

치과 임플란트 표면의 과거, 현재, 그리고 미래

국민건강보험 일산병원 치과 치주과

김영택

ABSTRACT

Past, Present and Future of the Dental Implant Topography

Department of Periodontology, National Health Insurance Service Ilsan Hospital

Young-Taek Kim

Osseointegration means the interlocking of bone and implant surface. The surface of dental implants played a key role for osseointegration. Commercially pure titanium implants (CPTi) grade 4 implant shows high corrosion resistance and fatigue strength. Most commercial implants use this Titanium and modify the surface with moderate roughness (1~100 μ m). Moderately roughness offers most effective bone to implant contact and highest removal torque based on the biological stability.

As in the surface roughness, biofilm can be formed easily, peri-implantitis is a next challenge of the implant surface modification. It has been expected to overcome the biological complication of dental implants with the nano technology. However, nano technology has been studied limitedly in the laboratory.

The implant surface will be developed with the aim of having fast osseointegration, long-term BIC interlocking, and high bacterial resistance.

Key words : Dental implants, Osseointegration, Titanium, Bone-implant interface

Corresponding Author

Young-Taek Kim,  <https://orcid.org/0000-0002-5132-5783>

Department of Periodontology, National Health Insurance Service Ilsan Hospital, Ilsan-ro 100, Ilsandong-gu, Gyeonggi-do, 10444, Korea

Tel : +82-31-900-0620 / Fax : +82-303-3448-7137 / E-mail : youngtaek@nhimc.or.kr

1. 서론

치과 임플란트는 이제 더이상 의치나 고정성 보철물과 같은 다른 보철물 치료의 대체재가 아니며 오히려 치아 상실시 가장 먼저 고려되고 제안되어지는 치료로서 매우 높은 장기적 성공률과 안정성을 보인다. 하지만, 여전히 많은 부작용 등으로 인해서 치과 임플란트의 단점을 보완하고자 하는 연구는 끊이지 않고 있다¹⁾. 치과 임플란트가 처음 개발되어 티타늄의 임플란트와 뼈와의 부착 상태를 이르는 말인 골유착 (Osseointegration)의 개념이 생긴 지 50년이 지났다²⁾. 골유착에 대한 개념 자체는 Brånemark에 의해서 처음 제안되었으며, 조직학적으로 뼈와 임플란트가 부착되어 있는 경우를 칭한다. 하지만, 조직학적 소견은 현미경으로 확인이 가능하나 임상적으로 확인하기 힘들어, 임플란트 고정체가 임상적으로 견고하게 고정되어 있고 기능적 교합 하중 시에도 이 결합이 유지되는 것으로 정의하고 있다^{3,4)}. 이를 확인하기 위해서 제거에 드는 힘을 측정하는 방법이 있으나, 이 또한 침습적이며 임상에 적용하기 힘들기 때문에 공진주파수 분석 (RFA, Resonance Frequency Analysis)을 이용하거나, 충격을 주고 반응을 통해서 치아의 동요도를 알아보는 Periotest를 이용하는 등 비침습적 방법을 이용하여 확인할 수도 있다⁵⁻⁷⁾.

이러한 골유착은 임플란트 재료의 생체적합성, 고정체의 디자인, 표면 특성, 수술 기술, 숙주의 상태, 생체역학적 상태, 시간 등에 의해서 영향을 받는다⁸⁾. 치과 임플란트의 골유착이 성공적으로 이루어지는 이유로는 산화 피막을 형성하고 생체 적합성이 좋은 티타늄의 자체 특성에 의한 것이기도 하지만, 수십년 동안 임플란트 표면에 대한 다양한 시도와 연구에 의해서 임플란트 표면 디자인 (topography)을 확립해 나아갔기 때문이라 할 수 있다^{4,9)}. 임플란트 표면 디자인은 현재 어느 정도 표준화되어 있고, 매우 높은 성공률을 가지고 있기 때문에 Biomimetics 및 줄기 세포의 발전으로 인해서 새로운 형

태의 치아 대체재가 개발되기 전까지는 크게 변화가 없을 것으로 보인다. 하지만, 골유도재생술을 동반하거나, 전신질환이 있는 등 골형성에 불리한 상황에서 치과 임플란트를 식립해야 하는 경우도 있고, 여전히 발생하고 있는 원인을 알 수 없는 많은 임플란트의 초기 실패와 장기적인 임플란트 사용에도 갑자기 골유착을 잃어 임플란트 실패로 이어지는 경우 등 현재 임플란트 표면은 한계점을 보이기도 한다¹⁰⁾.

따라서, 이번 리뷰에서는 현재 매우 성공적으로 이루어지고 있는 골유착과 이와 관련된 임플란트 표면의 다양한 요소 및 그 발전과 현황, 그리고 앞으로 임플란트 표면 개발에 있어서 나아가게 될 방향에 대해서 알아보고자 한다.

2. 임플란트 표면 거칠기

임플란트의 재료인 티타늄은 주로 비합금인 상업적 순수 티타늄 (CPTi, Commercially Pure Titanium)으로 만들어지는데, 이 상업적 순수 티타늄은 등급이 1~4 등급 (grade)으로 이루어지며, 1등급의 티타늄은 내식성 및 성형성이 가장 높지만 강도가 낮아, 현재 합금을 이용하지 않는 대부분의 임플란트 고정체는 성형성은 중간 정도이지만, 강도가 가장 높은 4등급의 상업적 순수 티타늄을 사용한다^{8,9)}.

임플란트 표면의 거칠기는 단순히 임플란트 표면의 거칠기를 평가하는 것이지만, 임플란트의 다양한 형태 - 굴곡, 나선선 등의 형태와 임플란트 별 차이-로 인해서 정확히 평가하기 어렵다. 이에 Wennerberg는 이를 측정하기 위한 방법들을 내놓았다¹¹⁾. 임플란트의 표면 거칠기는 보통 microroughness라고 하며, 일반적으로 1에서 100 μm 를 보인다. 이는 제조사마다 다른 생산 / 표면처리 방법에 따라 다른 값을 보이는데, 기계 가공 (machining), 산처리 (aci-etching), 아노다이징

(anodization), 샌드블래스팅 (sand-blasting), 그릿블래스팅 (grit-blasting), 코팅 (coating), 신터링 (Sintering) 등의 방법으로 이루어진다¹⁾. 보통 아무 처치도 하지 않은 매끄러운 임플란트 표면의 거칠기는 0.5 μm 미만이며, 기계 가공이 이루어지는 임플란트 표면 거칠기는 0.5~1 μm (minimally rough surface), 산처리, 샌드블래스팅, 아노다이징 등을 통해서 형성된 중간 정도의 표면 거칠기 (moderately rough surface)는 1~2 μm 이고, plasma sprayed 등으로 이뤄진 표면은 2 μm 이상의 표면 거칠기를 보인다 (rough surface). 현재 전세계적으로 많이 사용되는 임플란트의 표면 거칠기는 대부분 1~2 μm 이며 (Table 1), 이 거칠기에서 가장 높은 임플란트-뼈 접촉 (BIC, Bone to Implant contact)을 보이며, 가장 효과적인 습윤성 (wettability)을 보이고, 높은 removal torque를 보임을 보고한 바 있다^{12,13)}. Moderately roughness를 갖는 microroughness는 기본적으로 BIC를 증가시켜 골유착의 범위를 확장시키며, 임플란트가 혈소판이 biological mediator 등을 더 분비하도록 하며, 골형성 세포들의 끌어들이고, 세포의 부착, 혈액의 안정화에 기여하여 fibrin matrix 형성을 도모한다⁹⁾.

3. 임플란트 표면의 거칠기와 세균막

표면 거칠기가 0.2 μm 가 넘는 경우, BIC도 증가하나 임플란트 표면의 세균막의 형성을 증가시킬 수 있다¹⁴⁾. Schwarz 등에 의하면 임플란트가 구강 내에 24시간 노출되었을 때 Ra 0.8 μm 이하의 거칠기의 표면을 가진 경우에 좀더 낮은 세균막이 보이기는 했으나 (25%), 연마가 된 표면 (polished surface)으로 Ra 0.04 μm 의 거칠기를 가지고 있을 경우 61%, Ra 3.22 μm 의 높은 거칠기를 가진 경우 88%의 비율로 세균막이 더 많이 보였다¹⁵⁾.

또한, Schwarz 등은 티타늄 디스크의 세균막을 제거하기 위하여 플라스틱, 큐렛, 초음파 기구와 단순 세척을 이용하여 처치 후의 남은 세균막 구간을 측정하는 방식으로 세균막의 제거 정도를 비교하였는데, 초음파 기구는 28%, 플라스틱 큐렛은 59%가 남아 세균막 제거의 한계를 보여주었다¹⁶⁾. Jin 등의 또다른 연구에서는 air-flow, 초음파 기구와 브러쉬, 화학적 제품 등을 이용하여 세균막을 제거하는 실험을 진행하였고, 실험에 사용된 모든 방법에서 세균막 제거에 특별히 뛰어나지는 않지만 긍정적인 결과를 보였고, 세균막을 제거할 경우, 골유착을 다시 일으킬 수 있는 가능성을 제시하였다¹⁷⁾.

Zaugg등은 표면 특성과 친수성 (hydrophilic-

Table 1. Implant Surface Roughness of Commercially available dental implants^{13,32)}

Surface	Modification methods	Company	Sa (μm) [*]	Sdr (%) [†]
Machined surface	Machining	Brånemark	0.9	34
TiUnite	Anodizing	Nobel Biocare	1.1	37
SLA	Sandblasting, Acid-etching	Straumann	1.78	97
Osseospeed	Sandblasting, Fluoridation	Astra Tech	1.4	37
Osseotite	Dual acid etching	BIOMET 3i	0.68	27

* Sa : Average Arithmetic roughness over a surface in 3-dimensional height

† Sdr : Surface height and spatial roughness parameter values

ity)과 표면 거칠기 (surface roughness) 그리고 닦임성 (cleanability) 등의 관련성을 설명하였는데, 친수성과 표면 거칠기 모두 세균막 형성을 증가시켰으나, 소수성 (hydrophobicity)을 갖는 경우 세균막의 형성이 감소하였다고 하였다⁴. 또한, 박테리아를 쫓는 효과를 가진 나노페이스의 표면을 가진 재료에 대한 보고도 있다¹⁸. 하지만, 세균뿐 아니라, 혈청, 단백질, 콜라겐 등 구강 내 물질이 세균막에 붙을 경우 세균막의 형성을 더욱 증진시키고 세균막을 막아주는 여러 재료 및 표면 효과들을 무효화할 수 있게 된다.

따라서, 표면 거칠기에 대한 골유착의 긍정적인 효과는 세균 부착의 부정적인 효과를 고려해야 하고, 임상가는 치료 및 수술 단계에서 세균 부착의 부작용을 막기 위한 노력을 잊지 않아야 한다.

4. Macroroughness and Nanoroughness

임플란트 표면의 거칠기와 골유착과의 관련성을 설명하기 위하여 임플란트 표면 거칠기를 세가지로 나눈다. Macroroughness, Microroughness, Nanoroughness가 그 세 가지이다. Macroroughness는 임플란트 형태를 보여주는 형태적 특성을 의미한다. 나사선의 형태 (사각형과 V-형태, 두께와 주행 형태 등), 나사선 간의 거리와 각도, 나사선의 깊이, 근단부 절삭을 위한 홈 (groove)과 능선 (ridge) 등으로 임플란트 성공에서 가장 큰 역할을 하는 초기 안정성 (primary stability) 및 골형성을 위한 공간과 힘의 분배 등에 큰 역할을 한다^{9,19}. Microroughness는 흔히 말하는 임플란트 표면의 거칠기를 말하는 것으로 위에서 언급된 1~100 μ m의 표면 거칠기를 통칭한다.

일반적인 임플란트 표면은 moderately rough surface로 접촉각 (contact angle)이 90도 이상인 소수성의 특성을 갖는다. 이로 인해서 혈액의 젖음성이 낮아지

고, 세포 및 혈청의 부착 등에서 불리하게 작용한다²⁰. 이를 극복하기 위하여 임플란트 표면의 화학적 처리 등을 통해서 임플란트 표면이 친수성의 성질을 갖도록 변형한 임플란트에 대한 연구가 시작되었다²¹. SLActive 표면이라고 불리워지는 이 나노 표면은 일반적인 moderately rough surface인 SLA (Sand-blasting with large grit and acid etching)에 나노 단위의 표면 거칠기를 만들어 접촉각을 0도로 만들어 친수성을 극적으로 올렸고, 이로 인해서 짧은 시간 안에 일반적인 임플란트에 비해서 높은 BIC 및 removal torque 등을 가질 수 있게 만들었다^{22,23}. 이러한 nanoroughness는 스파이크 형태의 나노 표면을 갖게 되고, 임상적으로도 SLA 표면이 95%의 성공률을 가지는데 반해서 SLActive는 97%의 성공률을 가지는 등 높은 성공률을 보였다²⁴.

Nanoroughness를 만드는 다른 방법으로 아노다이징을 이용한 전기화학적 변형이 있다²⁵. 전기화학적 처리는 임플란트 표면에 나노튜브를 형성하는데 이 나노튜브는 사이즈와 배열 모양에서 콜라겐 섬유 (collagen fibrils)를 닮았고, 가장 적절한 사이즈의 나노튜브는 70nm 정도로 알려져 있다²⁶. 나노튜브는 물의 접촉각을 0도 가까이로 낮추기 때문에 초친수성 (superhydrophilicity)을 형성하는 장점도 가지고 있다.

5. 임플란트 주위염과 임플란트 표면

상업적인 순수 티타늄 혹은 합금의 티타늄으로 이루어진 임플란트는 빠른 골유착을 이루는 것을 목표로 발전해왔으며, 최근엔 나노 표면의 개발을 통해서 그 목표를 최대한 이뤄놓은 상태이다²⁷. 여전히 이뤄야 하는 임플란트 표면의 목표로는 이러한 골유착을 장기간 유지하는 것과 박테리아의 감염으로부터 방어할 수 있는 표면을 갖는 것이다.

임플란트 주위염은 다양한 세균에 의한 세균막의 축

적과 이로 인한 염증 반응으로 인해서 일어나는 임플란트 실패의 가장 큰 원인 중 하나로, 임플란트 표면 거칠기는 임플란트 주위염의 치료를 어렵게 하는 가장 큰 원인이 된다. Macroroughness로 인해 전통적인 치주염 치료 방법인 curettage를 어렵게 하며, microroughness는 전통적인 치료법을 통해서 해결이 불가능해서 레이저를 사용하거나 air-flow를 이용하는 등 특수한 장비의 도움을 받거나 implantoplasty와 같이 아예 임플란트의 표면 거칠기를 제거하는 방법을 이용해야 한다¹⁷⁾.

구강 내에서 세균막의 형성을 완전하게 막을 수는 없으며 임플란트 표면 거칠기는 세균이 쉽게 부착될 수 있는 구조물이기 때문에 나노 튜브의 항균 물질을 국소 송달하는 방식으로 세균막에 대처하는 방법이 강구되었다²⁸⁾. 또는 항균성분을 가진 아연 (Zn)이나 은 (Ag)과 같은 성분의 나노 파티클을 임플란트 표면에 분사하여 항균 성질을 갖는 방법도 시도되었다²⁹⁾. 이 두가지 방법 모두 실험실 단계의 연구로 항균물질의 국소 송달제를 나노 튜브에 넣는 방법의 경우, 항생제의 용량과 분비되는 기간 등에서 한계를 가지며³⁰⁾, 항균 나노 파티클을 분사하

는 경우, 나노 파티클의 독성으로 부작용이 염증반응이 나타날 수 있다는 한계를 가진다³¹⁾.

6. 결론

골유착을 위해서는 임플란트의 재료 및 표면의 형태가 중요하다. 현재 중간 거칠기를 갖는 상업적 순수 티타늄 (grade 4)으로 된 임플란트가 가장 널리 사용되고 있으며, 이 거칠기를 갖는 임플란트가 더 매끄럽거나 더 거친 임플란트들에 비해서 가장 좋은 조직학적 임상적 결과를 보인다. 그럼에도 임상적으로 골유착을 완성하기 힘든 경우나 장기간 골유착을 유지하지 못하는 경우가 있는데, 나노튜브나 나노 파티클 등을 사용하여 극복하는 방법이 연구되고 있다. 앞으로 임플란트 표면은 더 빠른 골유착과 임플란트 표면이 오염되지 않고 장기간 지속될 수 있고, 세균 감염에 대한 저항성을 갖는 쪽으로 발전해 나갈 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, et al. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. *Biomed Res Int*. 2016;2016:6285620. doi:10.1155/2016/6285620
2. Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl*. 1977;16:1-132.
3. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986;1(1):11-25.
4. Albrektsson T, Sennerby L, Wennerberg A. State of the art of oral implants. *Periodontol 2000*. 2008;47:15-26. doi:10.1111/j.1600-0757.2007.00247.x
5. Nedir R, Bischof M, Szmukler-Moncler S, Bernard JP, Samson J. Predicting osseointegration by means of implant primary stability. *Clin Oral Implants Res*. Oct 2004;15(5):520-8. doi:10.1111/j.1600-0501.2004.01059.x
6. Lages FS, Douglas-de Oliveira DW, Costa FO. Relationship between implant stability measurements obtained by insertion torque and resonance frequency analysis: A systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res*. Feb 2018;20(1):26-33. doi:10.1111/cid.12565
7. Schulte W, Lukas D. Periotest to monitor osseointegration and to check the occlusion in oral implantology. *J Oral Implantol*. 1993;19(1):23-32.
8. Cooper LF. A role for surface topography in creating and maintaining bone at titanium endosseous implants. *J Prosthet Dent*. Nov 2000;84(5):522-34. doi:10.1067/mpr.2000.111966
9. Almas K, Smith S, Kutkut A. What is the Best Micro and Macro Dental Implant Topography? *Dent Clin North Am*. 07 2019;63(3):447-460. doi:10.1016/j.cden.2019.02.010
10. Bosshardt DD, Chappuis V, Buser D. Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontol 2000*. 02 2017;73(1):22-

참 고 문 헌

40. doi:10.1111/prd.12179
11. Wennerberg A, Albrektsson T. Suggested guidelines for the topographic evaluation of implant surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2000 May-Jun 2000;15(3):331-44.
 12. Elias CN, Oshida Y, Lima JH, Muller CA. Relationship between surface properties (roughness, wettability and morphology) of titanium and dental implant removal torque. *J Mech Behav Biomed Mater*. Jul 2008;1(3):234-42. doi:10.1016/j.jmbbm.2007.12.002
 13. Wennerberg A, Albrektsson T. On implant surfaces: a review of current knowledge and opinions. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2010 Jan-Feb 2010;25(1):63-74.
 14. Zaugg LK, Astasov-Frauenhoffer M, Braissant O, Hauser-Gerspach I, Waltimo T, Zitzmann NU. Determinants of biofilm formation and cleanability of titanium surfaces. *Clin Oral Implants Res*. Apr 2017;28(4):469-475. doi:10.1111/cr.12821
 15. Schwarz F, Sculean A, Wieland M, et al. Effects of hydrophilicity and microtopography of titanium implant surfaces on initial supragingival plaque biofilm formation. A pilot study. *Mund Kiefer Gesichtschir*. Dec 2007;11(6):333-8. doi:10.1007/s10006-007-0079-z
 16. Schwarz F, Papanicolaou P, Rothamel D, Beck B, Herten M, Becker J. Influence of plaque biofilm removal on reestablishment of the biocompatibility of contaminated titanium surfaces. *J Biomed Mater Res A*. Jun 2006;77(3):437-44. doi:10.1002/jbm.a.30628
 17. Jin SH, Lee EM, Park JB, Kim KK, Ko Y. Decontamination methods to restore the biocompatibility of contaminated titanium surfaces. *J Periodontal Implant Sci*. Jun 2019;49(3):193-204. doi:10.5051/jpis.2019.49.3.193
 18. Rizzello L, Sorce B, Sabella S, et al. Impact of nanoscale topography on genomics and proteomics of adherent bacteria. *ACS Nano*. Mar 2011;5(3):1865-76. doi:10.1021/nn102692m
 19. Al-Thobity AM, Kutkut A, Almas K. Microthreaded Implants and Crestal Bone Loss: A Systematic Review. *J Oral Implantol*. Apr 2017;43(2):157-166. doi:10.1563/aaid-joi-D-16-00170
 20. Terheyden H, Lang NP, Bierbaum S, Stadlinger B. Osseointegration—communication of cells. *Clin Oral Implants Res*. Oct 2012;23(10):1127-35. doi:10.1111/j.1600-0501.2011.02327.x
 21. Buser D, Broggini N, Wieland M, et al. Enhanced bone apposition to a chemically modified SLA titanium surface. *J Dent Res*. Jul 2004;83(7):529-33. doi:10.1177/154405910408300704
 22. Wennerberg A, Jimbo R, Stübinger S, Obrecht M, Dard M, Berner S. Nanostructures and hydrophilicity influence osseointegration: a biomechanical study in the rabbit tibia. *Clin Oral Implants Res*. Sep 2014;25(9):1041-50. doi:10.1111/cr.12213
 23. Wennerberg A, Svanborg LM, Berner S, Andersson M. Spontaneously formed nanostructures on titanium surfaces. *Clin Oral Implants Res*. Feb 2013;24(2):203-9. doi:10.1111/j.1600-0501.2012.02429.x
 24. Stafford GL. Review found little difference between sandblasted and acid-etched (SLA) dental implants and modified surface (SLActive) implants. *Evid Based Dent*. Sep 2014;15(3):87-8. doi:10.1038/sj.ebd.6401047
 25. Alves SA, Rossi AL, Ribeiro AR, et al. Improved tribocorrosion performance of bio-functionalized TiO. *J Mech Behav Biomed Mater*. 04 2018;80:143-154. doi:10.1016/j.jmbbm.2018.01.038
 26. von Wilmsowky C, Bauer S, Roedel S, Neukam FW, Schmuki P, Schlegel KA. The diameter of anodic TiO₂ nanotubes affects bone formation and correlates with the bone morphogenetic protein-2 expression in vivo. *Clin Oral Implants Res*. Mar 2012;23(3):359-66. doi:10.1111/j.1600-0501.2010.02139.x
 27. Souza JCM, Sordi MB, Kanazawa M, et al. Nano-scale modification of titanium implant surfaces to enhance osseointegration. *Acta Biomater*. 08 2019;94:112-131. doi:10.1016/j.actbio.2019.05.045
 28. Alvarez G, González M, Isabal S, Blanc V, León R. Method to quantify live and dead cells in multi-species oral biofilm by real-time PCR with propidium monoazide. *AMB Express*. Jan 2013;3(1):1. doi:10.1186/2191-0855-3-1
 29. Yao S, Feng X, Lu J, et al. Antibacterial activity and inflammation inhibition of ZnO nanoparticles embedded TiO. *Nanotechnology*. Jun 2018;29(24):244003. doi:10.1088/1361-6528/aabac1
 30. Ferreira CF, Babu J, Hamlekhan A, Patel S, Shokuhfar T. Efficiency of Nanotube Surface-Treated Dental Implants Loaded with Doxycycline on Growth Reduction of *Porphyromonas gingivalis*. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017 Mar/Apr 2017;32(2):322-328. doi:10.11607/jomi.4975
 31. Bijukumar DR, Segu A, Souza JCM, et al. Systemic and local toxicity of metal debris released from hip prostheses: A review of experimental approaches. *Nanomedicine*. 04 2018;14(3):951-963. doi:10.1016/j.nano.2018.01.001
 32. Lee J, Ku Y. What is an ideal implant surface? *Indian J Dent Res*. 2016 Jul-Aug 2016;27(4):341-342. doi:10.4103/0970-9290.191863