

Investigation of effect of zirconia on osseointegration by surface treatments

Jin-Woo Jeong, Young-Gyun Song*

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Purpose: The aim of this study was to investigate effect of zirconia on osseointegration and Surface appearance by surface treatments using various acid solution. **Materials and Methods:** The prepared zirconia disks were treated with hydrofluoric acid solution and photo-assisted etching under various condition. The surface was analyzed by SEM and the surface roughness was analyzed by using surface profiler. The osteogenic effect of MC3T3-E1 cells was assessed via fluorescent staining observation and reverse transcriptase-polymerase chain reaction (RT-PCR). **Results:** Various roughness were obtained according to the surface treatment method. The surface roughness increased in the group treated with hydrofluoric acid solution, but that had week network structure. In the method using photo-assisted etching, the surface roughness increased in micro units. Cell reaction showed better results in the photo-assisted etching group than in the hydrofluoric acid-treated group ($P < 0.05$). And it showed even osteoblastic cell distribution in photo-assisted etching group. **Conclusion:** As a result, the photo-assisted etching method is more effective than the simple acid solution treatment for zirconia treatment for osseointegration. (*J Dent Rehabil Appl Sci* 2021;37(1):23-30)

Key words: zirconia; osseointegration; surface treatment

서론

여러 재료를 이용한 치과용 임플란트에 대한 연구가 진행된 이후, 1960년대에 이르러 티타늄을 주재료로 한 임플란트가 개발되었으며, 지금까지 치과용 임플란트의 주재료로 사용되고 있다.¹ 티타늄 합금은 우수한 기계적 성질과 생체 안정성을 바탕으로 치과용 임플란트의 재료로 성공적으로 적용되어 왔다. 그러나 티타늄 합금은 주위 연조직을 통해 회색조가 비치기 때문에 심미성을 훼손시킨다는 단점이 있으며,² 일부 보고에서는 생체내에서 알러지 반응 등의 부작용이 보고되기도 하였다.³⁻⁵ 한편, 심미성의 측면에서 티타늄 합금을 대체할 가능성을 지니는 재료로서 지르코니아에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 티타늄에 비해서는 부족하나 전임상적 연구에서 지

르코니아는 장기간 동안 교합력 하에서 기능할 수 있는 수준의 물성을 지닌다는 것이 확인되었으며,⁶⁻⁸ 동물 연구에서 지르코니아 주위에 티타늄 합금과 유사한 방식의 골유착이 형성되는 것이 확인되었다.⁹⁻¹⁴ 많은 세포 수준의 연구에서 지르코니아에 대한 골모세포와 유사골모세포의 반응이 티타늄 합금과 유사한 수준으로 발생한다고 보고되었다.¹⁵⁻¹⁷ 지르코니아 임플란트 고정체는 개발 초기에는 일체형 고정체가 주로 사용되어 각도 및 조기하중 등의 이유로 사용이 제한적이었으나, 현재는 지대주와 분리형태로 제품이 출시되어 점차 사용이 늘어가는 추세이다.¹⁸ 이에 더하여 골접촉률을 높이기 위해 티타늄 표면을 처리한 것과 같이 지르코니아의 표면처리는 임플란트 고정체로서의 지르코니아의 사용을 더 늘일 수 있을 것으로 사료된다.^{19,20} 따라서 적절한 지르코니아 임플

*Correspondence to: Young-Gyun Song
Associate Professor, Department of Prosthodontics, College of dentistry,
Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam,
31116, Republic of Korea
Tel: +82-41-550-1932, Fax: +82-41-553-1258, E-mail: ygsong@dankook.ac.kr
Received: December 4, 2020/Last Revision: February 27, 2021/Accepted: March
3, 2021

Copyright© 2021 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
© It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

란트 표면처리 방식의 개발은 지르코니아 임플란트의 대중화를 위해 꼭 수행되어야 할 과정으로 사료된다.²¹

지르코니아 임플란트에도 입자분사 및 산식각을 포함한 다양한 방식의 표면처리가 시도된 바 있다.²²⁻²⁵ 입자분사 및 산식각 처리는 임플란트 표면처리의 대표적인 과정이고 많은 연구들이 입자분사 및 산식각 처리된 티타늄 합금 임플란트에서 향상된 골유착과 골-임플란트 접촉 비율(Bone to implant contact)을 보고 하였다.^{26,27} 하지만 기술적인 어려움때문에 여전히 지르코니아 임플란트에 대한 산식각 처리에 관한 연구는 티타늄 합금에 대한 연구에 비해 현저히 부족한 현실이다.

이번 연구에서는 지르코니아 표면을 다양한 산식각 처리 후 이에 대한 골모세포의 반응을 알아보려고 하였다.

연구 재료 및 방법

Y-TZP (Cameleon ET block, Neobiotech Co., Seoul, Korea)를 제조사에서 제시한 방법대로 소결하였다. Surface grinding machine (HRG-150, AM Technology, Asan, Korea)을 이용하여, 직경 15 mm의 디스크 모양으로 절삭을 하였고, 연마기(SPL-15 Grind X, OKAMOTO Co., Saitama, Japan)에서 1.0 마이크론 Diamond particles을 이용하며 최종 높이 1.2 mm의 지르코니아 디스크 시편을 제작하였다.

아무 것도 처리하지 않은 지르코니아 디스크를 대조군으로 하였으며, 68 wt.% HNO₃에서 7시간 동안 80°C에서 처리한 군(Group 1)과 48% HF Solution에

서 10분동안 60°C에서 처리한 군(Group 2) 그리고, HF:H₂O₂:CH₃COOH Solution에서 백금촉매와 Xe lamp를 50 mWcm² 조건으로 조사하여 10분동안 처리한 군(Group 3)으로 나누어 표면처리를 시행하였다(Fig. 1). 모든 시험군은 온도 유지를 위해 간접가열법을 사용하였으며, 산처리 이후에 0.5 M NaOH에서 중화과정을 거친 후에 초음파세척기를 이용하여, 10분간 3회 세척후에 건조기에서 60분간 건조하였다. 처리된 시편은 개별포장 후, 산화 에틸렌 가스 멸균을 진행하였다.

처리된 지르코니아 시편의 표면은 전자현미경(MIRA LMH, TESCAN, Brno, Czech Republic)을 이용하여 관찰하였다.

골모세포의 반응을 평가하기 위해 MC3T3-E1 pre-osteoblastic cell (ATCC cell bank, Manassas, USA)을 사용하였다. Dulbecco's modified eagle medium high glucose (DMEM)(Gibco, Grand Island, USA)에 10% heat-inactivated fetal bovine serum (FBS)(CELLect GOLD, MP Biomedicals, Irvine, USA)을 첨가한 뒤, 100 U/mL of penicillin and 10 µg/mL of streptomycin을 첨가하여 배양배지를 제조하였고, 세포 배양기에서 37°C, 5% CO₂의 환경에서 세포를 배양하였으며, 이틀에 한번 배지를 교환하여 주었다. 이후 세포농도가 1 × 10⁵ cells/mL 인 배지를 각 시편이 들어 있는 well plate에 주입하였다.

세포 접종 후 24시간 이후에 1.5 µM의 Carboxyfluorescein succinimidyl ester (CFSE)를 이용하여 30분 염색한 후 DPBS (pH7.2)를 이용하여 세척하고 형광현미경을 이용하여 관찰하였다.

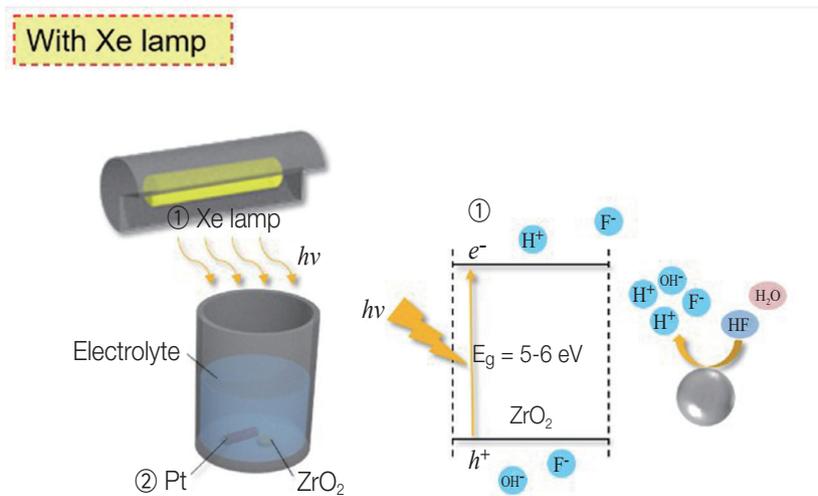


Fig. 1. Schematic diagram of photo-assisted etching.

Table 1. Gene-specific primer sequences of MC3T3-E1 cells used in RT-PCR

| | Primer |
|-----------------|---|
| Type I collagen | 5'-CCCCAACCCCTGGAAACAGAC-3' 5'-GGTCACGTTTCAGTTGGTCAAAGG-3' |
| Osterix | 5'-GGC TGA GGA AGA AGC CCA TTC-3' 5'-TTT GCT CAA GTG GTC GCT TCTG-3' |
| Osteocalcin | 5'-TGGCT GCGCTCTGTC TCTCT-3' 5'-GGC AGC ACA GGT CCT AAA TAG TG-3' |
| Runx2 | 5'-GAGGGCACAAGTTCTATCTG-3' 5'-CGCTCCGGCCCACAAATCTC-3' |
| β -actin | 5'-TTCTTTGCAGCTCCTTCGTTGCCG-3' 5'-TGGATGGCTACGTACATGGCTGGG -3' |

시편에 따른 골유착능을 확인하기 위해, 세포 접종 후 24시간, 48시간배양 후 역전사 중합효소 연쇄반응 (reverse transcriptase-polymerase chain reaction, RT-PCR)을 이용하여, type I collagen (Col1a1), alkaline phosphatase (ALP), Runx2의 발현정도를 살펴보았다. 기준이 되는 가사유전자(house-keeping gene)로는 β -actin을 사용하였다. 사용된 primer sequences는 다음과 같다(Table 1).

통계분석은 IBM SPSS v24 (IBM Corp. Armonk, USA)프로그램을 사용하여 진행하였다. Kruskal Wallis 법을 이용하여 유의수준 0.05에서 분석을 시행하였으며, Mann Whitney법을 이용하여 사후 검증을 시행하였다.

결과

질산으로 산처리한 group1을 SEM으로 관찰한 결과 전반적인 표면의 굴곡은 관찰되었지만, 다공구조 형성 등의 표면 변화는 관찰할 수 없었다(Fig. 2). 불산용액으로 처리한 group2의 경우 큰 굴곡을 보이지는 않았으나, 고배율 관찰시 열린 다공구조가 관찰되었으며, 네트워크 구조를 보이고 있었다(Fig. 3). 광촉매 산처리를 이용한 group3의 경우, 불산처리한 군과 유사한 네트워크 구조를 보이고 있었으나, 다공구조를 이루는 구조가 더 두꺼우며, 완성도가 높은 모습을 보였다(Fig. 4).

형광염색결과 광촉매 처리군에서 고르게 퍼진 세포들을 관찰할 수 있었으며, 불산처리군에서도 높은 밀도의 세포가 관찰되었으나, 분포는 고르지 않게 나타났다(Fig. 5).

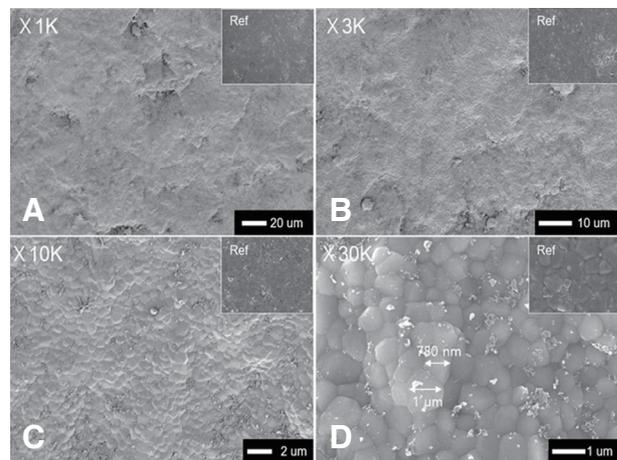


Fig. 2. SEM images with different magnification (A) 1000, (B) 3000, (C) 10000, (D) 30000 times of HNO₃ etching group.

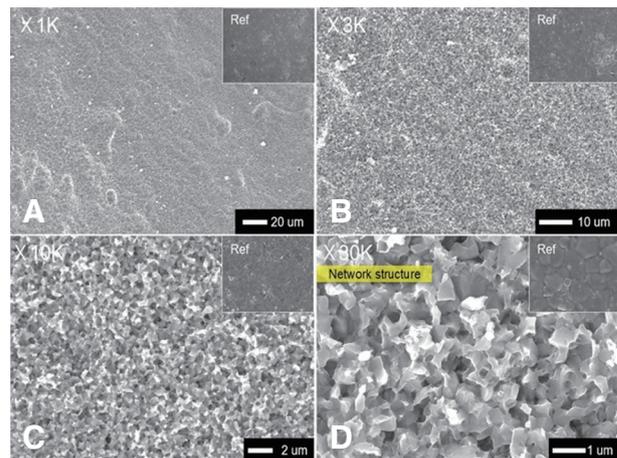


Fig. 3. SEM images with different magnification (A) 1000, (B) 3000, (C) 10000, (D) 30000 times of HF etching group.

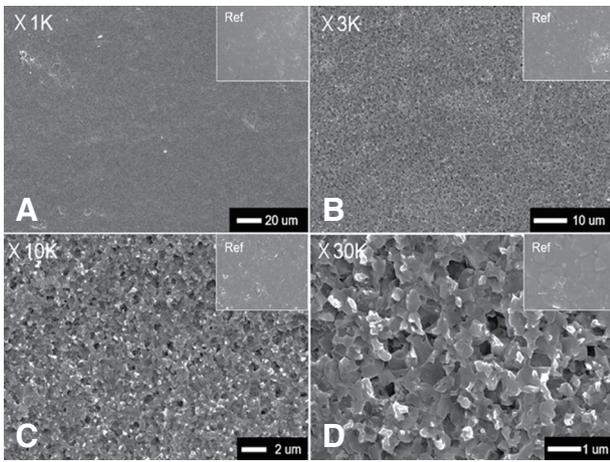


Fig. 4. SEM images with different magnification (A) 1000, (B) 3000, (C) 10000, (D) 30000 times of photo-assisted etching group.

MC3T3-E1 세포의 골대사와 연관된 유전자발현을 관찰한 결과, 질산 처리군과 처리하지 않은 대조군 사이에 차이는 없었다. 광촉매 처리한 군은 불산 처리한 군과 유사하거나 더 높은 발현을 보였다($P < 0.05$)(Fig. 6). 24시간 이후의 유전자 발현도의 차이에서 질산 처리군에서는 대조군과 차이가 없거나 약간 높은 발현도를 보였으며, 광촉매 처리한 군의 경우, 불산 처리한 군과 유사하거나 더 큰 변화를 보였다($P < 0.05$)(Fig. 7).

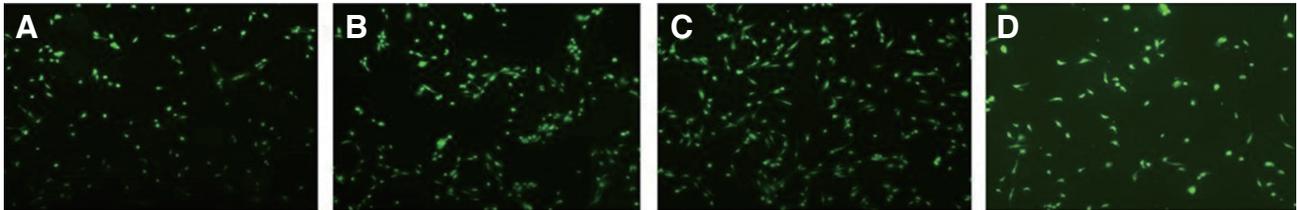


Fig. 5. Fluorescent staining observation of MC3T3-E1 cells cultured on different surface treated zirconia. A is HNO₃ etching group, B is HF etching group, C is photo-assisted etching group, D is no treated control group.

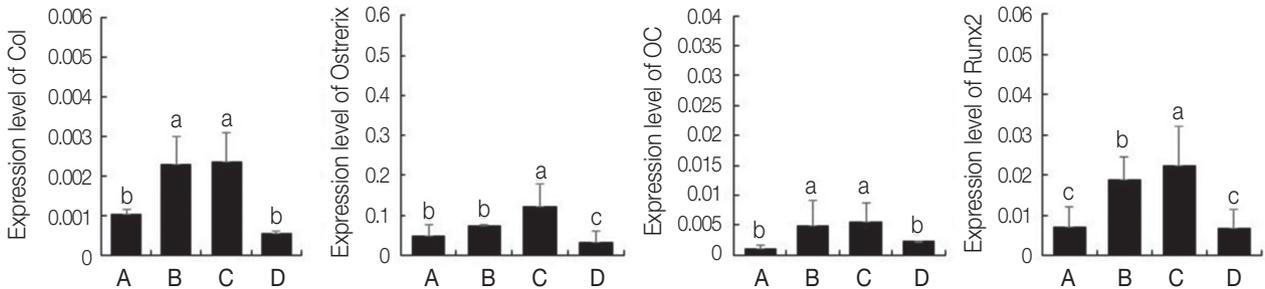


Fig. 6. Collagen I, Osterix, Osteocalcin, Runx2 gene expression after 24 hours. Different superscript letters indicate significant difference ($P < 0.05$) A is HNO₃ etching group, B is HF etching group, C is photo-assisted etching group, D is no treated control group.

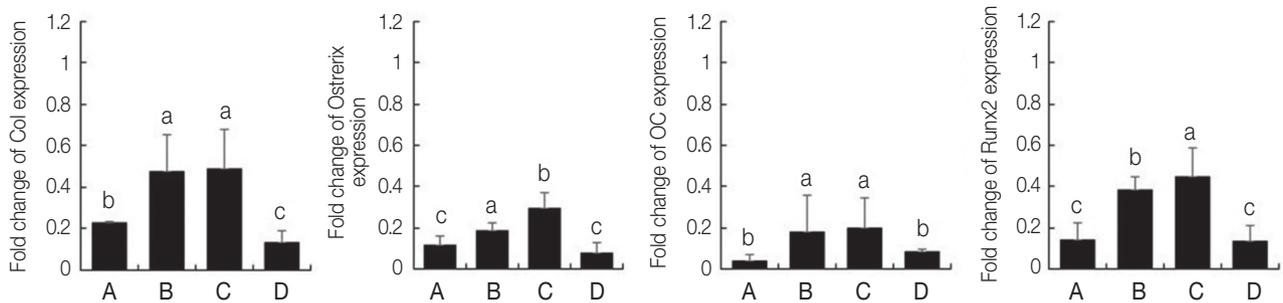


Fig. 7. Comparison of fold change in regulation of 4 genes as assessed by microarray and quantitative RT-PCT with β -actin as an internal control. Different superscript letters indicate significant difference ($P < 0.05$) A is HNO₃ etching group, B is HF etching group, C is photo-assisted etching group, D is no treated control group.

고찰

국내에는 아직 지르코니아 재질의 치과용 임플란트가 허가받은 내용이 없으나 해외에서는 지르코니아 임플란트가 상용화 되어 있다. 세포수준의 연구에서는 지르코니아의 세포친화성이 티타늄보다 높게 나타났으나, 제작의 용이성, 물리적 특성 및 표면처리의 용이성 등 여러 이유로 현재 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다.^{10,11} 치과용 수복재료로 사용되는 지르코니아의 경우, 표면을 산부식시키는 재료들이 상용화되어 있지만, 이들 재료는 생물학적 안정성 및 강산으로 인해 처리가 용이하지 못한 단점이 있다. Selective infiltration-etching (SIE) 방법을 이용하여 다공표면을 만드는 방법이 보고되었지만, 임플란트 고정체의 표면뿐만 아니라 내부의 기계적 성질에도 영향을 미치는 것으로 나타나 널리 사용되지는 못하였다.²⁸ 생체활성물질로 표면을 코팅하는 방법은 표면 자체의 형상을 변형시키는 방법이 아니기 때문에 이번 연구에서는 표면의 거칠기 변화에 연구의 방향을 정하였다.²⁹ 또한 코팅 재료와 지르코니아의 물성 차이로 인한 계면분리 등의 문제점은 spark plasma sintering (SPS) 등을 이용하여 Functional graded material (FGM)를 제작하는 방법을 사용한다고 하더라도 한계가 있었다.³⁰

이번 연구에서는 다른 강산을 사용하는 방법과^{31,32} 더불어 광촉매를 이용해 산부식 능력을 증가시키는 방법으로 산처리를 시행하였다. 질산을 처리한 경우, 표면적으로 다공구조가 형성이 되지 않았으며, 이것은 골모세포의 부착에도 영향을 주지 못하였고, 표면처리시 마이크로단위의 표면의 거칠기는 오히려 줄어드는 것으로 나타났다.³³ 지르코니아 산처리에 대한 선행된 연구에서도 질산을 단독으로 사용하기 보다는 불산과 혼합한 용액을 주로 사용하였다. 따라서 지르코니아의 표면처리방법으로 질산을 사용하는 경우, 효과가 크지 않을 것으로 사료된다. 반면 환원력이 높은 불산의 경우, 지르코니아 표면에 열린 다공구조를 형성하였으나 처리과정중 유독가스의 발생과 네트워크 구조가 약해 물리적인 성질이 매우 떨어질 것으로 사료된다. 실험시에도 표면에서 지르코니아 분말이 떨어져 나오는 것을 관찰할 수 있었다. 특히 일반적으로 지르코니아 산부식에 사용되는 40%이상의 불산의 경우, 아세트산이나 구연산에서와 다르게 상변화로 인한 급격한 물리적 특성약화를 보인다는 이전 연구는 이러한 사실을 뒷받침해준다.³⁴ 인체 삽입용 고정체의 재료로 지르코니아를 사용하는 것은 문제가 없지만, 지르

코니아 분말의 잔존은 세포독성의 가능성이 있다는 연구가 보고되었기 때문에 지르코니아 표면처리 연구시 분말의 잔존을 매우 주의 깊게 살펴보아야 하는 항목이다.³⁵

광촉매를 이용한 산처리는 반도체 분야를 비롯한 다양한 곳에서 사용이 되고 있으며, 이것은 약산의 반응성을 최대로 하여 강산의 효과를 나타낼 수 있는 장점이 있다. 또한 광원의 출력 등 여러 조절인자로 인해 다양한 조건을 만들어 낼 수 있는 장점이 있다. 이 방법은 주로 실리콘-게르마늄합금의 산부식에 사용되는 방법인데, 실리콘-게르마늄 합금의 경우, 다결정질(polycrystalline) 형태이기 때문에 유사한 형태를 가지고 있는 지르코니아에 이 방법을 적용하였다.³⁶⁻³⁸ 이번 실험에서 사용한 조건은 예비실험을 통해 적절 비율 및 전해질 농도를 계산하였으며, 그 결과 열린 다공구조의 네트워크 구조를 갖는 지르코니아 표면을 얻을 수 있었다.

광촉매를 이용한 산처리군은 불산으로 처리한 군에 비해 다공구조가 깊게 나타난 것이 특징적이었으며, 이것은 골모세포의 부착에 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 또한 초기 부착뿐만 아니라 fold change에서도 더 우수한 결과를 보여준 것은 형광염색에서 세포의 분포에서 알 수 있듯이 깊은 다공구조의 비교적 균일한 형성으로 인해 표면에 고르게 세포가 분포된 것이 큰 원인으로 사료되며, 불산의 경우, 최외층의 표면이 과도하게 노출되지만, 광촉매에 의해 활성화된 산의 경우, 깊은 곳까지 침투가 가능하기 때문에 얻어진 결과로 사료된다.

이번 실험의 경우, 단기간동안 세포수준에서 진행된 연구라는 한계점이 있으나, 강산을 사용하지 않고, 광촉매를 이용한 지르코니아의 표면처리방법의 제시라는 점에 그 의의가 있으며, 강산으로 처리한 지르코니아보다 더 좋은 골세포반응을 얻을 수 있었다. 추후, 기계적 강도 및 더 다양한 전해액을 이용한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

결론

지르코니아의 표면처리시 골세포의 반응을 높일 수 있다. 광촉매 산부식방법으로 처리할 경우 다른 산처리방법에 비해 처리 후 열린 다공구조와 균일한 네트워크 구조를 나타내기 때문에 골유착능을 높이는데 효과적일 것으로 사료된다.

Acknowledgements

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2017R1C1B5076428).

ORCID

Jin-Woo Jeong <https://orcid.org/0000-0002-1294-0150>

Young-Gyun Song <https://orcid.org/0000-0003-3789-9585>

References

1. Elani HW, Starr JR, Da Silva JD, Gallucci GO. Trends in Dental Implant Use in the U.S., 1999-2016, and Projections to 2026. *J Dent Res* 2018;97:1424-30.
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. Schliephake H, Reiss G, Urban R, Neukam FW, Guckel S. Metal release from titanium fixtures during placement in the mandible: an experimental study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993;8:502-11.
5. Urban RM, Jacobs JJ, Tomlinson MJ, Gavrilovic J, Black J, Peoc'h M. Dissemination of wear particles to the liver, spleen, and abdominal lymph nodes of patients with hip or knee replacement. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82:457-76.
6. Andreiotelli M, Kohal RJ. Fracture strength of zirconia implants after artificial aging. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009;11:158-66.
7. Silva NRFA, Coelho PG, Fernandes CAO, Navarro JM, Dias RA, Thompson VP. Reliability of one-piece ceramic implant. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009;88:419-26.
8. Kohal RJ, Wolkewitz M, Mueller C. Alumina-reinforced zirconia implants: survival rate and fracture strength in a masticatory simulation trial. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:1345-52.
9. Akagawa Y, Hosokawa R, Sato Y, Kamayama K. Comparison between freestanding and tooth-connected partially stabilized zirconia implants after two years' function in monkeys: a clinical and histologic study. *J Prosthet Dent* 1998;80:551-8.
10. Scarano A, Di Carlo F, Quaranta M, Piattelli A. Bone response to zirconia ceramic implants: an experimental study in rabbits. *J Oral Implantol* 2003;29:8-12.
11. 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.
12. Kohal RJ, Wolkewitz M, Hinze M, Han JS, Bächle M, Butz F. Biomechanical and histological behavior of zirconia implants: an experiment in the rat. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:333-9.
13. Lee J, Sieweke JH, Rodriguez NA, Schüpbach P, Lindström H, Susin C, Wikesjö UM. Evaluation of nano-technology-modified zirconia oral implants: a study in rabbits. *J Clin Periodontol* 2009;36:610-7.
14. Rocchietta I, Fontana F, Addis A, Schupbach P, Simion M. Surface-modified zirconia implants: tissue response in rabbits. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:844-50.
15. Kohal RJ, Bächle M, Att W, Chaar S, Altmann B, Renz A, Butz F. Osteoblast and bone tissue response to surface modified zirconia and titanium implant materials. *Dent Mater* 2013;29:763-76.
16. Ito H, Sasaki H, Saito K, Honma S, Yajima Y, Yoshinari M. Response of osteoblast-like cells to zirconia with different surface topography. *Dent Mater J* 2013;32:122-9.
17. Möller B, Terheyden H, Açil Y, Purcz NM, Hertrampf K, Tabakov A, Behrens E, Wiltfang J. A comparison of biocompatibility and osseointegration of ceramic and titanium implants: an in vivo and in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012;41:638-45.
18. Lorusso F, Noumbissi S, Francesco I, Rapone B, Khater AGA, Scarano A. Scientific Trends in Clinical Research on Zirconia Dental Implants: A Bibliometric Review. *Materials* 2020;13:5534.

19. Zechner W, Tangl S, Fürst G, Tepper G, Thams U, Mailath G, Watzek G. Osseous healing characteristics of three different implant types. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:150-7.
20. Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 2 - review focusing on clinical knowledge of different surfaces. *Int J Prosthodont* 2004;17:544-64.
21. Gahlert M, Gudehus T, Eichhorn S, Steinhauser E, Kniha H, Erhardt W. Biomechanical and histomorphometric comparison between zirconia implants with varying surface textures and a titanium implant in the maxilla of miniature pigs. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:662-8.
22. Hao L, Lawrence J, Chian KS. Osteoblast cell adhesion on a laser modified zirconia based bioceramic. *J Mater Sci Mater Med* 2005;16:719-26.
23. Yamashita D, Machigashira M, Miyamoto M, Takeuchi H, Noguchi K, Izumi Y, Ban S. Effect of surface roughness on initial responses of osteoblast-like cells on two types of zirconia. *Dent Mater J* 2009;28:461-70.
24. 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.
25. Ito H, Sasaki H, Saito K, Honma S, Yajima Y, Yoshinari M. Response of osteoblast-like cells to zirconia with different surface topography. *Dent Mater J* 2013;32:122-9.
26. Klokkevold PR, Nishimura RD, Adachi M, Caputo A. Osseointegration enhanced by chemical etching of the titanium surface. A torque removal study in the rabbit. *Clin Oral Implants Res* 1997;8:442-7.
27. Marinho VC, Celletti R, Bracchetti G, Petrone G, Minkin C, Piattelli A. Sandblasted and acid-etched dental implants: a histologic study in rats. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:75-81.
28. Aboushelib MN, Salem NA, Abo Taleb AL, El Moniem NM. Influence of surface nano-roughness on osseointegration of zirconia implants in rabbit femur heads using selective infiltration etching technique. *J Oral Implantol* 2013;39:583-90.
29. Aldini NN, Fini M, Giavaresi G, Martini L, Dubini B, Ponzi Bossi MG, Rustichelli F, Krajewski A, Ravaglioli A, Mazzocchi M, Giardino R. Osteointegration of bioactive glass-coated and uncoated zirconia in osteopenic bone: an in vivo experimental study. *J Biomed Mater Res A* 2004;68:264-72.
30. Guo H, Khor KA, Boey YC, Miao X. Laminated and functionally graded hydroxyapatite/yttria stabilized tetragonal zirconia composites fabricated by spark plasma sintering. *Biomaterials* 2003;24:667-75.
31. Sriamporn T, Thamrongananskul N, Busabok C, Poolthong S, Uo M, Tagami J. Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dent Mater J* 2014;33:79-85.
32. Vander Wall EM, Whitener EM. Concentrated Nitric and Dilute Hydrofluoric Acid Mixtures in Dissolution of Zirconium Metal. *Ind Eng Chem* 1959;51:51-4.
33. Prajapati RR, Srinivasan TG, Chandramouli V, Bhagwat SS. Dissolution kinetics of zirconia dioxide in nitric acid. *Desalin Water Treat* 2014;52:490-7.
34. Xie H, Shen S, Qian M, Zhang F, Chen C, Tay FR. Effects of Acid Treatment on Dental Zirconia: An In Vitro Study. *PLoS One* 2015;10:e0136263.
35. Li J, Liu Y, Hermansson L, Söremark R. Evaluation of biocompatibility of various ceramic powders with human fibroblasts in vitro. *Clin Mater* 1993;12:197-201.
36. Matsumoto S, Toguchi M, Takeda K, Narita T, Kachi T, Sato T. Effects of a photo-assisted electrochemical etching process removing dry-etching damage in GaN. *Jpn J Appl Physics* 2018;57:121001.
37. Choi YH, Balk KH, Choi R, Oh J. Photo-Enhanced Acid Chemical Etching of High-Quality Aluminum Nitride Grown by Metal-Organic Chemical Vapor Deposition. *ECS J Solid State Sci Tech* 2019;8:N42-6.
38. Baraissov Z, Pacco A, Koneti S, Bisht G, Panciera F, Holsteyns F, Mirsaidov U. Selective Wet Etching of Silicon Germanium in Composite Vertical Nanowires. *ACS Appl Mater Interfaces* 2019;11:36839-46.

지르코니아 표면처리가 골유착에 미치는 영향

정진우 대학원생, 송영균* 부교수

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 본연구의 목적은 다양한 산용액을 이용하여 지르코니아의 표면을 처리하여 표면의 양상과 골유착에 미치는 영향을 알아보는 것이다.

연구 재료 및 방법: 준비된 지르코니아 디스크에 다양한 산용액 및 광촉매 산부식을 이용하여 표면을 처리하였다. 각 시편을 SEM으로 관찰하고, 골유착을 관찰하기 위해 MC3T3E-1 세포를 이용하여 형광염색과 역전사 중합효소 연쇄반응을 통해 평가하였다.

결과: 처리한 방법에 따라 다양한 거칠기를 보였다. 불산처리군은 표면의 거칠기가 증가하였으나 약한 네트워크 구조를 가지고 있었다. 골유착능에서는 광촉매 산부식을 시행한 군에서 더 좋은 결과를 보였다($P < 0.05$).

결론: 지르코니아를 광촉매 산부식방법으로 처리할 경우 다른 산처리방법에 비해 골유착능을 높이는데 효과적일 것으로 사료된다.

(구강회복응용과학지 2021;37(1):23-30)

주요어: 지르코니아; 골유착; 표면처리

*교신저자: 송영균

(31116)충남 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 치과보철학교실

Tel: 041-550-1932 | Fax: 041-553-1258 | E-mail: ygsong@dankook.ac.kr

접수일: 2020년 12월 4일 | 수정일: 2021년 2월 27일 | 채택일: 2021년 3월 3일