지르코니아 및 티타늄 고정체 소재가 지대주 나사의 응력 분포에 미치는 영향: 3차원 유한 요소 분석

김은영, 홍민호

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Influence of zirconia and titanium fixture materials on stress distribution in abutment screws: a three-dimensional finite element analysis

Eun Young Kim, Min-Ho Hong

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Busan, Korea

Article Info

Received March 4, 2021

Revised March 16, 2021

Accepted May 14, 2021

Corresponding Author

Min-Ho Hong

Department of Dental Laboratory Science,
College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan 46252, Korea

E-mail: mhhong@cup.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0002-6456-2200>

*This work was supported by the technology development program (grant number S2910908) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea) and research fund offered from Catholic University of Pusan.

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the stability of abutment screws used with the zirconia fixture-based implant system and compare them with those used with the existing titanium fixture system via the finite element method.

Methods: A single implant-supported restoration was designed for the finite element analysis. A universal analysis program was used to set 8 occlusal points along the direction to the long axis of the implant, and an occlusal load of 700 N was applied.

Results: In all models (Zir and Ti-fixture model), the screw threads presented with the highest von Mises stress (VMS) values, whereas the head and end presented with the lowest VMS values. The VMS of the screw used in the zirconia-fixture model was 5.97% lower than that used in the titanium-fixture model (261.258 vs. 276.911 MPa, respectively) despite statistical significance. Furthermore, the zirconia fixture (352.912 MPa) had a higher stress value (8.42%) than the titanium fixture (332.331 MPa). In a completely tightened titanium fixture implant system, the stress was concentrated in the implant-abutment connection interface, the zirconia fixture presented with a stable stress distribution.

Conclusion: Although the zirconia fixture demonstrated a high VMS value, owing to the stiffness and elasticity coefficients of the material, the stress generated in the abutment screws was similar in all models. In conclusion, the zirconia fixture-based implant system presented with a more stable stress distribution in the abutment screws than the titanium fixture-based implant system.

Key Words: Dental implants, Finite element analysis, Implant-supported dental prosthesis, Zirconium oxide

INTRODUCTION

치과용 임플란트 고정체(fixture)는 나사 모양의 구조물로, 임플란트 시술 시 치조골에 고정되어 환자의 상실된 치아를 복원하는 임플란트 시스템의 하부 구조물이다. 즉, 임플란트 고정체는 결손치 환자에게 인공 치근의 기능을 수행한다. 이러한 치과용 임플란트 고정체는 지대주와 지대주 나사에 의해 결합되고 지대주 나사의 안전성은 임플란트 시술 성공률에 중요한 요인이 된다[1-3]. 임플란트 수복물에서 가장 흔한

기술적 문제점은 주로 지대주 나사의 풀림 현상이다[4]. 지대주 나사의 파절 및 풀림과 같은 문제점은 고정체가 굽힘 하중과 회전력에 의해 임플란트 주변 지지골에 유해한 응력 발생을 발생시키기 때문이다[2]. 따라서 외부 하중에 대한 지대주 나사의 응력 분포는 임플란트 시스템에 지대한 영향을 미치게 된다.

치과용 고정체 소재는 주로 티타늄(titanium, Ti)이 임상적으로 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 환자의 치은 점막이 얇거나 퇴축될 경우 티타늄 고정체의 고유의 색상으로 인해 심미성이 결여되는 문제가 발

생하고 있다[4]. 또한 전치부 치아 상실의 경우 발음 및 심미성을 모두 만족하는 보철물을 제작하기 어렵다[5]. 최근 구치부 치아에 대한 심미성 부여가 부각되면서 심미성 개선을 위해 지르코니아(zirconia, Zir) 임플란트를 적용하는 연구가 진행되고 있다. 또한 생물학적 측면에서 티타늄 고정체를 적용한 추적 연구에서는 티타늄 임플란트의 알레르기 반응이 임플란트 실패 요인이 될 수 있다고 보고하였다[6].

최근 심미성 개선과 구조 안정성을 위해 고정체로 활용되는 소재를 다양하게 접근하는 중이며, 티타늄의 대체로 지르코니아 고정체가 주목 받고 있다[5]. 지르코니아(yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal, Y-TZP)는 생체 내에서 불활성이며, 부식과 마모에 대한 저항성이 뛰어나고 높은 파괴 인성, 굴곡강도(900~1,400 MPa)로 치과 상부 보철물 제작에 활용되는 소재이다[7]. 또한 지르코니아는 정방정계의 상(tetragonal phase)에서 단사정의 상(monoclinic phase)으로 상 변형에 대한 고유한 특성을 가진다. 이러한 상 변형은 3%~5%의 부피 증가를 동반하여 내부에서 발생하는 균열 전파를 억제한다[8]. 최근 실험에서 지르코니아 임플란트가 티타늄 임플란트와 유사한 골 반응과 뛰어난 생체 적합성을 가진다고 보고하였다[9,10]. 또한 동물 실험과 임상 추적 조사에서도 지르코니아와 접촉한 구강 내 치은 조직 반응은 티타늄 임플란트와 비교했을 때 비슷하거나 우수한 치유 결과를 나타냈다[11,12].

임플란트 유지 고정성 보철물의 구조에서 안정성에 부적절한 영향을 미치는 요소는 지대주 나사의 풀럼 및 파절 현상이다. 외부 하중에 대한 지대주 나사의 소성 변형, 부족한 나사 조임 토크, 전하중 소실, 임플란트 표면 침하, 저작 과정 중 발생하는 진동 등과 같은 원인으로 발생한다. 최근 지르코니아 임플란트 시스템에 대한 유한 요소 연구는 주로 지지골에 대한 응력 분산 평가가 이루어졌으며[13], 지대주 나사의 안정성에 대한 기초 연구는 여전히 부족하다. 유한 요소 분석은 수학적 계산 방법으로 복잡한 구조물의 응력과 변위를 시뮬레이션 과정을 통해 알 수 있다[14-16]. 실험적 설계 범위와 해석 조건에 기초하여 정확한 계산과정이 이루어진다면 응력이나 변위를 외적 요인에 영향을 받

지 않으면서 분석할 수 있는 장점이 있다. 또한 유한 요소 분석은 생체 실험 전 단계로써 임플란트 시스템의 각 파트에 대해서 기능 평가와 설계 지침으로 널리 사용되고 있다[17]. 따라서 본 연구에서는 최근 임상에 적용되고 있는 지르코니아 임플란트 시스템의 지대주 나사 안정성 평가를 위해 유한요소법을 이용하여 기존의 티타늄 임플란트 시스템의 지대주 나사와 비교 평가하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 유한 요소 모델

하악 제1대구치를 대상으로 단일 구조 임플란트 및 각 구조물(고정체, 지대주, 지대주 나사, 그리고 상부 보철물)을 3차원 모형으로 제작하였다(CATIA; Dassault Systèmes, Vélizy-Villacoublay, France). 유한 요소 해석의 편의를 위해 근심과 원심에 위치한 인접 치아는 제외하였다.

Fig. 1은 연구에 적용된 Zir-fixture와 Ti-fixture 모델을 나타내었다. 또한 연구에 적용된 임플란트 시스템은 현재 상용화되고 있는 MEGAGEN 임플란트 시스템에 근거하여 설계되었다. 고정체(Any-One; MegaGen, Daegu, Korea)는 선행 연구를 기반으로 구치부에서 많이 적용되는 직경 5 mm, 길이 11.8 mm의 고정체를 사용하였다[13]. 기성 지대주(ZrGen Abutment; MegaGen)는 cuff 1.5 mm, 직경 4.5 mm, 그리고 post height 4.5 mm 구조를 가지는 지대주를 사용하였다. 지대주 나사는 직경 1.8 mm, 길이 5.1 mm의 나사를 설계하였다. 전체적인 형상은 하악골의 횡단면 이미지를 기반으로 하악골 블록 모형을 설계하였다. 하악골의 전반적인 설계는 높이 29.5 mm, 너비 14 mm, 그리고 두께 1.4~3.7 mm 피질골로 둘러싸인 형상으로 해면골과 분리하여 설계하였다(Fig. 1).

인체의 피질골과 해면골을 포함한 모든 모델 구조물은 등방성, 균질성 재료들로 가정하였으며, 각 재료들의 물성치는 문헌에 나와 있는 자료들을 이용하여 Table 1에 나타내었다[17-19]. 또한 모델을 구성하는

Figure 1. Three-dimensional analysis structure; abutment, implant and screw in the bone. (A) Zir-fixture, (B) Ti-fixture. Zir: zirconia, Ti: titanium.

각 구조의 접촉 부분들은 완전 결합된 것으로 가정하였다.

2. 경계 및 하중 조건

나사 조임 토크는 교합 하중을 적용하기 전 단계에서 전하중(pre-load)을 재현하기 위해 이전 연구에서 제공한 산술식을 바탕으로 32Ncm의 토크를 적용하였다[20]. 하중조건은 중심 교합(centric occlusion) 상태를 묘사하기 위해 교합면 8개 지점을 설정하고 고정체가 식립된 장축 방향을 기준으로 700 N의 수직하중을 적용하였다(Fig. 2) [21].

구속 조건으로는 하악골의 모든 부위의 이동 및 회전하지 않도록 구속하였다. 교합 하중을 의미하는 교합면 상의 8 지점은 교합면의 중앙으로부터 협측 교두의 외부경사에 3점, 협측교두의 내부경사에 3점, 설측교두의 내부경사에 2점으로 총 8 군데를 지정하였다. 임상에서 대부분의 경우 교합점의 위치는 지대주 나사가 식립되는 위치를 피해 설정된다. 하지만 본 연구에서는 8개의 하중 지점에 균일한 교합력 분산을 위해 각각의 교합점에 87.5 N의 하중을 적용하였다[21]. 각 모델과 하중 조건에 따른 최대 응력의 크기와 위치를 분석하였으며 등 간격으로 구분된 응력 값의 분포를 색상 별로 나타내었다.

Table 1. Mechanical properties of all simulated materials

Material	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio
Titanium implant	110	0.35
Zirconia implant	210	0.30
Abutment screw	110	0.35
Abutment	110	0.35
Zirconia crown	210	0.26
Cortical bone	13.7	0.30
Cancellous bone	1.37	0.30

RESULTS

지르코니아와 티타늄 고정체 소재에 따른 지대주 나사의 최대등가 응력(von mises stress, VMS)을 Fig. 3에 나타냈다. VMS의 가장 높게 나타난 값은 나사산 부분에서 나타났고 가장 낮은 값은 나사의 머리와 끝부분으로 나타났다. Zir-fixture 모델의 지대주 나사(261.258 MPa)는 Ti-fixture 모델의 지대주 나사(276.911 MPa)보다 5.97% 정도로 VMS 값이 감소하였지만 차이가 미미한 것으로 나타났다.

Fig. 4는 두 가지 고정체 소재(지르코니아 및 티타늄) 적용에 따른 완전 체결된 임플란트 시스템의 전체적인 응력 분산 결과를 보여준다. 지르코니아 고정체(352.912 MPa)는 티타늄 고정체(332.331 MPa)보다 높은 응력(8.42%)을 나타냈다. 또한 완전 체결된 임플란트 시스템에서 티타늄 고정체의 경우 지대주 나사가 있는 중간부에서 응력이 많이 발생하는 것으로 보인다. 반면 지르코니아 고정체는 나사 부위에서 안정적인 응력 분산을 나타냈다.

DISCUSSION

본 연구는 지르코니아 고정체의 임상 적용에 대한 지대주 나사의 응력 집중 및 안정성을 평가하기 위해 3D 유한요소분석(finite element analysis)을 사용하여 티타늄 고정체와 비교 평가하였다. 연구 결과에서 고정체 소재에 따른 지대주 나사의 최대등가응력 분포는 지르코니아 고정체를 적용한 Zir-fixture 모델과 Ti-fixture 모델에서 유사한 결과 값을 나타냈다. 또한, 지대주, 지대주 나사, 그리고 고정체가 체결된 구성에서 티타늄 고정체에 비해 지르코니아 고정체가 더 높은 최대 등가응력을 나타내었다. 이는 Yun 등[22]의 연구 결과와 일치하며 지르코니아 고정체 소재의 우수한 강성 및 높은 탄성 계수의 특성으로 티타늄-티타늄 구조보다 티타늄-지르코니아 구조에서 두 구조물의 물성

Figure 2. Contact and boundary condition of model (A) and application method of loading condition on the zirconia crown (B).

Figure 3. Equivalent stress distribution of abutment screw under vertical loading. (A) Zir-fixtured, (B) Ti-fixtured. Zir: zirconia, Ti: titanium, Avg: Average.

Figure 4. Equivalent stress distribution of abutment, abutment screw and fixture under vertical loading. (A) Zir-fixtured, (B) Ti-fixtured. Zir: zirconia, Ti: titanium, Avg: Average.

차이로 인한 응력 집중으로 해석된다.

Joos 등[23]은 two-piece zirconia 임플란트에서 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보고하였고, Lee 등[24]의 기존의 티타늄 고정체의 나사 안정성 분석에서 본 연구에 적용한 나사 조임 토크(32Ncm) 구간에서 지대주 나사에 발생하는 최대 응력 지점이 유사한 경향으로 나타났다. 게다가 Kohal 등[25]은 상용화되고 있는 티타늄 고정체와 지르코니아 고정체에 대한 응력 분포 양상에 대한 평가에서도 지르코니아 고정체에 대한 안정성을 입증하였으며 기존의 티타늄 고정체의 대체 대안이 가능할 것이라고 보고하였다. 본 연구에서 시뮬레이션된 모델 구조는 균질, 등방성, 선형 탄성을 지녔다고 가정되었다. 또한 각 구조의 접촉 부위는 완전 결합으로 가정하였고, 인접치는 제외하였다. 모델을 단순화하기 위해 적용된 가정은 단일 임플란트 시스템에서 응력 분산을 평가하는 물성치 조건은 다른 연구에서 설계된 가정과 동일하다[19]. 임플란트의 수직 방향에 따라 700 N의 교합 하중을 교합면에 8 지점에

하중 조건 설계하였다[20]. 임플란트를 식립하는 환자에서 일반적으로 저작 중 발생할 수 있는 정상적인 수직 교합력과 유사하다. 그러나 실제 복잡한 하중 패턴 즉, 환자의 구강 상황의 저작 복제는 불가능하여 하중 패턴을 모델에 단순화된 수직 하중 조건으로 연구를 진행하였다 [19-21,26,27].

고정체 소재에 따른 지대주 나사의 응력 분석을 위하여 하악 구치부 하악골과 2 종의 고정체(지르코니아 및 티타늄), 지대주, 지대주 나사, 하악 제1대구치 치관의 모델을 구현하였다. 실험의 외부적인 요소를 제외하기 위해 모델은 완전 결합된 형태로 가상하였다. 지대주 나사에 충격을 최소화하기 위해서는 나사에 가해지는 외부 하중을 최소화하여야 한다[26]. 특히 임플란트와 지대주의 연결 부위의 압축력은 굽힘하중과 회전력에 저항하는 유지 형태를 가지고 있어야 한다[27]. 지대주 나사에 회전력이나 응력 하중이 집중되는 경우는 나사의 변형이나 파절이 일어날 수 있으며 나사에서 응력을 받아주지 못할 경우 골에 무리한 힘

이 가해서 임플란트 시술 실패의 원인이 되기도 한다[28,29]. 임플란트 시술 및 유지를 장기적으로 성공시키기 위해서는 교합 하중을 균일하게 분포될 뿐만 아니라 지대주 나사에 생성되는 응력이 균일하게 분산되어야 한다[30].

본 연구에서 Zir-fixture 모델은 Ti-fixture 모델보다 지대주 나사에서 발생한 최대 응력이 안정적으로 분산되었다. 이는 지르코니아 소재 임플란트의 굴곡강도와 파괴인성이 티타늄 소재에 비해 높기 때문으로 생각된다[20,30]. 또한 Zir-fixture 모델과 Ti-fixture 모델에서 지대주 나사에 미치는 응력은 유사하게 나타났으며(Fig. 3), 지르코니아 고정체가 완전 결합된 임플란트 시스템의 지대주 나사가 Ti-fixture 모델보다 연결부 안정성이 우수한 것을 알 수 있다(Fig. 4). 향후 실험에서는 구강 내의 동적 하중을 적용하여 지르코니아 임플란트 소재의 지대주 나사에 미치는 응력 및 지대주 나사의 조임에 따른 응력을 연구하여 검증할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

CONCLUSIONS

본 연구는 지르코니아 고정체를 사용한 임플란트 시스템에서 지대주 나사의 안정성을 평가하기 위한 것으로, 기존의 티타늄 임플란트 시스템과 비교·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

지대주 나사에 대한 응력 분산 측면에서 지르코니아 고정체를 적용한 임플란트 시스템은 티타늄 고정체 임플란트 시스템보다 안정적인 응력 분산을 보장하며 티타늄 임플란트 시스템의 잠재적 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Zir-fixture 모델의 고정체에서 8.42% 정도 높은 최대등가응력이 관찰되었으나 올바르게 제작된 지르코니아의 높은 기계적 특성을 고려해 볼 때 임상 취급에 큰 문제점이 없을 것이며, 향후 장기적 임상 연구를 바탕으로 추가 검증이 필요할 것으로 생각된다.

CONFLICT OF INTERESTS

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Eun Young Kim, <https://orcid.org/0000-0001-6846-9524>

Min-Ho Hong, <https://orcid.org/0000-0002-6456-2200>

REFERENCES

1. de Moura MB, Rodrigues RB, Pinto LM, de Araújo CA, Novais VR, Júnior PCS. Influence of screw surface treat-

ment on retention of implant-supported fixed partial dentures. *J Oral Implantol.* 2017;43:254-260.

2. Moraes SL, Pellizzer EP, Verri FR, Santiago JF Jr, Silva JV. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in retention screws of different crown-implant ratios. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2015;18:689-696.
3. Quaresma SE, Cury PR, Sendyk WR, Sendyk C. A finite element analysis of two different dental implants: stress distribution in the prosthesis, abutment, implant, and supporting bone. *J Oral Implantol.* 2008;34:1-6.
4. Lee MK, Kim KJ. Three dimensional finite element analysis of the stress on supporting bone by the abutment materials of dental implant. *J Korean Acad Dent Technol.* 2018;40:41-47.
5. Carvalho MA, Sotto-Maior BS, Del Bel Cury AA, Pessanha Henriques GE. Effect of platform connection and abutment material on stress distribution in single anterior implant-supported restorations: a nonlinear 3-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent.* 2014;112:1096-1102.
6. Brune A, Stiesch M, Eisenburger M, Greuling A. The effect of different occlusal contact situations on peri-implant bone stress - a contact finite element analysis of indirect axial loading. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2019;99:367-373.
7. Ahmed WM, Troczynski T, McCullagh AP, Wyatt CCL, Carvalho RM. The influence of altering sintering protocols on the optical and mechanical properties of zirconia: a review. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31:423-430.
8. Kelly JR, Denry I. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dent Mater.* 2008;24:289-298.
9. Ichikawa Y, Akagawa Y, Nikai H, Tsuru H. Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J Prosthet Dent.* 1992;68:322-326.
10. Kohal RJ, Weng D, Bächle M, Strub JR. Loaded custom-made zirconia and titanium implants show similar osseointegration: an animal experiment. *J Periodontol.* 2004;75:1262-1268.
11. Delgado-Ruiz RA, Gomez Moreno G, Aguilar-Salvatierra A, Markovic A, Mate-Sánchez JE, Calvo-Guirado JL. Human fetal osteoblast behavior on zirconia dental implants and zirconia disks with microstructured surfaces.

- An experimental in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27:e144-e153.
12. Degidi M, Artese L, Scarano A, Perrotti V, Gehrke P, Piatelli A. Inflammatory infiltrate, microvessel density, nitric oxide synthase expression, vascular endothelial growth factor expression, and proliferative activity in peri-implant soft tissues around titanium and zirconium oxide healing caps. *J Periodontol.* 2006;77:73-80.
 13. Hong MH. Comparison of stress distribution in bone and implant-supported dental prosthesis with zirconia and titanium implants: a 3-dimensional finite element analysis. *J Tech Dent.* 2020;42:348-354.
 14. Gehrke P, Alius J, Fischer C, Erdelt KJ, Beuer F. Retentive strength of two-piece CAD/CAM zirconia implant abutments. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2014;16:920-925.
 15. Shin S, Kim CS, Cho W, Jeong CM, Jeon YC, Yun JH. Mechanical strength of zirconia abutment in implant restoration. *J Dent Rehabil Appl Sci.* 2009;25:349-360.
 16. Hwang HJ, Kim SK, Lee JH, Heo SJ, Koak JY, Yoo SY. Comparative analysis between zirconia implant and titanium implant. *J Korean Dent Sci.* 2012;5:48-53.
 17. Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstein MM, Weber HP, Buser D. Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: a cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *J Periodontol.* 2009;80:140-151.
 18. Çağlar A, Bal BT, Karakoca S, Aydın C, Yılmaz H, Sarısoy S. Three-dimensional finite element analysis of titanium and yttrium-stabilized zirconium dioxide abutments and implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26:961-969.
 19. Verri FR, Cruz RS, Lemos CA, de Souza Batista VE, Almeida DA, Verri AC, et al. Influence of bicortical techniques in internal connection placed in premaxillary area by 3D finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2017;20:193-200.
 20. do Nascimento C, Pedrazzi V, Miani PK, Moreira LD, de Albuquerque RF Jr. Influence of repeated screw tightening on bacterial leakage along the implant-abutment interface. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20:1394-1397.
 21. Ha SR, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS, Yoo SH, et al. Biomechanical three-dimensional finite element analysis of monolithic zirconia crown with different cement thickness. *Ceram Int.* 2016;42:14928-14936.
 22. Yun MJ, Kim CW, Jeong CM, Seo SU. Three-dimensional finite element analysis for comparison between titanium implant abutment and zirconia implant abutment. *J Dent Rehabil Appl Sci.* 2011;27:51-61.
 23. Joos M, Sailer I, Filippi A, Mukaddam K, Rosentritt M, Köhl S. Stability of screw-retention in two-piece zirconia implants: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31:607-614.
 24. Lee SH, Lee KB, Hong MH. Finite element analysis of screw-tightening torque applied to custom and conventional abutment. *Glob J Health Sci.* 2017;9:165-178.
 25. Kohal RJ, Papavasiliou G, Kamposiora P, Tripodakis A, Strub JR. Three-dimensional computerized stress analysis of commercially pure titanium and yttrium-partially stabilized zirconia implants. *Int J Prosthodont.* 2002;15:189-194.
 26. Zembic A, Sailer I, Jung RE, Hammerle CH. Randomized-controlled clinical trial of customized zirconia and titanium implant abutments for single-tooth implants in canine and posterior regions: 3-year results. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20:802-808.
 27. Kitamura E, Stegaroiu R, Nomura S, Miyakawa O. Biomechanical aspects of marginal bone resorption around osseointegrated implants: considerations based on a three-dimensional finite element analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2004;15:401-412.
 28. Shadid R, Sadaqa N. A comparison between screw- and cement-retained implant prostheses. A literature review. *J Oral Implantol.* 2012;38:298-307.
 29. Katsavochristou A, Koumoulis D. Incidence of abutment screw failure of single or splinted implant prostheses: a review and update on current clinical status. *J Oral Rehabil.* 2019;46:776-786.
 30. Shin HM, Cho W, Jeong CM. Influence of tungsten carbide/carbon coating on the preload and tightening torque of implant abutment screws. *J Dent Rehabil Appl Sci.* 2009;25:53-59.