

임프란트 표면 처리에 따른 공명주파수 변화에 대한 연구

배상범 · 이성현 · 송승일
아주대학교 의과대학 치과학교실

Abstract

COMPARISON OF RESONANCE FREQUENCY ANALYSIS BETWEEN VARIOUS SURFACE PROPERTIES

Sang-Bum Bae, Seong-Hyun Lee, Seung-Il Song
Department of Dentistry, School of Medicine, Ajou University

Purpose: The aim of this study is to compare the stability between Mg-incorporated implant, TiUnite and Machined implant.

Material and methods: Premolars of 3 Mini pigs (24 months) were extracted. After 2 months later, total 27 fixtures of implants (9 of each design : Machined/ TiUnite/ Mg-incorporated) were inserted into the mandible of 3 mini-pig. Implant stability was estimated by RFA in installation to 2, 4 & 6 weeks. Statistical analysis of RFA values was performed with time and between groups using repeated measure ANOVA and turkey's multiple comparison test.

Results: In analyzing the mean value for the observation periods, three types of implants yielded a slight decrease in RFA mean value after 2 week, followed by increase at 4-6 weeks. Mg incorporated oxidized implants demonstrated significantly higher RFA mean values at 6 weeks comparing other groups. The difference of RFA value with time and between groups was statistically significant.

Conclusion: We concluded that Mg implants may reduce failure rates of clinical implants In the early period of bone healing and Mg implants may shorten the bone healing time from surgery to functional loading.

Key words: Implant surface, Magnesium oxidized implant, Implant stability, RFA

1. 서 론

골유착에 관련된 요소로 재료의 적합성, 표면의 거시 및 미시적 구조, 식립부위의 골질, 식립시의 외과적인 외상, 보철에 의한 부하등을 들 수 있다. 이러한 요소들은 결과적으로 임프란트의 안정성에 영향을 미치게 된다. 결과적으로는 높은 초기 안정성을 가짐으로서 장기적인 임프란트 성공을 얻어낼 수 있을 것이다. 안정성을 일차와 이차로 구분해보면, 일차 안정성은 임프란트 식립 시에 얻을 수 있는 안정성으로 골의 밀도와 양, 수술 기법, 임프란트 길이, 직경, 형태 등에 영향을 받으며, 이차 안정성은 임프란트의 일차 치유 후에 얻어지는 안정성으로 골-계면 사이의 안정성에 의해

얻어진다.

안정성을 위해 골질이나, 외과적 외상, 보철에 의한 부하 등에 대한 면밀한 고려를 하는 것도 중요하나, 식립 될 임프란트 자체가 가지는 골반응성을 향상시킴으로서 임프란트의 안정성을 높이는 것은 다른 어떤 것보다 중요하다 하겠다. 최근 발표된 몇몇 생체 실험은 티타늄 임프란트의 산화막 성질 변형이 골조직 반응을 향상시킬 수 있다는 결과를 보여준다. 표면의 산화막 두께가 600 nm 이상인 다공성 표면구조를 가진 양극 산화 티타늄 임프란트의 경우 기계 절삭형 티타늄 임프란트에 비해 동물실험에서 매우 좋은 결과를 보여 주었다. 양극 산화법은 티타늄 표면에 존재하는 산화막을 보다 균일하고 두껍고 치밀하게 만들어 주며, 높은

전압을 가했을 때에 표면에 분화구 형태의 다공성 구조를 형성해 줌으로써 임플란트 식립 시 골과의 접촉면적을 증가시켜 줄 뿐 아니라 골 단백질과 같은 골 재생에 관여하는 인자들을 골 내에 장기간 전달할 수 있는 수단으로 이용할 수 있게 해준다. 최근에는 양극 산화법을 이용한 표면처리 시에 다양한 이온을 첨가할 경우 골반응을 향상시켜 준다는 보고가 있었으며 대표적으로 마그네슘을 첨가한 양극 산화법 임플란트가 개발되어 국내에 시판되고 있다.

여러 가지 다른 형태와 다른 표면의 임플란트의 안정성을 평가하는 다양한 방법이 제시되고 있지만 임플란트 상부를 두드려보는 tapping test와 방사선 검사는 안정성을 평가하기에는 부정확한 단점이 있고, 조직학적 분석, 제거 토크 분석(removal torque analysis)은 침습적인 문제가 있기에 이러한 방법들은 장기간 연구에 적합하지 못했다. 이런 문제점을 극복하기 위해 Periotest가 고안되어 임플란트의 골유착을 평가하기 위하여 사용되었다. 그러나 Periotest값은 측정 방향과 위치에 많은 영향을 받기에 생역학적 지표로 사용되기에는 정확성이 부족하다. 이에 현재는 Meredith에 의해 소개된 RFA (resonance frequency analysis)가 임플란트 안정성 평가에 널리 쓰이고 있다. RFA는 임플란트에 진동자를 연결하고, 연속된 주파수로 진동수를 주었을 때 그 안정성에 따라서 공진 주파수가 발생하는 원리를 따르는 방법으로 임플란트 식립 후, 안정성의 평가를 위해서 그리고, 2차 수술이나 보철 전의 안정성을 평가하는데 유용하다.

본 연구에서는 마그네슘 이온을 첨가한 전해질용액으로 양극산화를 시행하여 제작한 Mg가 결합된 산화 임플란트의 골 유착기간 중의 안정성을 RFA를 이용하여 전기화학적으로 양극산화 표면 처리한 TiUnite 임플란트 및 기계절삭형 임플란트와 비교해 보고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

본 연구에서는 Mini Pig를 이용한 실험을 통해 Mg이 결합된 산화 임플란트에서의 안정도를 공명주파수 분석을 이용하여 기계절삭형 임플란트(Turned surface implant) 및 양극산화법을 이용한 TiUnite 임플란트(Novel Biocare, Sweden)와 비교하였다. 실험 동물로는 24개월령의 영구치가 모두 난 Mini pig 3마리를 이용하였으며, 한 마리당 9개의 임플란트를 식립 하였다. 미니 돼지 하악의 좌, 우 제1소구치부터 제2대구치까지 발치하고 2개월 후, 해당 임플란트를 식립 하였다. 앞서 언급하였듯이 이용된 3종류의 임플란트는 각각 9개씩이며, 모두 수렴되는 모양에 직경은 3.75 mm, 길이는 7 mm로 동일한 형태와 길이를 가짐으로써 표면처리 이외에는 차이가 없도록 하였다. 미니돼지를 일정한 환경에서 사육하며 전마취 및 흡입마취를 한 후, 0.2% 클

로르헥시딘으로 적신 거즈를 이용하여 혀와 치아, 발치부위를 닦고 미니 돼지 하악 좌, 우 P1-M2를 발치하였다. 임플란트 식립은 발치 후 2개월을 기다린 후, 전마취 및 흡입마취 상태에서 3.3 mm 까지 드릴링 하고 tapping을 시행하였으며, 주수 없이 각각의 임플란트를 정해진 위치에 식립 하였다. 식립 및 결과 분석은 모두 이중 맹검법을 이용하여 무작위적으로 시행하였고, 식립 직후 Osstell Mentor® (Integration Diagnostics Ltd, Sweden)를 이용하여 RFA 값을 측정하였고, cover screw를 연결하고 4.0 vicryl로 봉합을 하였다. 시술 후에는 x-ray 촬영을 하고, 항생제와 진통제를 투여하였으며, 식립 2주, 4주, 6주에 cover screw를 풀어서 각각 RFA 값을 측정하였다. RFA 값은 2회 측정하여 평균을 구하여 이용하였고 통계학적 분석은 SPSS 프로그램의 Repeated measure ANOVA를 이용하여 시간에 따른 RFA의 변화 및 각 군간의 차이를 비교하였으며 Turkey's multiple comparison test를 이용하여 사후 검정을 시행하였다. 통계적 유의성은 95% 신뢰구간 내에서의 차이를 유의하게 인정하였다.

III. 연구 결과

1. 육안적 소견

임플란트가 매식된 부위는 육안적으로 상처의 열개나 감염 등이 없는 치유양상을 보였다. Cover screw를 연결하였음에도 불구하고 점막의 두께가 얇아서 healing abutment를 연결한 일회법과 비슷한 치유 양상을 보여서 반복적으로 RFA 값을 측정하는데 아무런 문제가 없었다(Fig. 1, 2). 임플란트도 동요도를 보이거나 탈락된 것 없이 잘 치유된 양상을 보였으며 방사선 사진에서도 과도한 골 흡수나 이상 소견은 관찰되지 않았다(Fig. 3).

2. 공명 진동수 분석기를 이용하여 측정한 임플란트 안정성

미니돼지의 식립 직후 안정성과 2주, 4주, 6주의 안정성을 비교해보면, 식립 직후의 안정성은 큰 차이를 보이지 않으며, 전체적으로 2주차에 약 10%의 RFA값 감소를 보이다가 이후, 4주, 6주로 갈수록 RFA 값의 증가를 보였다. 시간에 따른 임플란트 안정도의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 각 군간 임플란트 안정도의 차이 또한 통계적으로 유의했다($P < 0.05$). 사후 검정을 한 결과 통계적으로 유의한 차이를 보인 이유는 식립 후 6주째에서 Mg 임플란트가 다른 군에 비해 유의한 증가를 가져왔기 때문이며 평균값에 있어서도 6주째 Mg 임플란트가 다른 두 군에 비해 유의하게 높은 값을 보여주었다(Table 1, Fig. 4).

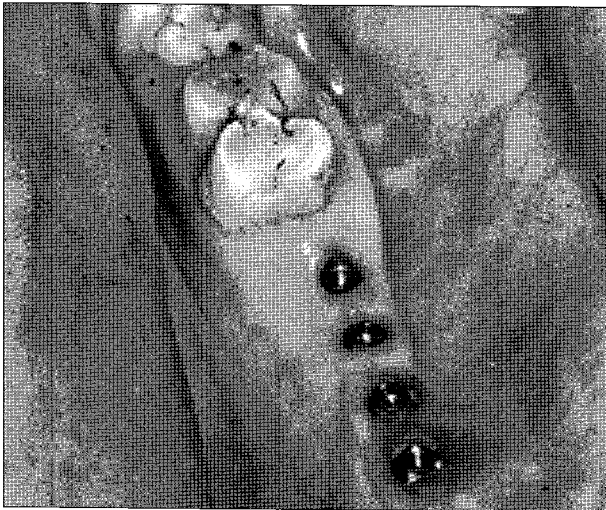


Fig. 1. Clinical photograph in 2 weeks after installation. There is no specific inflammation sign and it showed good healing looking one stage approach.

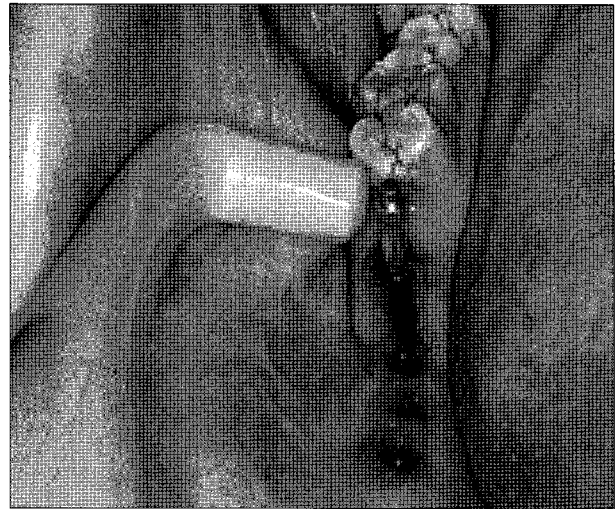


Fig. 2. Clinical photograph illustrating measurement of the stability by Osstell.

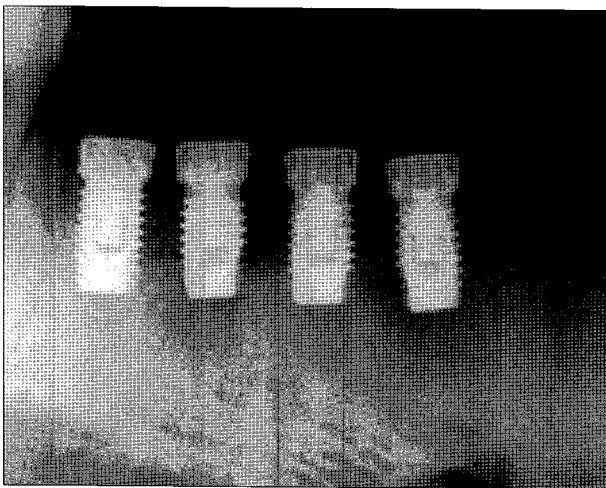


Fig. 3. Radiographic findings in 2 weeks after installation. There is no specific problem such as severe bone resorption and implant failure.

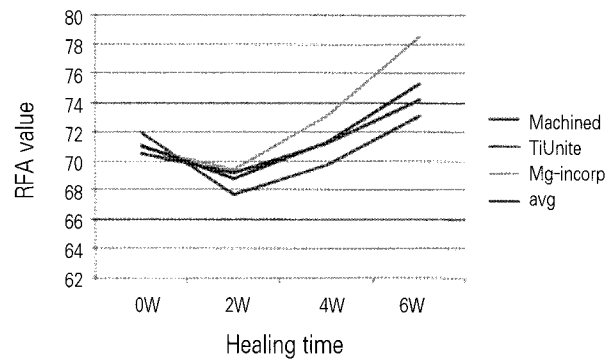


Fig. 4. Mean RFA value was decreased after 2 weeks but increased with time in 4, 6 weeks in all groups. The increase was significant in Mg-incorporated oxidized implants comparing other groups.

Table 1. Mean RFA values for machined implant, TiUnite implant and Mg-incorporated oxidized implant during bone healing. In 6 weeks, Mg-incorporated oxidized implant showed significantly higher stability comparing other implants

	after implantation	after 2weeks	after 4weeks	after 6weeks
Machined	71.9 ± 6.3	67.7 ± 6.4	69.7 ± 6.8	73.1 ± 6.6
TiUnite	70.5 ± 6.0	69.2 ± 3.2	71.2 ± 3.5	74.2 ± 3.4
Mg implant	70.9 ± 4.7	69.4 ± 5.6	73.1 ± 4.9	78.9 ± 3.7**
Total avg.	71.1	68.8	71.3	75.3

The value was expressed by mean±SD and ** indicated statistical significance ($P < .05$).

IV. 총괄 및 고찰

2000년대에 들어 임플란트는 80개 이상 제조사에서 또, 220개 이상 brand에서 임플란트가 생산되고 있을 만큼 치료요에서 없어서는 안 될 중요한 치료수단으로 자리잡아가고 있다.¹⁾ 임상가는 임플란트의 재료, 표면처리, 모양, 길이, 폭 등을 고려하여 이러한 것들 중에서 가장 적절한 것을 선택해야 할 것이다. 무엇보다도 환자의 만족도를 증가시키기 위해 중요한 것은 임플란트 식립 성공률을 높이는 것이며, 성공률을 높이는 첫째 요건으로 초기 안정성을 얻는 것이 중요하다 하겠다.²⁾ 이렇게 함으로써 좀 더 빠른 보철물 적용이 가능해지고, 즉시 임플란트가 가능해져 환자가 좀 더 빨리 기능회복을 할 수 있을 것이다. 초기 안정성의 증가를 위한 방법으로 임플란트의 형태적 특성을 변형하여 기계적 성질을 이용하는 방법과 임플란트 표면의 화학적 특성을 변형하여 임플란트와 골간의 결합력 증가를 이용하는 방법 등이 있다. 임플란트 표면의 거칠기를 증가시킴으로써 임플란트와 골간의 기계적 맞물림으로 임플란트의 초기 고정성이 이루어지며, 이는 임플란트 표면의 화학적 결합이 가능하도록 표면반응이 일어날 시간을 허락해주는 역할을 해주기 때문에 임플란트 표면에 있어 기계적 화학적 특성은 뗄 수 없는 관계이다.³⁾

이번 연구에서 우리가 비교한 임플란트는 3가지 종류이며, Mg 결합 산화 임플란트를 양극 산화 TiUnite 임플란트 및 기계적 절삭 임플란트와 골반응과 관련하여 공명 주파수 분석을 통하여 비교하였다. 기계 절삭형 임플란트는 0.5-1 μm 의 범위를 가지는 낮은 표면 거칠기를 가진다.⁴⁾ 이 임플란트도 적절한 부위에 지어진 부하를 가하게 될 경우 충분히 높은 생존율을 가진다.^{5,6)} 그러나, 거칠기를 높임으로써 높은 골반응과 안정성을 얻고, 성공률을 높이려는 노력은 계속 되었다. Wennerberg 등은 적절한 거친 표면을 가진 임플란트가 비틀림제거력, 골접촉률 등에서 매끈한 표면보다 우수하다고 하였다.⁷⁾ 이러한 노력에 의해 개발된 TiUnite 임플란트는 전해질 용액에서 양극산화 타이타늄에 의해 형성된 표면을 이용한다. 이는 증가된 산화층을 보이며, 다공성 형태의 표면을 가진다.⁸⁾ 이러한 임플란트는 다공성의 표면으로 인해 표면적을 넓힌 효과 외에 화학적 효과 또한 기대할 수 있으며,⁹⁾ 최근 연구에 의하면 TiUnite 임플란트는 즉시부하인 경우에도 높은 성공률을 보인다고 한다.¹⁰⁾

Sul은 산화 타이타늄 임플란트의 잠재적인 생물화학적 결합을 고려하면서 산화 임플란트의 골반응에 있어 표면특성의 중요성에 대해 언급하였다.¹¹⁾ 이 연구에 따르면, Ca, P, S 등이 결합된 산화 타이타늄 임플란트에 있어서 골반응이 좋았으며, 제거토크값도 높았다. 아직 산화 임플란트에 대한 명확한 골유착기전에 대해서 밝혀진 바는 없으나 생물화학적 결합 기전이 제안되고 있다.¹²⁻¹⁵⁾ 최근에는 이를 뒷받침하

는 여러 실험적 결과가 나오고 있으며, Mg 표면 산화 임플란트가 TiO_2 산화 임플란트에 비해 낮은 표면 거칠기를 가지더라도 좀 더 높은 제거 토크값을 가지고, 좀 더 빨리 좀 더 강한 골반응을 보인다는 결과를 보고하고 있다.¹³⁾

최근 임플란트의 안정성을 평가하는 방법으로 공명 진동수 분석이 널리 쓰이고 있다. 이는 임플란트의 안정성뿐만 아니라 골유착을 측정하는 방법으로 비침습적이며, 또한 반복측정이 가능하므로 유용하다 하겠다. 임상적으로 이는 골치유동인 임플란트의 안정성의 변화와 상관관계를 나타낸다.^{16,17)} 그 중에서도 초기 임플란트의 골유착의 패턴과 RFA 값의 변화는 비슷한 양상을 보여 RFA가 골유착 평가에 믿을만하고 유용함이 실험실상과 임상실험 모두를 통해 증명되었다.²⁾ 또한 골유착을 평가하는 다른 비침습적인 평가방법인 scintigraphy와도 상관관계와 그 역할에 대해 분석을 해보았는데 두 방법 모두 믿을 수 있으며, 두 방법을 조합하여 사용할 것이 제안되기도 했다.¹⁸⁾

본 연구에서는 미니돼지의 소구치부위를 발치하고, 2개월 뒤 표면처리 되지 않은 기계적 절삭형 임플란트와 표면처리된 다른 두 종류의 임플란트를 식립하여 2주, 4주, 6주 간격으로 RFA값을 측정, 임플란트의 안정성의 변화양상과 각 군별 안정성 정도를 비교하였다. 초기 식립 직후 측정한 RFA 값의 경우, 임플란트의 모양이나 길이 등에 차이가 없었기 때문에 기계적 고정에 의한 안정성 값은 통계적으로 유의할만큼 각 군별로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 RFA 값은 기계적 결합에 이은 화학적 결합으로 인한 골유착 과정의 진행으로 Mg 산화 임플란트, TiUnite, machined implant순으로 RFA값이 나타났으며, 그 차이는 2주, 4주, 6주로 진행될수록 그 격차가 커지는 양상을 보였다. 2주차, 4주차의 값은 통계적으로는 유의하지 않으나 6주차가 되어 Mg 산화 임플란트와 나머지 임플란트간에 통계적으로 유의할만큼 차이가 나타남을 알 수 있다.

Huang에 의하면 치유가 진행될수록 RFA값은 계속적으로 증가하며, 6주가 되었을 때 plateau에 이른다고 한다.²⁾ 또, 실험실 실험상, 임상 실험상 모두에서 초기 RFA값이 낮으면 더 늦은 치유값을 가지는 것으로 나타났으며, 초기 2주간에는 약 12%의 RFA값의 감소를 나타낸다고 하였다. 또, 다른 연구에 의하면 RFA값은 1주에 완만히 증가하다가 2-3주간 감소하며, 이 후, 4-5주부터 값은 증가하는 것으로 나타났다.¹⁹⁾ 2-3주간 RFA값이 감소하는 것은 아마도 치유의 초기 단계로 여겨지며, 기계적 안정성의 소실로 인한 것으로 추정해 볼 수 있다.²⁰⁾

아직까지 Ca, P, S, Mg 등을 결합시킨 산화 임플란트가 정확히 어떠한 기전에 의해 골유착에 기여하는지에 대해서 명확히 밝혀지지 않았다. 그러나, 여러 실험연구들과 본 연구의 결과로 미루어 볼 때, 아마도 이러한 이온들을 결합시킴으로써 기계적 안정성 후에 화학적 결합을 통한 안정성의

증가를 이루어 내는 것으로 추정해 볼 수 있다. 임프란트의 안정성을 증가시킴으로써 임프란트의 식립 성공과 조기 부하를 가능하게 하여 환자의 만족도를 증가시키기 위한 이러한 노력들은 앞으로도 계속될 것이라 사료된다.

References

1. Jokstad A, Braegger U, Brunski JB *et al* : Quality of dental implants. *Int Dent J* 53 : 409, 2003.
2. Huang HM, Chiu CL : Early detection of implant healing process using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 14 : 437, 2003.
3. Puleo DA, Thomas MV : Implant surfaces. *Dent Clin N Am* 50 : 323, 2006.
4. Wennerberg A, Albrektsson T : Suggested guidelines for the topographic evaluation of implant surface. *Int J Oral Maxillofac Implants* 15 : 331, 2000.
5. Albrektsson T, Dahl E, Enbom L *et al* : Osseointegrated oral implants. A swedish multicenter study of 8139 consecutively inserted Nobelpharma implants. *J Periodontol* 59 : 287, 1988.
6. Eckert SE, Parein A, Myshin HL *et al* : Validation of dental implant systems through a review of literature supplied by system manufactures. *J Prosthet Dent* 77 : 271, 1997.
7. Wennerberg A, Albrektsson T, Andersson B *et al* : A histomorphometric and removal torque study of screw-shaped titanium. *Clin Oral Implants Res* 6 : 24, 1995.
8. Hall J, Lausmaa J : Properties of a new porous oxide surface on titanium implants. *Appl Osseointegration Res* 1 : 5, 2000.
9. 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.
10. Vanden Bogaerde L, Rangert B, Wendelhag I : Immediate/early function of Branemark System TiUnite implants in fresh extraction sockets in maxillae and posterior mandibles: an 18-month prospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 7 : 121, 2005.
11. Sul YT : The significance of the surface properties of oxidized titanium to the bone response: Special emphasis on potential biochemical bonding of oxidized titanium implant. *Biomaterials* 24 : 3893, 2003.
12. Sul YT, Johansson P, Byon E *et al* : Bone response to Mg-incorporated, oxidized implants in rabbit femur: Mechanical interlocking vs Biochemical bonding. *Journal of Applied Biomaterials and biomechanics* 3 : 18, 2005.
13. Sul YT, Johansson CB, Byon E *et al* : The bone response to oxidized bioactive and non-bioactive implants. *Biomaterials* 26 : 6720, 2005.
14. Sul YT : On the Bone Response to Oxidized Titanium Implants: The Role of Microporous Structure and Chemical Composition of the Surface oxide in Enhanced osseointegration (thesis). Goteborg, Sweden : University of Goteborg, 2002.
15. Sul YT, Johansson CB, Petronis S *et al* : Characteristics of the surface oxides on turned and electrochemically oxidized pure titanium implants up to dielectric breakdown: The oxidized thickness, micro-pore configurations, surface roughness, crystal structure and chemical composition. *Biomaterials* 23 : 491, 2002.
16. Meredith N : Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont* 11 : 491, 1998.
17. Barewall RM, Oates TW, Meredith N *et al* : Resonance frequency measurement of implant stability *in vivo* on implants with a sandblasted and acid-etched surface. *Int J Oral Maxillofac implants* 18 : 641, 2003.
18. Zhou Y, Jiang T, Qian M *et al* : Roles of bone scintigraphy and resonance frequency analysis in evaluating osseointegration of endosseous implant. *Biomaterials* 29 : 461, 2008.
19. Huwiler MA, Pjetursson BE, Bosshardt DD *et al* : Resonance frequency analysis in relation to jawbone characteristics and during early healing of implant installation. *Clin oral Implants Res* 18 : 275, 2007.
20. Abrahamsson I, Berglund T, Linder E *et al* : Early bone formation adjacent to rough and turned endosseous implant surface. An experimental study in the dog. *Clin Oral implants Res* 15 : 381, 2004.

저자 연락처

우편번호 443-721
 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지
 아주대학교 의과대학 치과학교실
 송승일

원고 접수일 2009년 07월 23일
 게재 확정일 2010년 01월 29일

Reprint Requests

Seung-II Song

Department of Dentistry, School of Medicine, Ajou University
 San 5, Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon, 443-721, Korea
 Tel: 83-31-219-5328 Fax: 82-31-219-5329
 E-mail: ssi1219@ajou.ac.kr

Paper received 23 July 2009

Paper accepted 29 January 2010