

임플란트 표면처리가 생체활성에 미치는 영향

전북대학교 치과대학 보철학교실, 구강생체과학연구소

이호진 · 송광엽 · 윤태호

I. 서 론

치과용 임플란트는 구강내에서 발생하는 치주질환, 치아우식증 등 여러 가지 질병으로 인하여 상실된 치아를 대체하는 수단으로 발전되어 왔으며, 이러한 방법은 현재 임상적으로 다양하고 넓게 사용되고 있다. 티타늄과 그 합금은 우수한 생체적합성과 질량대비 높은 강도, 비교적 낮은 탄성계수, 코발트 합금이나 스텐레스 스틸 같은 다른 금속에 비해 우수한 부식저항성을 가지는 등의 이유로 정형외과나 치과용으로 사용되어왔다.¹⁻⁴⁾

선반가공되어 매끈한 표면을 가진 Branemark 임플란트 등의 티타늄 임플란트는 가장 오래된 유형의 임플란트로서 외관상으로는 매끄러우나 미묘한 거칠기와 일정한 패턴을 보이는데, 표면에서 산소와 결합하여 형성된 박막의 산화막은 골형성에 유리하고 항염증성을 가지며, 우수한 생체적합성과 조직안정성을 가지고 있다.⁵⁾ 그러나 이런 형태의 임플란트는 골밀도가 낮은 type IV 골에 매식한 경우에 성공률이 55-85%로 낮은 것으로 보고되고 있다.⁶⁾ 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 최근 치과용 임플란트의 표면형태는 임플란트의 초기안정성과 골유착을 향상시키기 위해 임플란트 표면구조를 개선시키려는 많은 연구들이 시행되어졌다.⁷⁻¹³⁾

수산화인회석 분말(powder)을 플라즈마 스프레이로 코팅하거나, 티타늄 입자(particle)를 고온(1,500℃) 고속(600m/sec)으로 부착하는 방식의 표면처리법은 수산화인회석 계면의 문제점이나 티타늄 입자

들의 조직내 유리의 문제점이 보고되었다.⁷⁻⁹⁾ 이에 비해 Al₂O₃, TiO₂ 등의 입자를 분사하는 방식은 분사하는 입자크기를 다르게 하여 표면거칠기를 조절할 수 있는 장점이 있는 반면 분사된 입자가 임플란트 표면에 잔존하는 단점이 있다.^{7,14)} 이러한 문제점을 해결하기 위해 체내에서 흡수될 수 있는 수산화인회석입자나 거친 입자의 인산칼슘으로 임플란트 표면을 분사함으로 표면에서 충분한 거칠기를 형성하면서 이 임플란트의 표면에 이물질이 남지 않게 할 수 있는 resorbable blasted media(RBM) 표면처리가 소개되었다.^{15,16)}

또한 표면에 pore를 형성하여 pore 내로 골이 성장하여 3차원적인 골유착을 가능하게 하는 양극산화 불꽃방전 처리법이 소개되었는데 이는 티타늄을 인산염과 칼슘이온을 함유하는 전해질 수용액 중에서 양극산화 처리하여 산화피막을 치밀화하고 절연 파괴(dielectric breakdown)에 의한 불꽃방전으로 다공질화 처리하는 피막형성방법이다.⁵⁾

수산화인회석도포 표면은 임플란트 표면에 빠른 골침착을 유도하여 치유기간을 감소시키고,¹⁷⁾ 더 좋은 초기 고정을 가져올 수 있으며^{6,15)} 골융합의 양도 증가시켜 주위골로 하층의 분산을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.¹⁸⁾

실험적, 임상적 연구를 통하여 순수한 타이타늄 임플란트를 이용한 성공적인 골유착이 보고되어 왔으나,¹⁹⁻²¹⁾ 장기적이고 광범위한 임플란트 연구에도 불구하고 임플란트와 골의 직접적인 접촉에 관한 이상적인 골유착의 정도에 대해서는 아직 명확히 밝혀지지 않았

고, 표면 거칠기 이외에도 ionic charge, 표면 에너지, surface tension, 임플란트의 형태, 및 표면처리의 방법에 따라 다양한 결과가 나타난다고 보고되었다.⁸⁻¹³⁾

임상적, 실험적으로 임플란트의 안정성과 골유착을 진단하기 위한 가역적인 방법으로는 타진반응, 방사선검사, Periotest (Siemens AG, Germany) 및 Dental Fine Tester (Kyocera, Japan) 등이 있다. 그러나 술자간의 시술방법과 적용에 따른 차이 때문에 술자마다 차이가 날 수 있으므로 표준화가 어려운 단점이 있다. Meredith 등²²⁻²⁵⁾은 임플란트의 안정성을 정량적으로 측정하기 위한 가역적인 실험법을 개발하였는데 이러한 공진주파수 분석(resonance frequency analysis, RFA)이 생체내에서 임플란트의 안정성을 정량적으로 측정하는데 유용한 방법으로 인정되고 있다.

가역적인 방법외에 골내 임플란트 매식 후 치유과정을 평가하기 위한 비가역적 방법으로 조직계측학적 방법, 전단강도 측정, 제거회전력 측정 등이 있다. Johansson과 Albrektsson²⁶⁾에 의해 사용된 제거회전력은 골과 임플란트 계면의 기계적인 결합력을 측정하는데, 이는 임플란트 표면의 구조, 임플란트의 형태적 특성, 임플란트와 골계면의 조직 구조 및 인접골의 골면적율에 따라서 영향을 받지만 골과 임플란트 계면의 치유 상태를 평가하는 객관적이고 기초적인 기준을 제공함으로써 임플란트의 골유착 정도를 판단하는 방법으로 사용될 수 있다.

지금까지 표면처리된 임플란트를 사용한 실험보고^{7,27,28)}가 대부분 조직형태계측(histomorphometry)과 회전제거력(removal torque)을 비교분석하였고, 표면처리된 임플란트 종류에 따른 공진주파수와 골접촉률 및 회전제거력에 관한 연구보고는 많지 않은 상태이다. 회전제거력과 공진주파수분석법은 이전의 연구들에 의해 골유착이 형성된 임플란트 계면의 안

정성과 견고성을 평가하는 생체역학적인 테크닉으로 생각된다.

본 연구에서는 표면처리가 다른 4종의 임플란트를 뉴질랜드 가토의 경골에 이식하고 즉시하중법(immediate loading)과 지연하중법(delayed loading)의 가능성을 비교하기 위해 매식 후 1주와 6주후에 희생하였다. 각각의 임플란트의 안정성을 비교하기 위해 Meredith²²⁾에 의해 개발된 공진주파수 측정장치를 이용하여 시간경과에 따른 변화를 측정하고, 이 결과를 회전제거력과 비교하여 상관관계를 평가해 보았다.

II. 연구재료 및 방법

1. 실험 재료

지름 3.3 mm, 길이 7.2 mm (5 mm의 식립 길이)의 나사형 임플란트 80개를 제작하여 사용하였다. 선반가공하여 평활한 표면(machined smooth surface)을 가진 20개의 임플란트를 대조군으로 사용하였으며, 실험군은 RBM 표면처리, 양극산화법으로 표면 처리 및 양극산화법으로 표면 처리 후 수산화인회석 졸-겔 코팅한 3개의 군으로 나누어 각 군별로 20개씩 제작하였다(Table I).

2. 실험동물의 준비 및 임플란트 매식

체중 3.0 kg 내외의 약 5개월령의 임상적으로 건강한 수컷토끼 (New Zealand White) 20두를 구입하여 수술 전 2~3일간 예비사육을 하여 건강상태를 살펴 이상 유무를 확인한 후에 실험에 사용하였다.

전마취제로 Atropine sulfate (Atropine, Daewon Ltd, Korea) 0.017 mg/kg를 피하주사한 후 Xylazine

Table I. Surface treatment of implants used in this study

Code	Surface characteristics	Number
Machined	Smooth and polished	20
RBM	Hydroxyapatite blasted	20
Anodized	Anodic oxidation	20
HA	Hydroxyapatite Sol-gel after Anodic oxidation	20

HCl(Rompun, Bayer Chemical Co., Korea) 0.7 mg/kg과 Ketamine HCl(Ketara, Yuhan Ltd, Korea) 16.7 mg/kg을 정맥주사 하였다. 수술을 시행할 좌우측 다리 내측 부위의 털을 깎고 iodine과 70% ethanol의 혼합체로 소독하였다. 경골 골간단의 전내측쪽에 절개를 행한 뒤 피부, 근육, 근막 및 골막을 거상하여 골을 노출시켰다. 충분한 주수 하에서 순차적인 크기의 드릴을 2,000 rpm을 넘지 않는 저속으로 사용하면서 4종류의 표면처리된 임플란트를 경골 골간단의 안쪽 측면의 평편한 부위에 5 mm 간격을 두고 좌우측에 2개씩 매식하였다. 사용된 드릴의 직경은 점차적으로 증대되었고, tapping을 시행하였으나, countersinking은 시행하지 않았다.

임플란트가 안정적으로 식립된 후 커버 스크류를 체결하고 수술부위를 4-0 흡수성 봉합사(Vicryl, Ethicon Ltd., England)로 봉합하였다. 술 후 감염방지를 위해 모든 토끼에게 Amikacine(Dong-A Co., Korea) 4 mg/kg을 근육 주사하였다. 실험 후 토끼들은 분리된 장소에서 표준식이로 사육되었다.

3. 골반응의 평가

1) 공진주파수분석

임플란트가 식립된 후 1주와 6주의 치유기간을 가진 뒤 자기공명 분석을 위해 8마리의 토끼를 밀폐된 공간에서 이산화탄소를 이용하여 희생하였다. 임플란트가 매식된 부위를 노출시키고 커버스크류 연결 부위에 트랜스듀서를 연결하고 Osstell Mentor(Integration Diagnostic Ltd., Sweden)를 이용하여 임플란트 안정도 지수 (implant stability Quotients, ISQ) 단위로 기록하였으며 각각의 임플란트에서 3 번씩 측정하여 안정성의 변화를 비교분석하였다.

2) 제거회전력의 측정

자기공명분석이 끝난 토끼들의 제거회전력을 측정하기 위해 임플란트의 상부 홈에 맞도록 제작된 마운트를 임플란트에 끼우고 디지털 토크 게이지(9810P, Aikoh Engineering Co, Japan)에 연결하였다. 골에서 임플란트가 풀릴 때의 최대값을 측정하여 제거회전력으로 기록하였다.

4. 통 계

자기공명분석과 회전제거력의 평균값과 표준편차를 구하였고 one-way ANOVA와 Tukey test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1) 주사전자현미경 분석

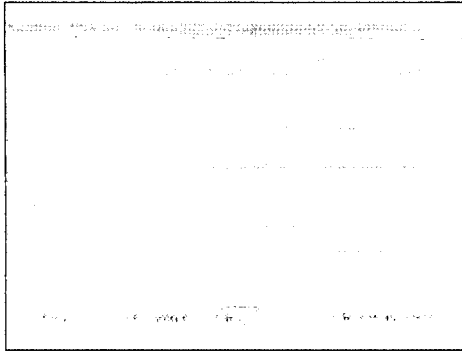
실험에 사용된 임플란트 표면을 주사전자현미경으로 관찰하였다(Fig. 1). 선반가공된 임플란트의 표면은 기계가공된 줄무늬 형태가 일정하게 요철을 형성하는 모습을 보였다. RBM 처리된 표면은 예리하면서 불규칙한 산과 계곡의 형태를 이루어 표면거칠기가 증가한 모습을 보였다. 양극산화 처리된 표면의 임플란트는 다공성의 분화구와 같은 형태를 보이며 불규칙한 거칠기를 나타내었다. 양극산화후 수산화인회석 코팅된 표면의 임플란트는 양극산화처리된 표면에 비해 다소 부드러운 거칠기를 보이며 얇은 두께의 수산화인회석 막이 관찰되었고, 수산화인회석으로 생각되는 구형의 결정들이 공극의 상부에 분포되어 있는 모습이 관찰되었다.

2) EDX 분석

위에서 양극산화 처리된 표면과 양극산화 후 수산화인회석 코팅된 표면에서 주사전자현미경으로 관찰된 시편의 라인 분석을 시행하여 시편표면의 산화막의 정도를 평가하였다(Fig. 2). 양극산화 처리한 표면에서는 인이 관찰되었는데 이는 사용된 용액에 의해 영향을 받았을 것으로 생각되며, 칼슘은 관찰되지 않았다. 그러나 수산화인회석 코팅 처리된 표면에서는 인과 칼슘의 피크가 관찰되었다.

3) 공진주파수분석

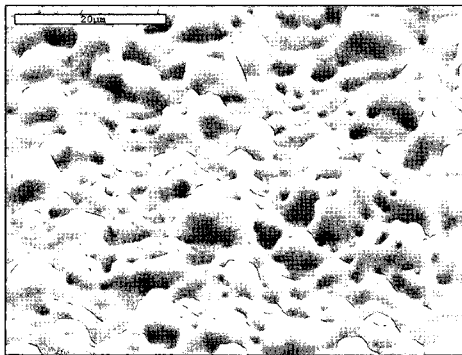
임플란트 식립 후 1주와 6주가 경과한 후에 식립된 임플란트의 공명주파수 측정(ISQ)을 시행하였으며 결과는 Table II 및 Fig. 3과 같다. 같은 실험기간에서 실험군사이의 공명주파수 측정결과를 통계학적으로 분석한 결과 1주후의 실험군내에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 6주후의 실험군내에서도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나



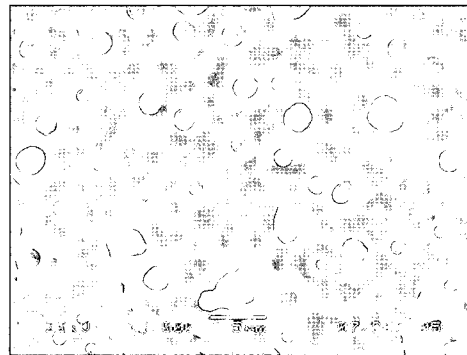
(a) Machined



(b) RBM

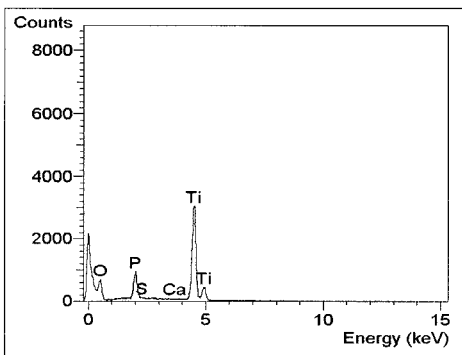


(c) Anodized

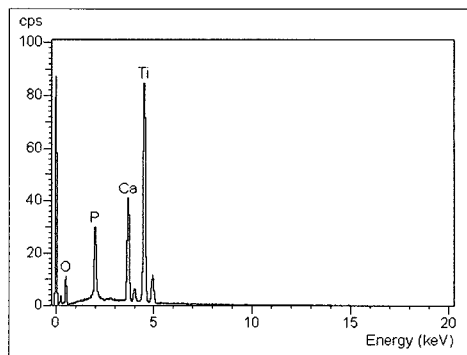


(d) anodized and HA coated

Fig. 1. SEM pictures of the four different implant groups. (a) machined, (b) RBM, (c) Anodized and (d) Hydroxyapatite sol-gel coated after anodized.



(a) Anodized



(b) Anodized and HA coated

Fig. 2. EDX analysis of (a) anodized and (b) HA coated after anodizing.

1주후와 6주후의 결과를 비교한 결과 모든 표면처리 군에서 유의하게 증가된 ISQ 수치를 보였다.

4) 제거회전력 분석

임플란트를 식립한 후 1주와 6주가 경과한 후에 식립된 임플란트의 제거회전력을 측정하였으며 결과는 Table III 및 Fig. 4와 같다. 같은 실험기간에서 실험군 사이의 제거회전력을 통계학적으로 비교하여보면 1주후의 실험군은 표면처리에 따른 제거회전

력의 유의한 차이를 보이지 않았다. 6주후의 실험군은 HA, Anodized, RBM, Machined의 순서로 측정 결과가 감소하였으며 HA와 Anodized 군은 유의한 통계적 차이를 보이지 않았지만 두 군은 RBM과 선반가공한 군에 비해 유의하게 높은 결과를 보였다. 1주 후의 제거회전력에 비해 6주후의 제거회전력은 표면처리에 상관없이 모든 군에서 유의하게 높은 토크의 증가를 보였다.

Table II. RFA values depending on time tested(ISQ)

		Machined	RBM	Anodized	HA
1 wk	Mean	56.2 ^a	57.2 ^a	61.33 ^a	62.8 ^a
	(SD)	-6.6	-8.7	-10.5	-6.7
6 wk	Mean	74.2 ^b	76.5 ^b	74.8 ^b	74.0 ^b
	(SD)	-3.1	-4.7	-5.6	-6.9

ISQ : Implant Stability Quotients

a, b : Same letter means statistically not significant.

Table III. Removal torque values depending on time tested(N/cm)

		Machined	RBM	Anodized	HA
1 wk	Mean	6.2 ^c	6.9 ^c	7.5 ^c	9.7 ^c
	(SD)	-2.4	-3.2	(4.1)	-4.6
6 wk	Mean	27.6 ^d	46.9 ^e	69.1 ^f	70.1 ^f
	(SD)	-7.8	-7.9	(4.0)	-5.1

c, d, e, f : Same letter means statistically not significant.

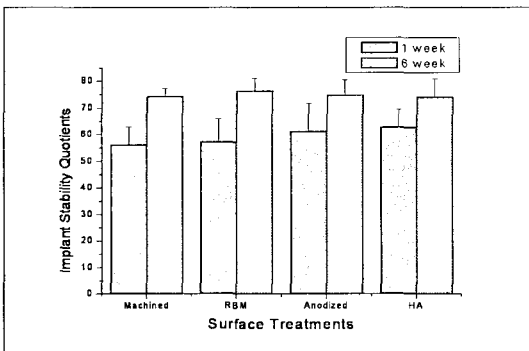


Fig. 3. Mean values of the resonance frequency measurements(ISQ) after one week and six weeks of healing time.

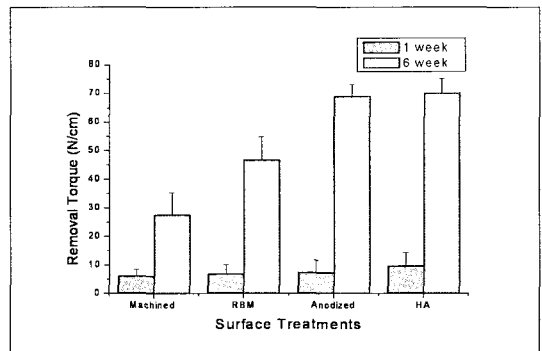


Fig. 4. Mean values of the removal torque(N/cm) after one week and six weeks of healing time.

IV. 총괄 및 고찰

치과용 임플란트가 구강 내에서 상실된 치아를 대체하여 그 기능들을 효율적으로 이행할 수 있도록 하는 임플란트의 임상적 성공은 골조직과 임플란트가 결합조직의 개재 없이 직접 접촉하여 외부의 하중이나 부하를 바로 골조직으로 전달할 수 있는 기능적, 구조적 결합으로 정의되는 골유착에 절대적으로 의존하며, 이는 임플란트 보철치료에서 장기적인 예후와 관련이 있다.

임플란트의 안정성과 골 유착의 임상적 측정은 임플란트의 성공 여부를 평가하는데 중요하다. 임플란트의 안정성은 식립 시 일차 안정성과 골 치유와 골 형성결과에 의한 이차 안정성으로 구분할 수 있는데 임플란트의 골유착을 이루기 위한 필수 조건은 임플란트의 초기 안정성이며, 이러한 안정성은 임플란트 식립 부위의 골질과 골량, 임플란트의 길이, 직경, 형태, 식립방법, 술자의 외과적 시술능력 외에도 임플란트의 표면 처리방법 등에 의해 좌우된다.^{29,30)}

지난 10여년간 골유착형 임플란트는 표면 거칠기를 변화시키는 표면형상 (topographic) 변화에 초점이 맞추어져 왔다. 현재 임상적으로 유용한 많은 치과용 임플란트들이 골유착 정도를 증가시키기 위해 plasma-sprayed, acid-etched, blasted 등의 여러 가지 다양한 변화된 '거친' 표면을 가진 임플란트들이 시판되어지고 있다. 그러나 임플란트의 표면은 표면형상의 변화뿐 아니라 화학적, 그리고 물리적 성질의 개선을 통해서도 임상적으로 양호한 결과를 가져올 잠재력을 많이 가지고 있다.

최근 소개된 양극산화처리법은 임플란트표면의 화학조성, 결정구조, 거칠기, 형태를 변화시켜 다공성의 두꺼운 산화막층을 형성함으로써 임플란트와 골 사이의 마찰력을 증가시킬 수 있다고 하였다. 또한 증가된 표면은 단백질 흡수와 혈소판의 축적과 활동, 섬유소의 유지, 주위 골조직의 증대를 통해 초기치유를 촉진시켜준다고 하였다.³¹⁾

양극산화를 이용하여 산화막의 두께를 다양하게 변화시킨 연구에서, 산화막의 두께를 600 nm 이상 증가시켰을 때 강한 골반응을 보였는데, 이는 산화막을 증가시켰을 때 변화된 산화막의 두께, 미세구멍의 분포, 다공성 및 산화막의 결정성이 이런 조직

형태학적인 변화에 영향을 주었다고 보고하면서, 산화막의 두께는 전압, 전류, 전해질 농도, 전해질 온도, 교반 속도 및 티타늄 전극의 화학구성 등에 영향을 받는다고 하였다. 또한 산화막의 두께를 증가시킬 때 산화막에 Ca를 침착시킴으로서 미세한 다공성의 표면구조를 기본으로 한 기계적인 결합뿐 아니라 생화학적 결합도 얻을 수 있으며 이런 생화학적 결합이 더 빠르고 강하였다고 하였다.³²⁾ Ca-P를 기초로 한 생활성 및 생분해성 세라믹은 화학적 성분이 정상 생체 조직과 유사하고 여러 조직에서 생체 적합성이 우수하여 경조직 및 연조직과의 부착이 용이하며, 열과 전기 전도성이 낮아 이온 이동에 대한 물리적 및 화학적 방어벽 역할을 하며, 또한 부하를 받는 임플란트 중 탄성 계수가 골과 가장 유사하다고 한다.¹⁴⁾

양극산화법과 더불어 최근에는 수산화인회석층의 표면침식,³³⁾ 임플란트 표면에서 탈락 및 흡수³⁴⁾ 등 계면에서 유리되는 문제점을 보였던 수산화인회석 코팅을 보완하기 위한 코팅방법으로 양극산화 후 열수처리,³⁵⁾ 양극산화 후 수산화인회석 줄-겔 코팅^{36,37)} 등이 소개되었다.

Ishizawa 등³⁵⁾은 양극산화 후 열수 처리하여 형성된 수산화인회석 결정은 식립 8주 후 표면에서 골조직 내에서 흡수되지 않는 정방형의 결정형태로 존재하며, push-out test와 골침착 정도에서 티타늄보다 더 나은 결과를 보여주었다고 보고하였다. Li 등³⁶⁾은 줄-겔 방법에 의해 형성된 수산화인회석 박막 코팅은 얇고 부드러운데, 이 공정과정이 용액을 이용한 상태로 진행되기 때문에 거칠고 복잡한 형상의 재료를 코팅하기에 효과적인 방법이라고 하였다. 또한 양극산화 후 줄-겔 코팅을 하였을 때 표면형태와 거칠기에 변화를 주지 않으면서 칼(Ca)과 인(P)의 양이 표면에서 현저하게 증가한 것이 발견되었고, osteoblast-like 세포들의 Alkaline Phosphatase (ALP) 활성과 증식을 유의하게 향상시켰음을 보고하였다.

본 실험에서도 줄-겔 법을 이용하여 수산화인회석으로 10 nm 두께의 박막을 코팅하고 실험에 사용하였는데 시편의 표면분석에서는 Ca와 P가 검출되었지만 표면의 거칠기와 표면형상은 양극 산화 처리된 군에 비해 변하지 않은 모습을 관찰할 수 있었다.

지금까지 임플란트 식립 시 초기 안정성의 측정은 경험적이고 주관적이었다. 따라서 매식체 식립 시에 초기 안정성과 기능 시 임플란트의 상태를 모니터링 하는 것이 가능하고 정량적으로 정확하게 측정할 수 있다면 임플란트의 실패율을 줄일 수 있을 것이다.

전반적이고 체계적인 임플란트의 성공의 기준을 명확히 제시하기 위해서는 분명 정밀하고 객관적인 측정기술과 평가 방법이 요구된다. 임플란트의 안정성을 객관적으로 수치화하여 평가하는 방법으로 Shulte^{38,39)}에 의해서 Periotest가 개발이 되어 임플란트의 동요도를 측정함으로써 보철물을 장착하기 전, 치유기간이 더 필요한 지의 여부를 결정하는데 도움을 줄 수 있었지만 이러한 기술도 지대치에 대한 각도와 높이, 임플란트의 측정 rod 사이 거리에 민감한 등의 맹점을 가지고 있었다.⁴⁰⁾

이러한 점을 고려하여 Meredith²²⁻²⁵⁾ 등은 특정 주파수 범위에서 주파수를 고주파에서 저주파 혹은 저주파에서 고주파로 연속적으로 변화시킨 정현파(single wave)를 일정한 진폭으로 가진하는 공진 주파수 분석장치를 개발하였다. 공진 주파수는 임플란트-조직 계면의 견고도와 유효 지대주 길이에 영향을 받고, 식립 시기의 골질, 치유기간 동안의 골의 견고도의 변화, 임플란트 주위변연골 높이의 변화를 반영하며, 임플란트 식립 후의 안정성 변화 측정을 가능하게 해준다고 보고하였다.^{22,24)} 이 기술은 많은 실험에서 사용되었으며 동물실험에서 골의 형성에 기인하는 임플란트의 견고성(stiffness)의 증가를 관찰할 수 있는 것이 발견되었다.⁴¹⁾

골 유착된 골-임플란트 계면의 질을 평가하는 비가역적 방법으로는 생체역학적인 테스트와 조직형태학적 분석이 흔히 사용되고 있다. 생체 역학적인 테스트의 일반적인 세가지 타입은 pull-out, push-out 및 토크 측정이다. push-out 이나 pull-out 검사는 실린더형이나 press-fit 임플란트에 적용되며 반면에 나사형 임플란트에는 토크측정이 효과적으로 사용되고 있다. 이중 제거회전력 측정 방법은 임플란트를 역회전 시키기위해 적용된 countertorque를 측정하는 것으로 임플란트와 골사이의 생체역학적 결합(biomechanical bond)이 깨지는 시점에서 평가한다. Johansson과 Albrektsson²⁶⁾이 나사형 임플란트와 골과의 결합력을 평가하기 위해 처음으로 사용한 이후

현재 많이 쓰이고 있는 방법으로, 골조직과 임플란트 사이의 계면 전단력을 대략적으로 반영하는 3차원적인 시험방법이 될 수 있다. 이 기구는 시술자의 시술에 의한 오차를 줄이기 위해 고정된 회전율을 가지며, 높은 재현성과 낮은 술자 민감도를 가진다. 이러한 제거회전력에 영향을 주는 요소로는 임플란트 표면 구조, 임플란트의 기하학적 특성, 계면의 조직 구조, 골과의 접촉면적 및 주위 골의 양과 질 등이 있을 수 있다. 조직 형태학적 분석은 단면을 분석하는 방법이므로 제거회전력 측정이 인장강도를 3차원적으로 반영하는 것에 비하여 단지 일차원적으로 행해지는 것이라고 생각할 수 있다.

곽²⁹⁾ 등은 가토 경골에서 결정형의 수산화인회석 박막 표면 처리한 임플란트와 SLA 표면 처리한 임플란트가 선반가공된 표면의 임플란트에 비해 3, 5 및 12주의 치유기간 후 높은 제거회전력을 보였으며, 모든 군에서 12주차의 제거력이 유의성있게 높아지는 것을 보고하였다. Buser 등⁷⁾은 시판중인 길이가 서로 다른 임플란트를 사용하여 회전제거력을 측정한 결과 입자분사 후 산부식(SLA) 처리한 임플란트가 화학적으로 산처리한 임플란트보다 길이가 짧은 경우에도 모든 실험기간 더 높은 수치를 나타내므로 임플란트의 표면적의 차이보다는 임플란트의 표면처리의 차이가 골유착에 영향을 주는 것으로 생각하였다. 이상의 실험들은 선반가공된 임플란트에 비해 다양한 표면처리에 따라 넓어진 임플란트의 표면적이 골조직의 반응을 향상시켜 골유착이 증가되었을 수도 있지만 표면처리하는 방법에 따라 표면에서 형성된 화학적 조건이 변화하여 골조직과의 반응성을 유도하는 기전이 달라졌을 수 있는 가능성을 보여주고 있으며, 이는 지금까지 변화해온 표면처리가 골접촉율이나 골밀도의 연구를 통해서 보여진 골유착의 향상에 의해 설명될 수 있다고 생각된다.

양극산화법에서 전압에 변화를 주어 산화막의 두께와 pore 크기를 변화시킨 임플란트를 토끼의 경골에 매식하고 공진주파수분석법을 측정한 최 등⁴²⁾의 연구에 의하면 수술 후 3개월의 수치는 술 후 즉시 측정한 수치나 술 후 1개월에 측정한 수치에서 수치의 증가가 관찰되지는 하였지만 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 김 등³⁷⁾은 표면처리가 다른 5종의 임플란트의 안정성에 대한 연구에서 공

진주파수 분석을 이용하여 식립 직후와 3주, 6주 및 10주 후의 안정성을 측정된 결과 5종류의 임플랜트들 간에 측정시기에 따라 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지는 않았으며, 골질이 양호한 경우 임플랜트의 표면처리가 공진주파수 분석이나 골밀도에 유의할만한 변화를 나타내지는 않지만 골접촉률은 증가시킨다고 보고하였다.

본 연구에서도 1주후 군에 비해 6주후 군이 유의한 증가를 보이기는 했지만, 1주후의 군내에서와 6주후의 군내에서는 표면처리 방법에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 실험의 조직형태학적 분석 결과 양극산화 처리된 임플랜트와 수산화인회석코팅을 이용한 임플랜트에서 골접촉률이 증가하였고, 따라서 화학적 결합의 가능성을 생각 할 수 있다. 또한 본 실험에서 측정된 6주 후의 제거회전력의 차이는 양극산화 처리된 표면과 양극산화 후 수산화인회석 코팅된 표면은 유의한 차이를 보이지 않았지만 두 군은 RBM 처리 표면과 선반가공된 표면처리군에 비해 유의하게 높은 값을 보였다.

각 표면처리에 대한 공진주파수 및 제거회전력의 관계를 살펴보면 시간의 흐름에 따라 골조직은 활발한 골 개조가 이루어지고 임플랜트의 나사산 사이로 골이 차들어가며 임플랜트가 안정적이고 견고해지는 것을 생각할 수 있다. 그러나 골조직과 임플랜트가 결합하는 면적이나 결합하는 방식이 달라지는 것을 생각해 볼 수 있다. 즉 Su²⁰이 말했듯이 다공성의 pore 내로 성장해간 골은 더 복잡한 구조의 맞물림(interlocking)을 형성하여 비틀림에 더 강하게 저항할 수 있는 것으로 생각된다.

본 연구는 기존의 임플랜트 표면처리방법에 따른 골유착의 효율성을 실험한 연구들의 방법을 다양화하고 비가역적 측정법의 데이터를 보완하여 보다 신뢰성있는 임플랜트의 선택기준에 지침을 제공하고자 실행되었다. 특히 본 연구에서 사용되어진 공명주파수분석은 임플랜트의 성공 여부에 대한 유용한 정보를 제시 하는 것으로 생각되어졌지만 지금까지 보고된 연구들에서는 공명주파수분석에 대한 특성에 대한 이해가 부족하였다는 점을 간과하지 않을 수 없다. 임플랜트 표면처리 기술이 지속적으로 발전함에 따라 다양한 형태의 표면이 개발되었고, 그

각기 다른 형태에 따라서 공명주파수분석의 해석도 다르게 할 필요가 있다는 것이다. 즉, 공명주파수분석은 임플랜트와 골의 접촉 정도를 나타낼 수는 있으나, 결합력을 나타내는 것은 아닌 걸로 생각된다. 이러한 이유는 공명주파수 분석에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 ISQ 수치를 보였고 이는 골조직과 다양한 표면처리를 한 임플랜트가 유사한 결합을 이룬 것으로 예상되었지만 제거 회전력측정에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내는 제거회전력 즉, 결합 정도를 나타내기 때문이다. 이러한 양상은 양극산화법이나 양극산화법 처리 후 수산화인회석을 졸-겔법에 의해 도포 시 나타나는 화학적 표면처리 후에 두드러지게 관찰할 수 있었다. 또한, 인간과 토끼의 치유기전이나 치유기간의 차이점, 1주와 6주 이외의 변화양상에 대한 고찰 등이 고려되어야 할 것이다.

IV. 결 론

임플랜트 표면처리 방법에 따른 골 부착양식을 비교 평가하는 것은 임상적으로 임플랜트 선택에 유용한 척도가 될 수 있을 것으로 기대되어, 본 연구에서는 선반가공된 것과 RBM, 양극산화 처리한 것, 양극산화 처리 후 sol-gel법을 이용하여 수산화인회석 피복한 임플랜트를 20 마리의 뉴질랜드 가토의 경골에 식립하여 공진주파수분석법과 회전제거력을 측정하여 골반응 결과를 살펴봄으로써 임플랜트 표면처리 방법과의 상관관계에 대한 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

1. 자기 공명분석에서 식립 1주 후 ISQ 수치는 각 군간에 유의한 차이를 보이지 않았으며, 식립 6주 후 ISQ 수치도 군간에 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 그러나 1주 군들에 비해 6주 후 군에서 유의한 증가를 관찰할 수 있었다($p < 0.05$).
2. 회전제거력 분석에서 식립 1주 후 각 군간에 유의한 차이를 보이지 않았지만 ($p > 0.05$), 식립 6주 후 식립 1주에 비해 실험군 모두에서 유의한 증가를 보였다($p < 0.05$).
3. 식립 6주 후 제거 회전력 분석에서 양극산화한 군과 양극산화 후 수산화인회석 코팅한 군은 유

의한 차이를 보이지 않았지만($p > 0.05$), 두 군은 RBM 표면처리 군과 선반가공 처리한 군에 비해 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

참고문헌

1. Long M, Rack HJ. Titanium alloys in total joint replacement: A materials science perspective. *Biomaterials* 1998; 19:1621-1639.
2. Gu H, Xu G. *Biomedical material science*. Tianjin: Science Translation Press: 1993.
3. Wilke A, Landgraff M, Orth J, Kienpfel H, Grissand P, Franke R. Human bone marrow cell cultures: A sensitive method for determination of the biocompatibility of implant materials. *ATLA* 1999;27:137-151.
4. Brunette DM, Tengvall P, Textor M, Thomsen P. *Titanium in medicine*. Berlin: Springer;2001.
5. Quirynen M, Bollen CM, Papaioannou W, Van Eldere J, van Steenberghe D. The influence of titanium abutment surface roughness on plaque accumulation and gingivitis: Short-term observations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:169-178.
6. Hutton JE, Health MR, Chai JY, Harnett J, Jemt T, Johns RB. Factors related to success and failure rates at 4-year follow-up in a multicenter study of overdentures supported by Branemark implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:33-42.
7. Buser D, Schenk RK, Steinemann S, Fiorellini JP, Fox CH, Stich H. Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs. *J Biomed Mat Res* 1991;25:889-902.
8. Gottlaner M, Albrektsson T. Histomorphometric studies of hydroxylapatite-coated and uncoated CP titanium threaded implants in bone. *Int J Oral and Maxillofac Implants* 1991;6:399-404.
9. Wennerberg A, Albrektsson T, Andersson B. Design and surface characteristics of 13 commercially available oral implant systems. *Int J Oral and Maxillofac Impl* 1993;8:622-633.
10. Rompen E, DaSilva D, Lundgren AK. Stability measurements of a double-threaded titanium implant design with turned or oxidized surface. *Applied Osseointegration Research* 2001;2:18-20.
11. Glauser R, Portmann M, Ruhstaller P. Initial implant stability using different implant designs and surgical techniques. *Applied Osseointegration Research* 2001; 2:6-8.
12. Cooper LF. A role for surface topography in creating and maintaining bone at titanium endosseous implants. *J Prosthet Dent* 2000;84:522-534.
13. Wennerberg A, Albrektsson T, Andersson B, Eng M. Design and surface characteristics of 13 commercially available oral implant systems, *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993;11:38-45.
14. Kim YH, Heo SJ. A histomorphometric analysis for the effect of various surface treatment methods on the osseointegration. *J Korean Acad Prosthodont* 2004;42:318-329.
15. Piattelli M, Scarano A, Paolantonio M, Iezzi G, Petrone G, Piattelli A. Bone response to machined and resorbable blast material titanium implants: An experimental study in rabbits. *J Oral Implantol* 2002; 28:2-8.

16. Sanz A, Oyarzun A, Farias D, Diaz I. Experimental study of bone response to a new surface treatment of endosseous titanium implants. *Implant Dent* 2001; 10:126-131.
17. Deporter DA, Watson PA, Pilliar RM. A histological assessment of the initial healing response adjacent to porous surfaced Ti alloy dental implants in dogs. *J Dent Res* 1986;65:1064-1070.
18. Pilliar RM, Deporter PA, Watson PA. The effect of partial coating with hydroxypapite on bone remodeling in relation to porous-coated titanium-alloy dental implants in the dog. *J Dent Res* 1991;70:1338-1345.
19. Branemark PI. Introduction to osseointegration. Tissue-integrated prostheses. Osseointegration in clinical dentistry. Chicago, Quintessence Publishing Co., 1986:11-76.
20. Adell R, Eriksson B, Lekholm U, Branemark PI, Jemt T. A long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral and Maxillofac Implants* 1990;5: 347-359.
21. Van Steenberghe D, Lekholm U, Bolender C, Folmer T, Henry P, Herrmann I. The applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism. A prospective multicenter study of 558 fixtures. *Int J Oral and Maxillofac Implants* 1990;5:271-281.
22. Meredith N. On the clinical measurement of implant stability and osseointegration. Thesis. Department of Biomaterials/Handicap Research, Institute for Surgical Sciences, Gothenburg University. Gothenberg, Sweden. 1997.
23. Meredith N, Alleyne D, Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Impl Res* 1996;7:261.
24. Meredith N, Book K, Friberg B, Jemt T, Sennerby L. Resonance frequency measurements of implant stability in vivo. *Clin Oral Implant Research* 1997;8:226.
25. Meredith N, Rasmussen L, Sennerby L, Alleyne D. Mapping implant stability by resonance frequency analysis. *Med Sci Research* 1996;24:191.
26. Johansson C, Albrektsson T. Integration of screw implant in the rabbit. A one year follow up of removal torque of titanium implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987;2:69-75.
27. Ivanoff CJ, Sennerby L, Lekholm U. Influence of mono and bicortical anchorage on the integration of titanium implants. A study in the rabbit tibia. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1996;25:229-235.
28. Kwak MB, Lee CH. The evaluation of the removal torque and the histomorphometry of the Ca-P coating surface in rabbit tibia. *J Korean Acad Prosthodont* 2004;42:556-571.
29. Albrektsson T, Jacobsson M. Bone-metal interface in osseointegration. *J Prosthet Dent* 1987;57:597-607.
30. Carlsson L, Rostlund T, Albrektsson B, Albrektsson T. Implant fixation improved by close fit. Cylindrical implant-bone interface studied in rabbits. *Acta Orthop Scand* 1988;59:272-275.
31. Larsson C, Thomsen P, Aronsson BO. Bone response to surface modified titanium implants. Studies on the tissue response after one year to machined and electropolished implants with different thickness. *J Mat Sci Materials in medicine* 1997; 8:721-729.

32. Sul YT. On the bone response to oxidized titanium implants: The role of microporous structure and chemical composition of the sulfide oxide in enhanced osseointegration[thesis]. Goteborg, Sweden: Goteborg Univ, 2002.
33. Cheang P, Khor KA. Addressing processing problems associated with plasma spraying of hydroxyapatite coatings. *Biomaterials* 1996;17:537-544.
34. Wheeler SL. Eight-year clinical retrospective study of titanium plasma-sprayed and hydroxyapatite coated cylinder implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996; 11:340-350.
35. Ishizawa H, Fujino M, Ogino M. Mechanical and histological investigation of hydrothermally treated and untreated anodic titanium oxide films containing Ca and P. *J Biomedical Materials Research*, 1995; 29:1459-1468.
36. Li LH, Kim HW, Lee SH, Kong YM, Kim HE. Biocompatibility of titanium implants modified by microarc oxidation and hydroxyapatite coating. *J Biomed Mater Res* 2005;73A:48-54.
37. Kim SJ, Shin SW, Jung SM, Ryu JJ. A study on the stability of 5 different surface treatment methods to dental implant using resonance frequency and histomorphometric analysis. *J Korean Acad Prosthodont* 2005;43:78-92.
38. Shulte W. The Periotest periodontal status. *Zahnarztl Mitt* 1986;76:1.
39. Shulte W. A new field of application of the Periotest method. The occlusal-periodontal load can now be measured quantitatively. *Zahnarztl Mitt* 1988;78:474.
40. Derhami K, Wolfaardt JF, Dent M, Faulkner G, Grace M. Assessment if the periotest device in base line mobility measurements of craniofacial implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:221.
41. Meredith N, Shagaldi F, Alleyne D, Sennerby L, Cawley P. The application of resonance frequency measurements to study the stability of titanium implants during healing in the rabbit tibia. *Clin Oral Implants Res* 1997;8:234-243.
42. Choi JW, Heo SJ, Chang IT, Koak JY, Han JH, Kim YS, Lee SH, Yim SH. Resonance frequency analysis of implants with anodized surface oxides. *J Kor Acad Prosthodont* 2004;42:305-311.

Reprint request to:

Kwang-Yeob Song, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chonbuk National University
 664-14 Duchjin-dong, Duckjin-ku, Jeonju, Jeonbuk. 561-756, South Korea
 skydent@chonbuk.ac.kr

ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENT SURFACE TREATMENTS TO INCREASE BIOCOMPATIBILITY OF DENTAL IMPLANT

Ho-Jin Lee, D.D.S., M.S.D., Kwang-Yeob Song, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Tae-Ho Yoon, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, Institute of Oral Bioscience, School of Dentistry, Chonbuk National University

Statement of problem: Modification of titanium implant surface has potential to ensure clinically favorable performance that several surface modification technologies have been introduced. Among the methods, anodizing method and sol-gel hydroxyapatite coating method have gained much interest due to its roughness and chemical composition of the coating layer, but more of its biocompatibility result is required.

Purpose: The purpose of this study was to compare bone-implant interface shear strength of four different surface treated implants as time elapsed. Resonance frequency analysis(RFA) and removal torque measurement methods were employed to measure implant stability at one week and six week after implantation.

Material and method: A total of 80 screw-shaped implant [20 machined, 20 resorbable media blasted(RBM), 20 anodized, and 20 anodized+hydroxyapatite sol-gel coated] were prepared, and one of each group was implanted in the tibia of a New Zealand white rabbit that total 20 of them were used. In order to test the implant stability and implant-tissue interface contact changing in the bone bed, each 10 rabbit were sacrificed 1 week and 6 week later while resonance frequency and removal torque were measured. One-way analysis of variance and the Tukey test were used for statistical analysis.

Results: The results were as follows.

1. There was no statistically significant difference of implant stability quotients(ISQ) value in RFA between individual groups after 1 week of implantation and 6 weeks($p > 0.05$). But, there was statistically significant increase of ISQ value in 6 weeks group compared to 1 week group($p < 0.05$).
2. There was no statistically significant difference in removal torque analysis between individual groups after 1 week of implantation and 6 weeks($p > 0.05$), but there was statistically significant increase in all 4 groups after 6 weeks compared to 1 week later($p < 0.05$).
3. There was no statistically significant difference in removal torque analysis between anodized group and HA coating after anodic oxidation 6 weeks later($p > 0.05$), but significant difference was appeared in both groups compared to RBM group and smooth-machined group ($p < 0.05$).

Conclusions: It can be suggested that changes in surface characteristics affect bone reactions. Anodized and anodized+hydroxyapatite sol-gel coating showed significantly improved bone tissue response to implants, but further study on the effect of hydroxyapatite dissolution is needed.

Key words : Resonance Frequency Analysis(RFA), Removal torque, HA coating, Anodizing