

돼지의 경골에 식립된 지르코니아 임플란트의 골유착에 관한 연구

김이경 · 조인호*

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

Osseointegration of zirconia implant in the tibia of pigs

Lee-Kyoung Kim, DDS, MSD, PhD, In-Ho Cho*, DDS, MSD, PhD

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Korea

Purpose: The purposes of this study were to investigate osseointegration around zirconia implants which had machined or alumina sandblasted surface, and to compare the results with titanium implants. **Materials and methods:** The study was performed on the tibia of 6 pigs. Three types of implants were investigated: group T-titanium implant, group Z-machined zirconia implant, group ZS-alumina sandblasting treated zirconia implant. Zirconia implants were manufactured from yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline (Acucera Inc., Pocheon, Korea). A total of 36 implants were installed in pigs' tibias. After 1, 4 and 12 weeks of healing period, the periotest and the histomorphometric analysis were performed. The data were analyzed using one-way ANOVA and significance was assessed by the Scheffé test ($\alpha=.05$). **Results:** In the measurement of surface roughness, highest Ra value was measured in group T with significant difference. No significant differences were found among groups regarding Periotest values. After 1 week, in comparison of bone to implant contact (BIC), group Z showed higher value with significant difference. In comparison of bone area (BA), group T and group Z showed higher value with significant difference than group ZS. After 4 weeks, in comparison of BIC, group T showed higher value with significant difference. Comparison of BA showed no significant difference among each implant. After 12 weeks, the highest mean BIC values were found in group T with significant difference. Group ZS showed higher BIC value with significant difference than group Z. In comparison of BA, group T and group ZS showed higher value with significant difference than group Z. **Conclusion:** Zirconia implant showed low levels of osseointegration in this experiment. Modification of surface structure should be taken into consideration in designing zirconia implants to improve the success rate. (*J Korean Acad Prosthodont* 2013;51:190-8)

Key words: Zirconia implant; Bone to implant contact; Bone area; Histomorphometry

서론

치과용 임플란트 제작에 있어 타이타늄 합금은 현재의 재료 중 'gold standard'로 간주되어지고 있으나¹ 잠재적 면역학적 부작용 가능성과 회색조 색상으로 인한 비심미성이 단점으로 보고 되어 왔다. 특히 전치부에서 연조직 퇴축이나 얇은 치은형태를 가질 때 타이타늄 노출로 인한 푸르거나 회색조의 부자연스러운 치은 색조는 심미성을 크게 손상시킨다.² 또한 몇몇의 연구는 타이타늄이 알러지 반응을 유도할 수 있다는 사실을 보고하였으며,³ 타이타늄 입자의 축적이 림프절로 전이될 가

능성도 발견되었다.⁴ 이에 높은 성공율을 보장하면서 더 안전하고 심미적인 임플란트 재료에 대한 연구가 지속되고 있으며 여러 가지 생체 재료 중 특히, 세라믹이 타이타늄의 대체물로써 주목받고 있다.

Y-TZP (Yttria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal)는 기존 세라믹 보다 더 높은 굽힘 강도(1,200 MPa), 더 낮은 탄성 계수(200 GPa), 더 높은 파절 인성(6-10 MPa·m^{1/2}) 등 개선된 물리적 성질을 가지는 세라믹으로 소개되었다. 특히 Y-TZP는 정방정계에서 단사정계로의 상 전환 동안 에너지를 흡수하는 성질로 인해 높은 파절 저항성을 가지며,⁵ 자연치의 색조와 유사한 유백색

*Corresponding Author: In-Ho Cho

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 330-714, Republic of Korea
+82 41 550 0254; e-mail, cho8511@dankook.ac.kr

Article history: Received June 18, 2013 / Last Revision July 1, 2013 / Accepted July 12, 2013

© 2013 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이며, 빛을 투과시키므로 연조직 형태가 적정하지 않거나 연조직 퇴축이 일어난 부위를 수복하는데 유용한 임플란트 재료로 각광받고 있다.⁶

현재 활발히 진행되고 있는 지르코니아 임플란트에 대한 임상 전단계 연구들에서 지르코니아가 상당한 기간 동안의 구강 내 하중 하에서 견딜 수 있음이 증명되었고,⁷ 다양한 동물 실험에서 지르코니아의 뛰어난 생체 적합성과 타이타늄 임플란트와 유사한 골반응이 설명되었다.^{8,9} 그러나 지르코니아 임플란트의 골접촉율에 있어서는 다양한 실험 결과가 존재하고, 국외에서는 상업적으로 이용 가능한 수준의 지르코니아 임플란트 시스템이 존재하는데 반하여 국내에서는 지르코니아 임플란트는 아직까지 학문적 연구 단계에만 머물러 있다.

따라서 본 실험에서는 아직 개발 단계에 있는 국내산 지르코니아 임플란트를, 상용되고 있는 타이타늄 임플란트와 골유착의 측면에서 비교 하기 위해 6마리 돼지의 하지 경골에 임플란트를 식립하고 1 주, 4 주, 12 주에 돼지를 희생시켜 조직형태 계측 분석을 통해 얻은 결과를 보고하고자 한다.

연구 재료 및 방법

1. 실험동물

본 연구에서는 몸무게 55-60 kg의 3-4개월 된 3 원교잡종 돼지

6마리를 사용하였으며 모든 과정은 단국대학교 동물윤리위원회에 의해 승인되었다(승인번호 dku-10-037). 돼지들은 수술 1주일 전 실험실 옆의 사육실에 격리하여 실험실 환경에 적응시켰고, 수술 전 24시간 동안 절식시켰고, 물은 자유 급수하였다.

2. 실험재료

본 연구에서 사용된 임플란트의 유형은 Table 1과 같고 모든 임플란트를 직경 4.0 mm, 길이 8.0 mm로 표준화하였다. 본 실험에 사용된 타이타늄 임플란트와 지르코니아 임플란트의 모식도와 실제 모습은 Fig. 1에 나타내었다.

T 군은 대조군으로서 상용 타이타늄 나사형 임플란트인 외부 연결 형태의 IMPLANT M[®] (Shinhung Co., Ltd, Seoul, Korea)을 선택하였고, Z 군은 지르코니아 나사형 임플란트로 상용 3Y-TZP 블록(Acucera, Inc., Pocheon, Korea)을 기계 절삭하였다. ZS 군은 동일하게 제작된 지르코니아 임플란트를 50 μ m 알루미나 입자로 5 bar의 압력으로 샌드 블라스팅 표면 처리하였다. 가공시에 발생한 응력의 제거와 정방정계에서 단사정계로의 상변화를 다시 전환시키기 위해 1,200℃에서 2시간 동안 열처리과정을 거친 후 에틸 알코올과 증류수의 순서로 각각 10분간 초음파 세척을 시행하고, 121℃의 고압증기멸균기에서 20분간 소독하여 밀봉 건조 용기에 보관하였다.

Table 1. Classification of control and experimental groups in this study

Group	Material	Surface preparation	Weeks	N
T (control)	Titanium (grade IV)	Anodic oxidation	1	4
			4	4
			12	4
Z (experimental)	3Y-TZP*	Machined	1	4
			4	4
			12	4
ZS (experimental)	3Y-TZP*	Al ₂ O ₃ sandblasted	1	4
			4	4
			12	4

* 3Y-TZP: 3% mol Ytria stabilized tetragonal zirconia polycrystal

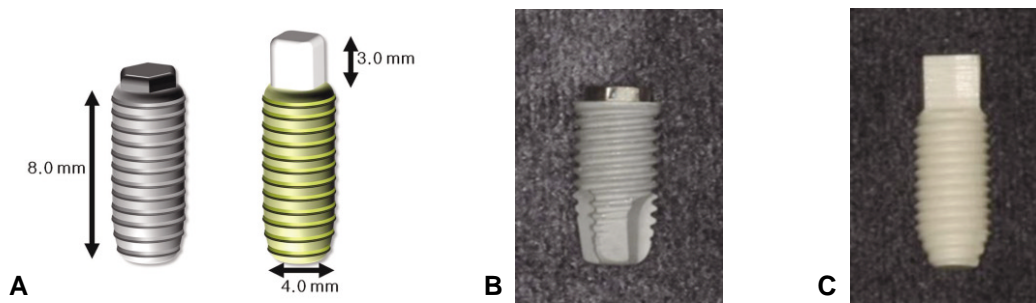


Fig. 1. Implants used in this study. A: Mimetic diagram of implants, B: Titanium implant, C: Zirconia implant.

3. 표면 거칠기 측정

비접촉식 표면 형상측정기인 SurfTest SJ-400 (Mitutoyo, Kawasaki, Japan)으로 중심선 평균 거칠기(Ra)값을 측정하였으며 각 군당 5개의 임플란트를 1개의 임플란트 당 3부위에서 측정하였다.

4. 수술 및 희생 과정

Azaperone (Stresnil®, Janssen-Cilag, Vienna, Austria) 5 mg/kg과 tiletamine-zolazepam (Zoletil®, Virbac, Carros, France) 5 mg/kg을 근육 주사하여 전신마취 유도하였다. 기관 내 삽관을 시행하고 1.5% isoflurane의 흡입으로 전신마취를 유지하였다.

실험동물을 측외위로 눕히고, 수술부위인 좌, 우측 하지 경골 부위의 털을 모두 깎고 베타딘 용액으로 소독하였다. 수술 부위는 에피네프린(1:100,000)이 포함된 2% 염산 리도케인 (Lignospa standard®, Septodont, Creteil, France)으로 국소마취를 추가로 시행한 후 피부를 절개하고, 근육과 신경의 손상이 없도록 근막을 박리하였다. 시야가 확보될 수 있도록 근육을 견인하고 경골의 근심부에 2부위, 원심부에 1부위, 총 3부위의 식립 위치를 선정하고, 시계방향으로 회전하면서 각 군의 식립 위치를 변화시켜 무작위 배치하였다.

식립 시에는 생리 식염수 주수를 유지하면서 2,000 rpm을 넘지 않는 속도로 골 정중앙에 점진적인 골 삭제를 시행하였다. 제조사의 지시대로, T 군은 point drill, 2.0 mm twist drill, 3.0 mm twist drill, 3.45 mm twist drill, 3.8 mm twist drill의 순서로, Z 군과 ZS 군은 동일한 골삭제 후 tapping의 과정을 더하여 30 rpm으로 속도로 식립하였다. T 군은 Z 군의 플랫폼 상부 높이와 동일한 3.0 mm 높이의 치유 지대주를 체결하고 근육과 피부를 통상의 방법대로 층상 봉합하여 술부를 관리, 유지해 주었다. 1주, 4주, 12주 후에 각각 2마리씩 전기 충격을 이용하여 희생시켜 임플란트와 주변 골조직을 포함하는 경골 블록을 채집하여 즉시 포르말린에 보관하여 고정시켰다.

5. Periotest values (PTVs) 측정

식립 직후와 희생시 각 방향에서 5회 반복 측정 후 가장 높은 측정값과 가장 낮은 측정값을 제외한 3개의 평균값을 측정값으로 산정하였고, Periotest® (Siemens AG, Bensheim, Germany)의 손잡이는 치유 지대주 또는 지르코니아 임플란트의 플랫폼 상부에 수직으로, 4 mm 이상 떨어지지 않도록 하여 측정하였다.

6. 조직 시편 제작

조직 블록은 약 1주일간 4% 완충 포르말린에서 고정시키고 관찰하고자 하는 부위를 중심으로 다이아몬드 톱(Exact® Apparatebau, Norderstedt, Germany)으로 절단하였다. 이후 갈색 유리병에 넣어서 3시간 이상 수세시켰다. 80-100% 알코올에서 6

시간 탈수시킨 후, methyl metacrylate (Technovit 7200 VLC, Kulzer, Wehrheim, Germany)와 100% 알코올 비율이 1:3 인 용액에 2일간 진공 하에 포매하여 알코올 농도를 계속 내리면서 5일간 과정을 반복하였다. 그 후 100% Technovit 7200 VLC 용액으로 몰딩한 후 Exact machine (MG-4200)으로 포매하였다. 포매된 블록을 트리밍한 다음, 슬라이드를 제외한 시편조직의 두께가 약 30-40 μ m 가 되도록 연마하여 시편을 만들고, H-E (hematoxylin and eosin) 염색하여 광학현미경(Olympus BX, Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

7. 조직계측학적 분석

제작된 조직시편에서 광학현미경을 이용하여 가장 골유착이 잘 형성된 연속된 3개의 나사선 부위의 임플란트와 결합되어 있는 골의 길이를 Kappa image analyser (KAPPA opto-electronic GmbH Kleines Feld 6, D-37130 Gleichen, Germany)로 측정하고 골-임플란트 접촉율(BIC, bone to implant contact)을 계산하여 백분율로 표시하였다. 동일한 임플란트 나사선 내에서 일정한 면적 내에서 실제 골 조직이 차지하는 골의 면적을 Kappa image analyser로 측정하고 골면적율(BA, bone area)을 계산하여 백분율로 표시하였다.

8. 주사전자현미경 관찰

채집된 블록을 광학 현미경용 조직 시편을 제작하는 과정과 동일하게 레진 포매 과정까지 진행한 후, 임플란트 정중부에서 절단하였다. 시편 크기로 트리밍하고 임계점 건조기(Critical point dryer SCP-II, Hitachi, Tokyo, Japan)에서 건조시킨 후, ion coater를 사용하여 20 nm 두께로 백금 도금하여 주사전자현미경(JSM-840 A, JEOL, Tokyo, Japan)으로 임플란트 표면을 관찰하였다.

9. 통계 처리

표면 거칠기 값(Ra) 및 PTVs와 조직계측학적 측정 결과를 SPSS® Version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 ANOVA를 시행하여 군간의 유의차를 알아보고 Scheffé test를 이용하여 사후 검증하였다($\alpha=.05$).

결과

1. 표면 거칠기 측정

각 군의 표면 거칠기 값(Ra)은 통계적으로 유의한 차이가 있었고(Table 2), 사후 검증 결과 T 군이 Z 군과 ZS 군에 비해 유의하게 더 높은 값을 보였다.

Table 2. Distribution analysis of surface roughness

Group	Mean	SD	P value	Scheffé PHT
T	0.70	0.03		
Z	0.26	0.01	0.00*	(Z=ZS) < T
ZS	0.29	0.03		

* represents significant difference according to ANOVA ($P < .05$).

Table 3. Mean and standard deviation of PTVs

Group	0 week	1 week	4 weeks	12 weeks
T	-4.6 ± 2.6	2.3 ± 5.0	-6.0 ± 2.2	-6.0 ± 0.0
Z	-1.5 ± 3.2	0.0 ± 3.4	-2.8 ± 7.2	-4.0 ± 2.4
ZS	-1.6 ± 5.8	-3.0 ± 6.0	-1.0 ± 7.9	-4.8 ± 2.1

Not significantly different at $P < .05$ (ANOVA).

2. Periotest values (PTVs)

각 군별 식립 직후와 희생시 측정된 값의 평균과 표준 편차는 Table 3에 나타내었고 군간 및 주간 비교 시 통계적으로 유의한 차는 없었다($P = .733$).

3. 광학현미경 관찰

1) 조직학적 소견

(1) 1주

T 군, Z 군, ZS 군의 모든 시편에서 피질골 상부에서만 주로 골과 부착된 양상을 보이고 있었고 골-임플란트 경계면 주위로 염증세포와 조골 세포를 관찰할 수 있었다. 골은 나사홈 부위에서 절단되어 있었고, 출혈 현상으로 인한 혈액과 세포 성분들이 채워져 있었다. 새로 형성된 골조직 보다 기존 골과 부서진 골조각들이 나사홈 사이에 존재하였다(Fig. 2).

(2) 4주

골과 임플란트의 경계면에서 다수의 조골세포가 활성화되어 신생골로 채워지는 것이 확인되었으며 반전선이 뚜렷하게 관찰되었다. T 군과 ZS 군에서는 식립 1주차에 비해 골 부착 부위가 눈에 띄게 증가된 양상을 관찰할 수 있었으나, Z 군에서는 오히려 골-임플란트 접촉 사이에 간극이 증가된 양상이 관찰되었다(Fig. 3).

(3) 12주

방향성과 규칙성을 띤 신생골이 관찰되었다. T 군에서는 나사산 부위를 대부분 신생골이 채우고 있었으며, Z 군은 골-임플란트 계면에 많은 간극이 존재하였다. ZS 군에서도 1주와 4주에 비하여 증가된 골-임플란트 접촉을 확인할 수 있었다(Fig. 4).

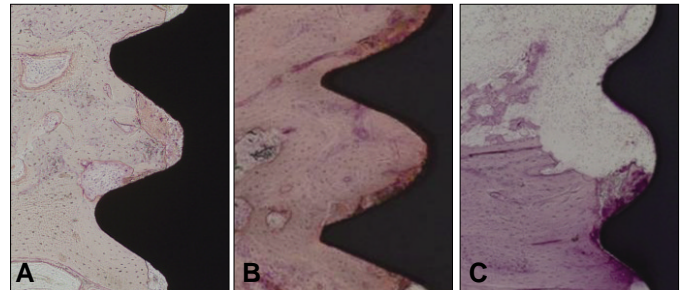


Fig. 2. Light micrographs taken 1 week after insertion. A: Group T, B: Group Z, C: Group ZS, The thread area was occupied by old bone, bone fragments and red blood cells. Inflammatory cell can be detected (H-E, magnification $\times 100$).

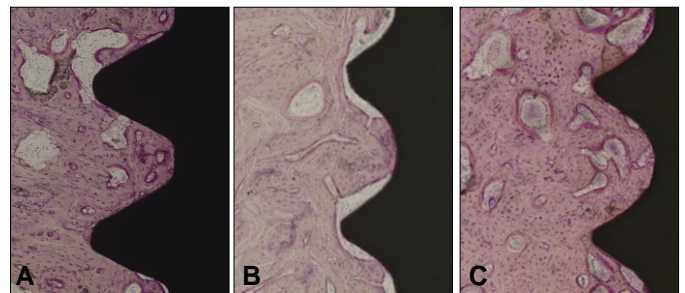


Fig. 3. Light micrographs taken 4 weeks after insertion. A: Group T, B: Group Z, C: Group ZS, The thread was occupied by new bone. Fibrous/vascular tissue between bone and machined zirconia implant were observed (H-E, $\times 100$).

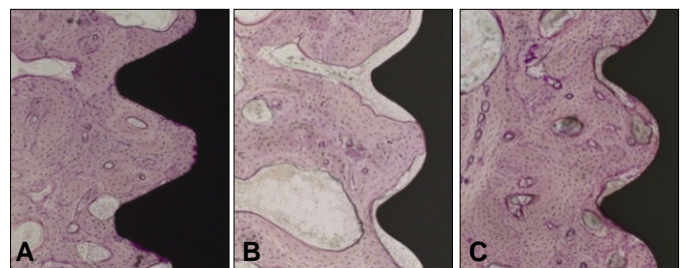


Fig. 4. Light micrographs taken 12 weeks after insertion. A: Group T, Bone formation with high bone contact adjacent to titanium implants was seen. B: Group Z, A fibrous capsule was present in the interface. C: Group ZS, Thin fibrous capsule between bone and sandblasting treated zirconia implant was seen (H-E, $\times 100$).

2) 조직계측학적 결과

(1) 골접촉율(BIC)

식립 1 주차, 4 주차, 12 주차 BIC는 Table 4에 나타내었다.

(2) 골면적율(BA)

식립 1 주차, 4 주차, 12 주차 BA는 Table 5에 나타내었다.

4. 주사전자현미경 관찰

1) 주별 골-임플란트 접촉면 관찰

(1) 1주

골과 임플란트 계면에 식립시 부서진 골 파편들이 존재하는

양상이 관찰되었다. 임플란트와 접하고 있는 골부위에서 골형성이 시작되는 것이 관찰되었다(Fig. 5).

(2) 4주

골-임플란트 접촉면이 더 긴밀해졌으나 임플란트 인접면에 석회화되지 않은 무정형의 치밀층이 존재하거나 계면 조직이 존재하였다. T 군에서는 골과 임플란트가 거의 부착하고 있으며, ZS 군도 1주에 비해 많이 부착이 일어난 점을 관찰할 수 있었으나 Z 군에서는 골-임플란트 부착이 지연되고 있음이 관찰되었다(Fig. 6).

Table 4. Measured percentage of bone to implant contact (mean \pm SD)

Group	Bone to implant contact (%)		
	1 week	4 weeks	12 weeks
T	26.8 \pm 2.8	70.3 \pm 8.9 [†]	84.8 \pm 2.9 [†]
Z	53.8 \pm 24.1*	27.8 \pm 11.1	26.0 \pm 13.7 [†]
ZS	10.5 \pm 7.9	36.0 \pm 21.6	43.0 \pm 7.4 [†]

*, †, ‡ : significant difference according to ANOVA ($P < .05$).

* represents statistically significance in relation to groups at 1 week.

† represents statistically significance in relation to groups at 4 weeks.

‡ represents statistically significance in relation to groups at 12 weeks.

Table 5. Mean and standard deviation of bone area (%) in each group

Group	Bone area (%)		
	1 week	4 weeks	12 weeks
T	46.5 \pm 7.3*	75.3 \pm 7.1	72.5 \pm 11.6 [†]
Z	56.8 \pm 19.4*	64.5 \pm 3.7	45.0 \pm 13.9
ZS	19.5 \pm 8.8	71.0 \pm 9.2	66.0 \pm 6.8 [†]

*, † : significant difference according to ANOVA ($P < .05$).

* represents statistically significance in relation to groups at 1 week.

† represents statistically significance in relation to groups at 12 weeks.

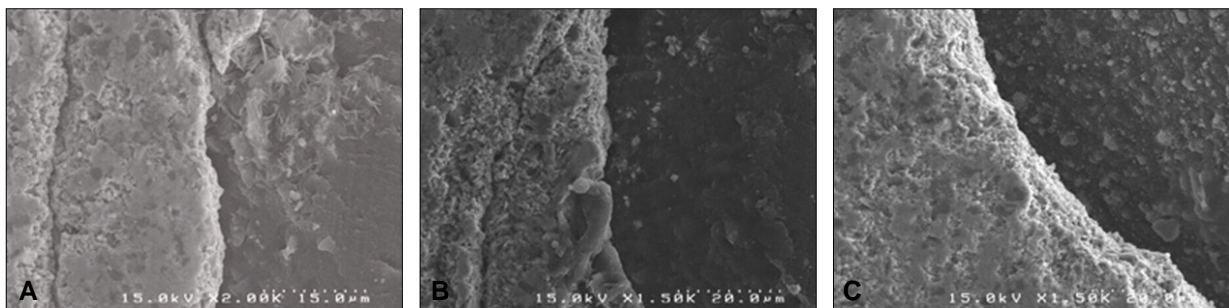


Fig. 5. Scanning electron micrographs of bone to implant contact taken 1 week after insertion. A: Group T, B: Group Z, C: Group ZS, Bone formation was evident near the implant surface ($\times 1,500$).

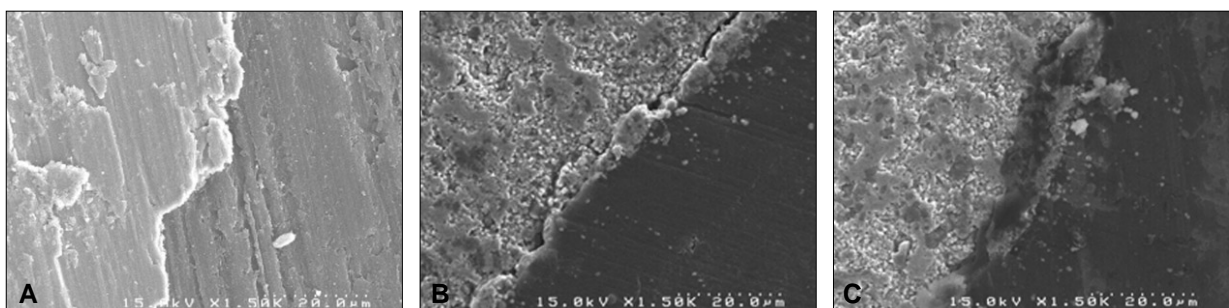


Fig. 6. Scanning electron micrographs of bone to implant contact taken 4 weeks after insertion. A: Group T, An unmineralized zone separated the mineralized bone from the implant surface ($\times 1,500$). B: Group Z, Interface tissue between calcified bone and implant ($\times 1,500$). C: Group ZS, A dense amorphous layer was located at the implant surface ($\times 1,500$).

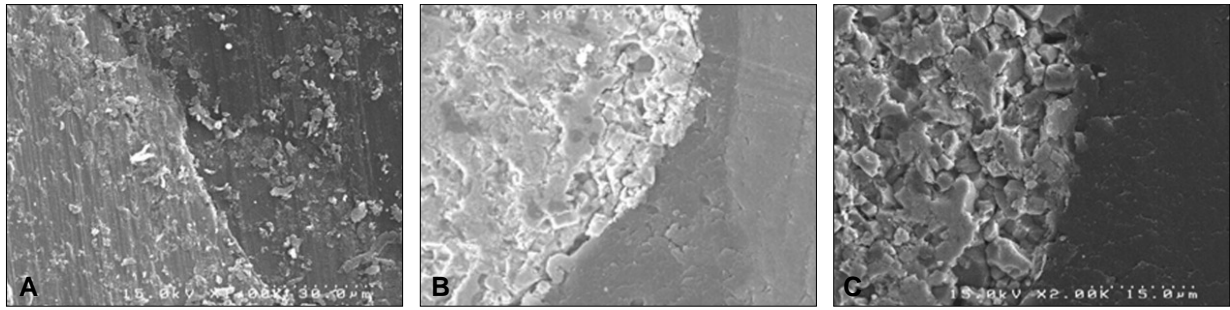


Fig. 7. Scanning electron micrographs of bone to implant contact taken 12 weeks after insertion. A: Group T, An intimate contact can be detected between the bone and titanium implant ($\times 1,500$). B: Group Z, A part of newly formed tissue was detached from the zirconia implant ($\times 1,500$). C: Group ZS, A direct bone contact was observed ($\times 1,500$).

(3) 12주

T 군과 ZS 군은 골-임플란트 접촉면에 신생골이 밀접하게 증식하여 있었고 Z 군에서는 부분적으로 골과 임플란트가 분리되어 있는 부위가 존재하였다(Fig. 7).

고찰

생체 재료의 생체 적합성은 물리적, 화학적 성질뿐만 아니라 재료 표면의 초기 세포 반응에 따라 결정된다. 재료 표면의 초기 세포 부착과 흡착은 세포 퍼짐과 이동으로 연결되고, 이후 세포의 증식과 분화 능력에 영향을 주어서,¹⁰ 결과적으로는 골유착에 관련되어진다. 생체 재료와 접촉하고 있는 세포의 기능적인 활성은 표면의 특성에 의해 결정된다.^{11,12} 따라서 표면 거칠기는 임플란트의 골유착에 중요한 역할을 하는 것으로 확립되어 왔고 이는 다양한 동물 실험과 임상 실험에 의해 증명되어졌다.^{13,14} Wennerberg와 Albrektsson은 1-2 μm 범위의 평균 표면 거칠기 값을 가지는 표면이 적절하며, 골유착에 유리하다고 보고했다.^{15,16} 조골 세포 계열이나 일차 골세포를 이용한 체외 연구에서도 선반 가공된 표면에 비해 거친 표면에서 더 증가된 분화를 보이는 것으로 밝혀졌다.^{17,18} 본 실험에서 타이타늄 임플란트와 지르코니아 임플란트의 BIC값에 큰 차이가 존재하는 것도 이러한 맥락에서 일부 설명될 수 있다. 즉, 본 실험에 사용된 타이타늄 임플란트의 평균 표면 거칠기 값이 지르코니아 임플란트에 비해 2배 이상 크므로 BIC값에 많은 차이를 나타낸 것으로 보인다. 따라서 지르코니아 임플란트의 표면 거칠기를 증가시키는 것이 초기 세포 반응의 증진뿐만 아니라 지르코니아 임플란트의 장기간의 성공을 위해서도 필수적인 것으로 사료되었다.

지르코니아 표면과 비교할 때 타이타늄 디스크 위의 세포 배양에서 조골 세포 유사 세포의 BMP 4와 BMP 7 유전자가 상향 조절되어 있었고, 타이타늄 표면에서 alkaline phosphatase가 유의성 있게 증가되었다고 보고되었다.¹⁹ 세포 부착, 증식, 분화를 증진시키는 단백질의 흡착은 표면 전하, 즉 IEP (isoelectric point)에

달려 있는데²⁰ 타이타늄의 부동태 산화층은 4.4 IEP를 나타내고²¹ 지르코니아의 IEP는 7 정도로 결정되어진다.²² 그러므로 양성 단백질이 타이타늄 표면에 더 잘 부착한다. 즉, 표면 거칠기 뿐만 아니라 지르코니아와 타이타늄의 세포 수준의 골반응에도 차이가 있으므로 본 실험에서 식립 1주 시에는 유의성이 없었던 T 군과 ZS 군의 BIC값이 12주에는 T 군이 유의성 있게 높은 값을 나타낸 결과는 타이타늄의 큰 표면 거칠기 값 뿐만 아니라 타이타늄의 재료적 특성에서도 그 원인을 찾을 수 있다고 사료되었다.

Shin 등²³의 최근 연구에서는 토끼의 경골에 6주 동안 식립되어 있던 선반 가공된 나사형 타이타늄 임플란트와 코팅되지 않은 나사형 지르코니아 임플란트의 비교에서 타이타늄의 골막 수준에서의 골 활성이 지르코니아 보다 2배 이상 높은 것을 발견하였고, 이것이 임플란트와 접촉하고 있는 골막 표면에서의 골개조 활성이 임플란트의 타입에 따라 유의성 있는 효과를 가진다는 것을 보여주는 점이라고 해석하였다. 이는 비록 수직적 저작력을 받지는 않았지만 토끼의 경골에 식립된 임플란트가 토끼의 이동시 굽힘력의 영향을 받았으므로, 다른 탄성 계수를 가지는 임플란트의 골 반응 차이에 의해 골개조 활성의 차이가 발생하였고 타이타늄 임플란트의 탄성 계수보다 2배 더 높은 값을 지닌 지르코니아 임플란트가 인접 골 조직에서의 변형과 기계적 자극의 수준을 허용하지 않기 때문이라고 설명하였다. 이상의 토끼 경골 연구에서 얻은 지르코니아 임플란트의 BIC 값은 본 실험에서 측정된 Z 군의 식립 4주차($27.8 \pm 11.1\%$) 및 12주차 결과($26.0 \pm 13.7\%$)와 유사하였다. 이에 지르코니아 임플란트의 BIC값을 타이타늄 임플란트 수준으로 증가시키기 위해서는 지르코니아의 탄성 계수를 감소시킬 수 있는 방법의 연구도 중요하다고 생각되었다.

돼지 하악골에 TLA (sandblasted & etched titanium implant), ZS (sandblasted zirconia implant), ZLA (sandblasted and alkaline etched zirconia implant)를 식립하여 비교한 Schliephake 등²⁴은 ZS와 ZLA의 표면 거칠기를 비교했을 때 전체 거칠기는 유사하였으나 후자가 미세 거칠기 측면에서 유의성 있게 높았지만, 두 지르코니아 임

플란트 모두 타이타늄 임플란트에 비해서는 표면 거칠기가 유의성 있게 낮았다고 보고하였다. 또 식립 후 4주차 측정에서 TLA, ZLA, ZS 순으로 BIC가 낮았으나 유의성은 없었고, 식립 후 13주차 측정에서는 지르코니아 임플란트는 모두 4주차에 비해 감소하였고, 계속 증가한 타이타늄 임플란트에 비해 유의성 있게 낮았다고 보고하였다. 샌드 블라스팅 처리된 지르코니아 임플란트 표면의 XPS analysis에서 알루미늄이 검출되었는데 이 파편들이 부분적으로 지르코니아 임플란트의 표면을 가려서 샌드 블라스팅 처리된 지르코니아 임플란트의 낮은 부착을 유도했다고 설명하였다. 이러한 보고에 미루어 본 실험에서도 ZS 군의 낮은 초기 BIC의 원인으로 알루미늄 입자의 잔존을 의심할 수 있었으나 성분 분석을 수행하지 않았으므로 ZS 군의 표면에 알루미늄 입자가 잔존하였음을 증명할 수 없고 그러므로 낮은 결과와의 인과 관계를 확인할 수는 없었다.

Langhoff 등²⁸의 연구에서는 양의 골반에 식립된 2주차에 지르코니아 임플란트(ZLA)가 타이타늄 임플란트(TLA)보다 20% 정도 더 높은 BIC값을 보이다가 식립 4주차에 증가세가 둔화되어 타이타늄 임플란트와 유사한 값을 보였고, 8주차에는 2주차 때 나타났던 BIC값 보다 감소하여, 지속적인 증가가 일어난 타이타늄 임플란트 보다 낮은 값을 보였다. 이를 본 실험에서 선반 가공된 지르코니아 임플란트의 1주차 BIC 값이 가장 높았던 점과 연계하여 볼 때 식립 초기에는 지르코니아의 뛰어난 생체 적합성으로 인해 골접착율이 높게 나타나지만 제작 과정에서 절삭유 잔존 등의 수세 과정의 부적합 또는 알루미늄 샌드 파편의 잔존, 표면 거칠기 부족 등으로 지르코니아의 BIC 값이 지속적으로 감소된 것으로 추측할 수 있었다.

본 실험의 결과에 타이타늄 임플란트와 지르코니아 임플란트의 형태와 표면 처리가 다른 점이 영향을 주었을 것으로 추측되지만 지르코니아 임플란트의 상용화를 위해서는 지르코니아 임플란트의 물성 개선과 표면 변형 방법의 개발은 필요할 것으로 생각되었다.

결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 군 임플란트의 평균 표면 거칠기(Ra)를 측정한 결과 T 군($0.70 \pm 0.03 \mu\text{m}$)이 Z 군($0.26 \pm 0.01 \mu\text{m}$)과 ZS 군($0.29 \pm 0.03 \mu\text{m}$)에 비해 높은 값을 보였으며 이는 통계적으로 유의하였다($P < .05$).
2. 임플란트 식립 직후, 1주, 4주, 12주에 측정한 PTVs는 T 군이 상대적으로 낮은 값을 보였으나 군간, 주간 모두 통계적으로 유의하지는 않았다.
3. 식립 1주차 골접착율 측정 결과 Z 군이 T 군, ZS 군에 비해 유의성 있게 높았고($P < .05$), 골면적율은 T 군, Z 군이 ZS 군에 비해 유의성 있게 높았다($P < .05$).
4. 식립 4주차 골접착율 측정에서 T 군이 Z 군, ZS 군에 비해

유의성 있게 높았고($P < .05$), 골면적율은 군간 유의한 차가 없었다.

5. 식립 12주차 골접착율은 T 군, ZS 군, Z 군 순으로 낮아졌고 이는 통계적으로 유의하였다($P < .05$). 골면적율은 T 군, ZS 군이 Z 군에 비해 유의성 있게 높았다($P < .05$).

이상의 결과로부터 지르코니아 임플란트는 상용 타이타늄 임플란트와 비교했을 때 골유착이 충분하지 않으며 실제의 적용을 위해서는 표면 변형이 필요하다는 것을 알 수 있다.

References

1. Stadlinger B, Hennig M, Eckelt U, Kuhlisch E, Mai R. Comparison of zirconia and titanium implants after a short healing period. A pilot study in minipigs. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2010;39:585-92.
2. Heydecke G, Kohal R, Gläser R. Optimal esthetics in single-tooth replacement with the Re-Implant system: a case report. *Int J Prosthodont* 1999;12:184-9.
3. Stejskal J, Stejskal VD. The role of metals in autoimmunity and the link to neuroendocrinology. *Neuro Endocrinol Lett* 1999;20:351-64.
4. Weingart D, Steinemann S, Schilli W, Strub JR, Hellerich U, Assenmacher J, Simpson J. Titanium deposition in regional lymph nodes after insertion of titanium screw implants in maxillofacial region. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1994;23:450-2.
5. Akagawa Y, Ichikawa Y, Nikai H, Tsuru H. Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing. *J Prosthet Dent* 1993;69:599-604.
6. Hoffmann O, Angelov N, Gallez F, Jung RE, Weber FE. The zirconia implant-bone interface: a preliminary histologic evaluation in rabbits. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:691-5.
7. Andreiotei M, Kohal RJ. Fracture strength of zirconia implants after artificial aging. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009;11:158-66.
8. Ichikawa Y, Akagawa Y, Nikai H, Tsuru H. Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J Prosthet Dent* 1992;68:322-6.
9. Kohal RJ, Weng D, Bächle M, Strub JR. Loaded custom-made zirconia and titanium implants show similar osseointegration: an animal experiment. *J Periodontol* 2004;75:1262-8.
10. Nebe B, Forster C, Pommerenke H, Fulda G, Behrend D, Bernewski U, Schmitz KP, Rychly J. Structural alterations of adhesion mediating components in cells cultured on poly-beta-hydroxy butyric acid. *Biomaterials* 2001;22:2425-34.
11. Anselme K, Biggerelle M, Noel B, Dufresne E, Judas D, Iost A, Hardouin P. Qualitative and quantitative study of human osteoblast adhesion on materials with various surface roughnesses. *J Biomed Mater Res* 2000;49:155-66.
12. Lincks J, Boyan BD, Blanchard CR, Lohmann CH, Liu Y, Cochran DL, Dean DD, Schwartz Z. Response of MG63 osteoblast-like cells to titanium and titanium alloy is dependent on surface roughness and composition. *Biomaterials* 1998;19:2219-32.
13. Lee JH, Lim HS, Lim JH, Cho IH. The effect of resorbable membrane and xenogenic graft materials on implant stability and peri-

- implant tissue reaction. *J Korean Acad Oral Maxillofac Implants* 2001;5:70-95.
14. Yim JH, Lim HS, Lim JH, Cho IH. The effect of various graft materials on the stability of implant and peri-implant tissue response in rabbit tibia. *J Korean Acad Oral Maxillofac Implants* 2001;5: 41-64.
 15. Wennerberg A, Albrektsson T. Suggested guidelines for the topographic evaluation of implant surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:331-44.
 16. Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 1-review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *Int J Prosthodont* 2004; 17:536-43.
 17. Kieswetter K, Schwartz Z, Dean DD, Boyan BD. The role of implant surface characteristics in the healing of bone. *Crit Rev Oral Biol Med* 1996;7:329-45.
 18. Hempel U, Hefti T, Kalbacova M, Wolf-Brandstetter C, Dieter P, Schlottig F. Response of osteoblast-like SAOS-2 cells to zirconia ceramics with different surface topographies. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:174-81.
 19. Palmieri A, Pezzetti F, Brunelli G, Lo Muzio L, Scarano A, Scapoli L, Martinelli M, Arlotti M, Guerzoni L, Rubini C, Carinci F. Short-period effects of zirconia and titanium on osteoblast microRNAs. *Clin Implant Dent Relat Res* 2008;10:200-5.
 20. Schliephake H, Scharnweber D. Chemical and biological functionalization of titanium for dental implants. *J Mater Chem* 2008;18:2404-14.
 21. Roessler S, Zimmermann R, Scharnweber D, Werner C, Worch H. Characterization of oxide layers on Ti6Al4V and titanium by streaming potential and streaming current measurements. *Colloid Surf B: Biointerfaces* 2002;26:387-95.
 22. Leong YK, Scales PJ, Healy TW, Boger DV. Effect of particle size on colloidal zirconia rheology at the isoelectric point. *J Am Ceram Soc* 1995;78:2209-12.
 23. Shin D, Blanchard SB, Ito M, Chu TM. Peripheral quantitative computer tomographic, histomorphometric, and removal torque analyses of two different non-coated implants in a rabbit model. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:242-50.
 24. Schliephake H, Hefti T, Schlottig F, G  det P, Staedt H. Mechanical anchorage and peri-implant bone formation of surface-modified zirconia in minipigs. *J Clin Periodontol* 2010;37:818-28.
 25. Langhoff JD, Voelter K, Scharnweber D, Schnabelrauch M, Schlottig F, Hefti T, Kalchofner K, Nuss K, von Rechenberg B. Comparison of chemically and pharmaceutically modified titanium and zirconia implant surfaces in dentistry: a study in sheep. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;37:1125-32.

돼지의 경골에 식립된 지르코니아 임플란트의 골유착에 관한 연구

김이경 · 조인호*

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

연구 목적: 최근 지르코니아 임플란트가 크게 향상된 물리적 성질, 자연치와 유사한 색조, 뛰어난 생체 적합성으로 주목 받고 있다. 이에 본 연구에서는 국내에서 시판되고 있는 상용 타이타늄 임플란트와 개발 단계인 지르코니아 임플란트의 골유착을 비교 연구하였다.

연구 재료 및 방법: 상용 타이타늄 임플란트(T 군)와 기계 절삭된 나사형 지르코니아 임플란트(Z 군), 기계 절삭 후 알루미늄 샌드 블라스팅으로 표면 처리된 나사형 지르코니아 임플란트(ZS 군)의 표면 거칠기를 측정 후 6마리 돼지의 좌, 우측 하지 경골에 식립하여 1주, 4주, 12주에 각각 희생하여 Periotest values (PTVs) 측정, 조직학적 측정 및 조직 계측학적 측정, 주사 전자 현미경 관찰을 시행하였다. 평균 표면 거칠기와 PTVs, 조직계측학적 측정 결과는 일원분산분석을 통해 통계 처리되었다($\alpha=0.05$).

결과: 각 군 임플란트의 표면 거칠기를 측정한 결과 T 군이 Z 군, ZS 군에 비해 더 유의하게 높은 평균 표면 거칠기 값을 보였다. PTVs는 측정 시기 모두에서 T 군이 상대적으로 낮은 값을 보였으나 각 군에 따라, 시기에 따라 모두 통계적으로 유의하지는 않았다. 식립 1주차 골접착율 측정 결과 Z 군이 T 군, ZS 군에 비해 유의성 있게 높았고, 골면적율은 T 군, Z 군이 ZS 군에 비해 유의성 있게 높았다. 식립 4주차 골접착율 측정에서 T 군이 Z 군, ZS 군에 비해 유의성 있게 높았고, 골면적율은 군간 유의한 차가 없었다. 식립 12주차 골접착율은 T 군, ZS 군, Z 군 순으로 낮아졌고 모든 군간 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다. 골면적율은 T 군, ZS 군이 Z 군에 비해 유의성 있게 높았다.

결론: 이상의 결과는 지르코니아 임플란트의 골유착이 타이타늄 임플란트에 비해 부족하며, 상용화를 위해서는 지르코니아 임플란트의 표면 변형에 관한 연구가 더 필요함을 시사한다. (대한치과보철학회지 2013;51:190-8)

주요단어: 지르코니아 임플란트; 골-임플란트 접착율; 골면적율; 조직계측학적 연구

*교신저자: 조인호

330-714 충청남도 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 보철학교실

041-550-0254; e-mail, cho8511@dankook.ac.kr

원고접수일: 2013년 6월 18일 / 원고최종수정일: 2013년 7월 1일 / 원고채택일: 2013년

7월 12일

© 2013 대한치과보철학회

CC 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 3.0 대한민국 라이선스에 따라 이용하실 수 있습니다.