결과에 의하면 임플란트 식립 후 2주에서의 골-임플란트 접촉률과 나사산 사이 골면적 비율은 이종 산부식 표면 처리 임플란트, 양극 산화 표면 처리 임플란트 모두 기계 연마 임플란트보다 높았으며, 8주까지 치유 기간이 경과함에 따라 차이가 점차 감소하였다. 그러므로 이종 산부식 표면 처리 임플란트나 양극 산화 임플란트에서는 기계연마 임플란트에 비해 식립 초기에 골접촉과 골형성이 많아 저작 기능을 조기에 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kinni M, Hokama N, Caputo AA : Force transfer by osseointegration implants devices. *Int J Oral Maxillofac Implant* 8 : 151, 1993.
2. Branemark PI, Breine U, Adell R et al : Intraosseous anchorage of dental prostheses. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg* 3 : 81, 1996.
3. Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T : Osseointegration in clinical dentistry. Chicago. Quintessence 11, 1985.
4. Albrektsson T : Osseointegrated titanium implants. *Acta Orthop Scand* 52 : 155, 1981.
5. Zarb GA, Albrektsson T : A requiem for the periodontal ligament (guest editorial). *Int J Periodontics Restorative Dent* 11 : 88, 1991.
6. Linkow LI : Endosseous oral implantology. A 7-year progress report. *Dent Clin North Am* 14 : 185, 1970.
7. Albrektsson T, Dahl E, Enbom L : Osseointegrated oral implants. A Swedish multicenter study of 8139 consecutively inserted nobelpharma implants. *J Periodontol* 59 : 287, 1988.
8. Chehroudi B, McDonnell D, Brunette DM : The effects of

- micromachined surfaces on formation of bonelike tissue on subcutaneous implants as assessed by radiography and computer image processing. *J Biomed Mater Res* 34 : 279, 1997.
9. Wennerberg A, Hallgren C, Johansson C et al : Histomorphometric evaluation of screw-shaped implants each prepared with surface roughness. *Clin Oral Implants Res* 9 : 11, 1998.
10. Hahn H, Palich W : Preliminary evaluation of porous metal surfaced titanium for orthopedic implants. *J Biomed Mater Res* 4 : 571, 1970.
11. Nevins ML, Karimbux NY, Weber HP : Wound healing around endosseous implants in experimental diabetes. *Int J Oral Maxillofac Implants* 13 : 620, 1998.
12. Berglundh T, Lindhe J, Jonsson K et al : The soft tissue barrier at implants and teeth. *Clin Oral Implants Res* 2 : 81, 1991.
13. Bides MW, Misch CE : Issues in bone mechanics related to oral implants. *Implant Dent* 4 : 289, 1992.
14. Rangert B, Sullivan R, Jemt T : Load factor control for implants in the posterior partially edentulous segment. *Int J Oral Maxillofac Implant* 12 : 360, 1997.
15. Wennerberg A, Albrektsson T, Andersson B et al : A Histomorphometric and removal torque study of screw-shaped titanium implants with three different surface topographies. *Clin Oral Implant Res* 6 : 24, 1995.
16. Senerby L, Thomsen P, Eriksson L : A morphometric and biomechanical comparison of titanium implants inserted in rabbit cortical and cancellous bone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 7 : 62, 1992.
17. Johansson C, Albrektsson T : Integration of screw implants in the rabbit: A 1-year follow up removal torque of titanium implants. *Int J Oral maxillofac Implants* 2 : 69, 1987.
18. Scatzker J, Hom JC, Smith G : The holding power of orthopedic screw in vivo. *Clin. Orthop* 108 : 115, 1975.
19. Vangness CT, Carter DR, Frankel VH : In vitro evaluation of loosening characteristics of self-tapped and non-self-tapped cortical bone screw. *Clin Orthop* 157 : 279, 1981.
20. Yamagami A, Yoshihara Y, Suwa F : Mechanical and histologic examination of titanium alloy material treated by sandblasting and anodic oxidation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 20 : 48, 2005.
21. Wennerberg A, Albrektsson T : Suggested guideline for the topographic evaluation of implant surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implant* 15 : 331, 2000.
22. Buser D, Nydegger T, Hirt HP et al : Removal torque values of titanium implants in the maxilla of miniature pigs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 13 : 611, 1998.
23. Sul Y, Johansson CB, Jeong Y et al : Resonance frequency and removal torque analysis of implants with turned and anodized surface oxides. *Clin Oral Implants Res* 13(3) : 252, 2002.
24. Albrektsson T, Jacobsson M : Bone-metal interface in osseointegration. *J Prosthet Dent* 57 : 597, 1987.
25. Vernino A, Kohles S, Hoit RA et al : Dual-etched implants loaded after 1- and 2-month healing periods. A histologic comparison in baboons. *Int J Periodontics Restorative Dent* 22 : 399, 2002.
26. Lazzara RJ, Testori T, Trisi P et al : A human histologic analysis of Osseotite and machined surfaces using implants with 2 opposing surfaces. *Int J Periodontic Restorative Dent* 19 : 117, 1999.
27. Testori T, Fabbro MD, Szmukler S et al : Immediate occlusal loading of Osseotite implants in the completely edentulous mandible. *Oral Maxillofac Implants* 18(4) :

- 544, 2003.
28. Trisi P, Lazzara R, Rao W et al : Bone-implant contact and bone quality: Evaluation of expected and actual bone contact on machined and Osseotite implant surfaces. *Int J Periodontics Restorative Dent* 22(6) : 535, 2003.
 29. Stach RM, Kohles SS : A meta-analysis examining the clinical survivability of machined-surfaced and Osseotite implants in poor-quality bone. *Implant Dent* 12(1) : 87, 2003.
 30. Weng D, Hoffmeyer M, Hurzeler MB et al : Osseotite vs. machined surface in poor bone quality. A study in dogs. *Clin Oral Implant Res* 14(6) : 703, 2003.
 31. Kim Y, Koak J, Chang I et al : A histomorphometric analysis of the effects of various surface treatment methods on osseointegration. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18 : 349, 2003.
 32. Zechner W, Tangl S, Furst G et al : Osseous healing characteristics of three different implant types - A histologic and histomorphometric study in mini-pigs. *Clinical Oral Implants Research* 14 : 150, 2003.
 33. Ivanoff CJ, Widmark G, Johansson C et al : Histologic evaluation of bone response to oxidized and turned titanium micro-implants in human jaw bone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18 : 341, 2003.
 34. Misch CE : Contemporary implant dentistry, Mosby Co. 1999, p.235.

저자 연락처

우편번호 400-711

인천광역시 중구 신흥동 3가 7-206

인하대학교 의과대학 치과학교실 구강악안면외과

김일규

원고 접수일 2006년 7월 18일

게재 확정일 2006년 9월 13일

Reprint Requests

Il-Kyu Kim

Dept. of OMFS, Dept. of Dentistry, College of Medicine, Inha Univ

7-206, 3rd st, Shinheung-dong, Choong-Gu, Incheon, 400-711, Korea

Tel: 82-32-890-2470 Fax: 82-32-890-2475

E-mail: kik@inha.ac.kr

Paper received 18 July 2006

Paper accepted 13 September 2006