

Micro-CT를 이용한 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 적합성 분석

민광석 · 정재현 · 김희중*

조선대학교 치과대학 치과보철학교실

Fit analysis of CAD-CAM custom abutment using micro-CT

Gwang-Seok Min, Chae-Heon Chung, Hee-Jung Kim*

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study was to investigate screw joint stability and sagittal fit between internal connection implant fixtures of two different manufacturers and customized abutments. **Materials and methods:** Internal connection implant systems from two different manufacturers (Biomet 3i system, Astra Tech system) were selected for this study (n=24 for each implant system, total n=48). For 3i implant system, half of the implants were connected with Ti ready-made abutments and the other half implants were connected with Ti CAD-CAM custom ones of domestic-make (Myplant, Raphabio Co., Seoul, Korea) and were classified into Group 1 and Group 2 respectively. Astra implants were divided into Group 3 and Group 4 in the same way. Micro-CT sagittal imaging was performed for fit analysis of interfaces and preloading reverse torque values (RTV) were measured. **Results:** In the contact length of fixture-abutment interface, there were no significant differences not only between Group 1 and Group 2 but also between Group 3 and Group 4 (Mann-Whitney test, $P>.05$). However, Group 2 and Group 4 showed higher contact length significantly than Group 1 and Group 3 in abutment-screw interface as well as fixture-screw one (Mann-Whitney test, $P<.05$). In addition, RTV was lower in CAD-CAM custom abutments compared to ready-made ones (Student t-test, $P<.05$). **Conclusion:** It is considered that domestically manufactured CAD-CAM custom abutments have similar fit at the fixture abutment interface and it could be used clinically. However, RTV of CAD-CAM custom abutments should be improved for the increase of clinical application. (*J Korean Acad Prosthodont* 2016;54:370-8)

Keywords: CAD-CAM custom abutment; Micro-CT; Internal connection implant fixture; Preloading reverse torque value; Screw joint stability

서론

임플란트의 단면은 원형이며 자연치아의 치근과 비교했을 때 직경이 더 좁기 때문에, 임상가들은 기능적이면서 심미적인 보철물 제작에 어려움을 겪는다.^{1,2} 일반적으로 임플란트 제조사가 제공하는 기성 지대주(ready-made abutment) 사용시 출현 윤곽(emergence profile)이 자연스럽지 못하고 보철물이 과풍용되기 쉽다.⁴ 이러한 어려움을 해결하기 위해, UCLA 지대주와 치근 형태 및 치은외형을 재현하는 지대주 같은 여러 가지 시도들이 소개되어왔다. 그러나 이러한 지대주들 사용시 주조오차나 적합 문제, 부적절한 회전 저항력, 귀금속 사용량 증가에 따

른 제작 비용 증가 등의 문제점이 발생하였다.^{1,6}

최근에는 급속한 컴퓨터 기술의 발전으로 CAD-CAM (computer aided design-computer aided manufacture) 제작방식을 통해 해부학적으로 이상적인 형태를 갖는 맞춤형 지대주(CAD-CAM custom abutment)를 제작할 수 있게 되었다. 이러한 맞춤형 CAD-CAM 지대주는 개개 치아의 출현윤곽을 재현할 수 있고, 최종 보철물을 이상적으로 제작할 수 있으며, 유지와 지지 형태를 최적화 할 수 있는 장점을 갖는다.^{4,7} 또한, 이상적인 위치에서 벗어난 고정체의 위치를 보상할 수 있게 되었고,^{6,8} CAD-CAM 제작 방식으로 인해 전통적인 납형 제작과 주조 과정 시에 발생하는 오차를 없앨 수 있게 되었으며,⁹ 일정한 결과와 생

*Corresponding Author: Hee-Jung Kim

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chosun University,
303, Philmun-daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Republic of Korea
+82 (0)62 220 3820; e-mail, khjdds@chosun.ac.kr

Article history: Received June 10, 2016 / Last Revision July 21, 2016 / Accepted September 12, 2016

※ This article was supported by research fund from Chosun University, 2014.

© 2016 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.

산성을 확보할 수 있게 되었다.⁴

임플란트 고정체-지대주-나사 사이의 정확한 적합은 기계적, 생물학적인 측면에서 임상 결과에 중요한 영향을 미친다. 불안정한 접촉 계면을 갖는 임플란트 고정체와 지대주 연결은 나사에 부적절한 응력을 가할 수 있으며,¹⁰ 임플란트 나사 결합체(screw joint) 내에 미세 운동이 발생되어 임플란트와 지대주 사이에 부가적인 운동을 허용함으로써 나사의 풀림 및 파절 및 심한 경우 고정체의 골유착 파괴에 이를 수 있다. 따라서, 대응되는 적합면 사이의 긴밀한 접촉은 지대주 나사에 전달되는 하중을 최소화하는데 중요하다.¹¹ 또한 고정체와 지대주 사이의 연결부위에서 미세누출은 임플란트 주변 연조직의 염증과 악취를 일으킬 수 있다.^{12,13}

맞춤형 CAD-CAM 지대주의 임상 결과에 대한 보고들을 살펴보면, Henriksson와 Jemt¹⁴, Canulio¹⁵는 구강 내에서 12개월, 44개월 동안 기능한 결과 임플란트와 상부보철물에 특별한 합병증과 실패를 보이지 않았다고 하였다. 맞춤형 CAD-CAM 지대주 사용의 장점과 안정적인 임상 결과로 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 사용이 증가하였으며, 현재 다수의 회사들이 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 제작하고 있다. 해외뿐만 아니라 국내에도 CAD-CAM 제작 방식을 이용한 맞춤형 지대주가 생산되고 있는데 고정체-지대주-나사 사이의 적합성과 나사의 안정성에 대한 연구 및 장기적인 임상결과는 아직 미비한 실정이다.

Micro-CT(X-ray microcomputed tomography)는 1980년대 초에 개발된 후, voxel 크기의 감소와 해상도 증가 등의 발전을 이루었다. 현재 micro-CT 시스템을 이용한 치과계 연구는 생체 경조직 및 연조직, 세라믹이나 합성물, 금속과 같은 여러 재료들의 검사 뿐만 아니라 실험동물의 *in vivo* 연구에도 활용되고 있다.¹⁶⁻¹⁸ 이러한 micro-CT 시스템은 X-ray 촬영 후 3D 재구성을 통해 단면을 얻기 때문에, 원하는 정확한 위치의 단면을 얻을 수 있고 동일한 시편 내에서 다양한 위치의 단면을 관찰할 수 있다. 또한 기존 주사전자현미경 촬영을 위한 시편 제작시 필요한 포매

및 연마 과정을 생략할 수 있고, 시편의 손상이 없기 때문에 동일한 시편으로 다양한 실험을 할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 두 외국제조사의 내측연결형 임플란트 고정체를 선정하고 각각의 기성 지대주 및 국내에서 제작된 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 이용하여 체결한 후, micro-CT를 이용한 고정체-지대주 사이의 적합성 및 초기 풀림 토크를 측정하므로써 상호 비교하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

1) 임플란트 고정체의 선택

본 실험에서 사용된 임플란트 고정체는 직경 4.1 mm, 길이 11.5 mm의 3i OSSEOTITE Certain (Biomet 3i LLC., Palm Beach Garden, FL, USA) 24개와 직경 4.0 mm, 길이 11.0 mm의 Astra OsseoSpeed (OsseoSpeed Profile implants, Astra Tech AB, Mölndal, Sweden) 24개로서 모두 육각형의 내측연결 구조를 갖는다.

2) 지대주 및 나사의 선택

기성 지대주는 각 임플란트 제조사에서 제작된 Biomet 3i사의 GingiHue Post (Biomet 3i LLC., Palm Beach Garden, FL, USA)와 Astra사의 TiDesign (Astra Tech AB, Mölndal, Sweden)를 각각 12개씩 사용하였다 (Fig. 1A, Fig. 1C). 맞춤형 CAD-CAM 지대주 제작을 위해 임플란트 고정체가 식립된 레진 모형을 인상 채득하여 작업모형을 제작하였고, Raphabio사(Myplant, Raphabio Co., Seoul, Korea)에 각 회사 임플란트에 시적 할 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 12개씩 제작 의뢰하였다 (Fig. 1B, Fig. 1D).

고정체와 지대주의 연결을 위한 나사는 기성 지대주에는 각 회사에서 제공되는 것을 사용하였고, 맞춤형 CAD-CAM 지대주에는 Raphabio사에서 제작된 것을 사용하였다 (Fig. 2, Table 1).

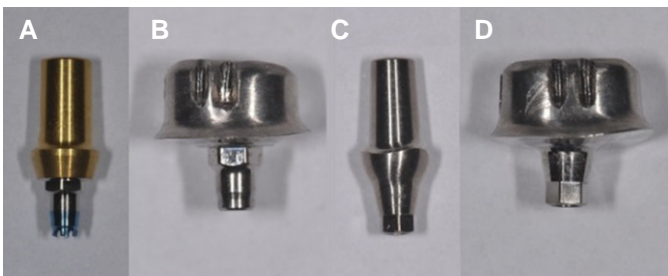


Fig. 1. Implant abutments used in this study. (A) GingiHue Post, (B) Raphabio custom-made abutment for 3i system, (C) TiDesign, (D) Raphabio custom-made abutment for Astra system.

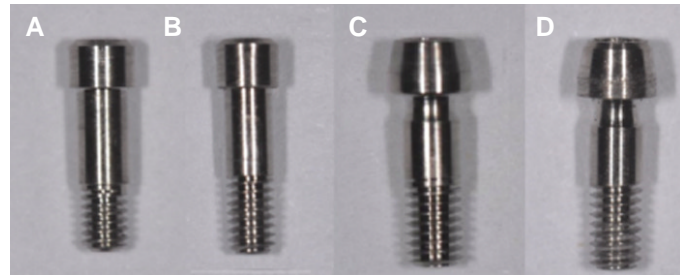


Fig. 2. Abutment screw used in this study. (A) Biomet 3i screw, (B) Raphabio custom-made screw for 3i system, (C) Astra ready-made screw, (D) Raphabio custom-made screw for Astra system.

Table 1. Classification of tested groups in this study (n = Number of sample)

Group	Implant fixture	Abutment	Abutment Screw
1	3i OSSEOTITE Certain (n = 12)	GingiHue Post (n = 12)	Titanium alloy (IUNIHT) (n = 12)
2	3i OSSEOTITE Certain (n = 12)	Custom-made (n = 12)	Titanium alloy (Custom-made) (n = 12)
3	OsseoSpeed (n = 12)	TiDesign (n = 12)	Titanium alloy (M1.6 REF 24449) (n = 12)
4	OsseoSpeed (n = 12)	Custom-made (n = 12)	Titanium alloy (Custom-made) (n = 12)

3) 실험 그룹 분류

24개의 3i OSSEOTITE Certain를 12개씩 나누어, 12개씩의 기성 지대주 및 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 각각의 지대주 나사와 연결하여 Group 1과 Group 2로 분류하였다. Astra사의 OsseoSpeed도 마찬가지로 기성지대주와 맞춤형 지대주 및 지대주 나사 연결유무에 따라 Group 3와 Group 4로 분류하였다 (Table 1).

4) 고정체와 지대주의 체결

한 명의 숙련된 보철의사가 임플란트 고정체를 움직이지 않게 고정된 후 지대주를 체결하였다. 정확한 조임 토크를 가하기 위하여 임플란트 보철용 motor screw driver (iSD900, Nakanishi Inc., Tochigi, Japan)를 사용하였으며, 각 실험군마다 20 Ncm로 조임 토크를 가하였다. 이 후 계면의 표면침하에 따른 전하중 소실을 보상하기 위해 10분 후 동일 조임 토크를 한번 더 적용하였다.¹⁹

2. 실험 방법

1) 적합성 실험

고정체-지대주-나사 간의 적합성을 알아보기 위해 micro-CT (SkyScan1173, SKYSCAN, Kontich, Belgium)를 이용하여 촬영하였으며, 각 시편마다 지대주의 내측연결부인 육각형의 꼭지점을 연결한 선을 따라 3가지 시상면 단면을 얻었다 (Fig. 3B). 단면 상에서 지대주-나사의 계면, 고정체-지대주의 계면, 고정체-나사의 계면의 적합 상태를 관찰하고, 각 계면에서 양측의 접촉 길이를 측정하였다. 고정체-나사의 계면의 접촉면의 수는 시편마다 약간의 차이가 있어서 접촉하고 있는 3개의 접촉면의 길이를 대상으로 하였다.

2) 나사 안정성 실험: 초기 풀림 토크의 측정

체결된 나사의 안정성 실험을 위하여 디지털 토크렌치 (MGT 12, Mark-10 Corp., Copiague, NY, USA)를 이용하여 각각의 고정체-지대주 연결체의 초기 풀림 토크를 시편당 3회 반복 측정하였다.

3. 통계분석

SPSS ver. 20.0 (IBM SPSS Statistics, Chicago, IL, USA) 프로그램을

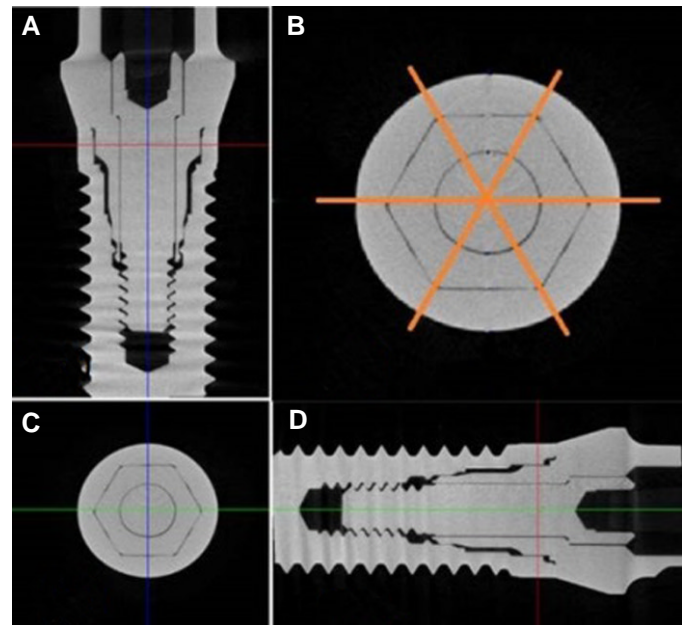


Fig. 3. Sectioned images using micro-CT in this study. (A) coronal section of Implant-Abutment Complex (IAC), (B) three sectioned planes for fit analysis, (C) transverse section of IAC, (D) sagittal section of IAC.

이용하여 각 시편의 접촉길이와 초기 풀림 토크 값의 평균 및 표준편차를 계산하였다. 기성 지대주와 맞춤형 CAD-CAM 지대주 사이의 적합성을 비교하기 위하여 Mann-Whitney test를 시행하였고, 두 지대주 사이의 풀림토크를 비교하기 위해 Student t-test를 시행하였다.

결과

1. Micro-CT를 이용한 적합성 분석

1) 2종의 내측연결 임플란트 시스템에서의 적합

3i시스템에서 기성지대주군(Group 1)과 맞춤형 지대주군(Group 2) 모두에서 고정체-지대주의 접촉이 고정체의 첨단(top) 부위에서 수평적으로 존재(butt-joint)하였으나 (Fig. 4, Fig. 5A,

Fig. 5B), Astra 시스템에서는 기성지대주군(Group 3)과 맞춤형 지대주군(Group 4) 모두에서 고정체-지대주 간의 적합이 morse taper 형태로 그 접촉 정도는 훨씬 더 넓게 나타났다(Fig. 4, Fig. 5C, Fig. 5D). 따라서 고정체-지대주 간의 접촉을 제외한 내부 빈 공간 부위는 Biomet 3i 시스템이 Astra 시스템에 비해 더 크게 존재하였다. 또한 Group 1의 기성 지대주 첨부(apex)에 존재하는 결찰 고리(engagement fingers)를 Group 2의 맞춤형 CAD-CAM 지대주가 재현하지 못함으로써, Group 2의 맞춤형 지대주는 해당 부위에 빈 공간을 형성하였다(Fig. 4). 그리고, 모든 군에서 지대주-나사의 접촉은 나사 두부(head)의 기저부와 지대주의 내부 견부(shoulder)에서 나타났으며 나사의 두부 및 경부의 측벽과 지대주 내부 사이에는 큰 틈을 보였고(Fig. 4, Fig. 6), 고정체-나사의 접촉은 상단 나사산의 면에 대응되는 고정체의 면에 일부만 접촉되는 양상을 보였다(Fig. 4, Fig. 7). 결과적으로 2종의 내측연결 임플란트 시스템에서의 고정체-지대주-나사의 접촉 양상은 내부구조의 차이로 인하여 다른 접촉양상을 보여주었다(Fig. 4).

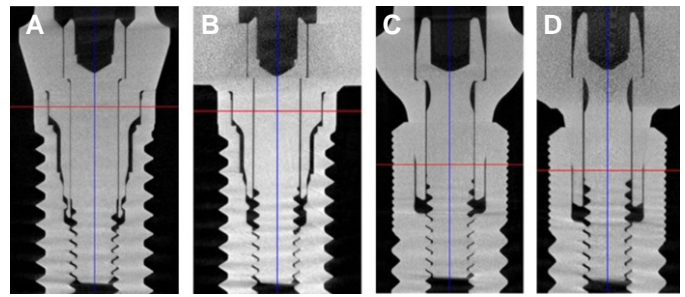


Fig. 4. Sagittal/coronal section in each Group. (A) Group 1, (B) Group 2, (C) Group 3, (D) Group 4, Group 1 and Group 2: 3i system, Group 3 and Group 4: Astra system.

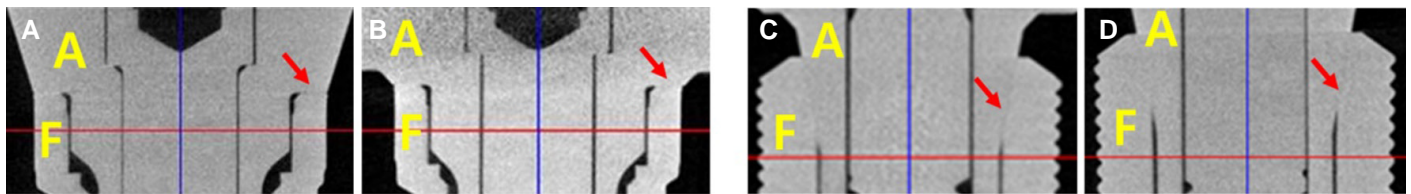


Fig. 5. Micro-CT images of fixture-abutment interface. (A) Group 1, (B) Group 2, (C) Group 3, (D) Group 4. A: abutment, F: fixture. Red arrow indicates contact between fixture and abutment.

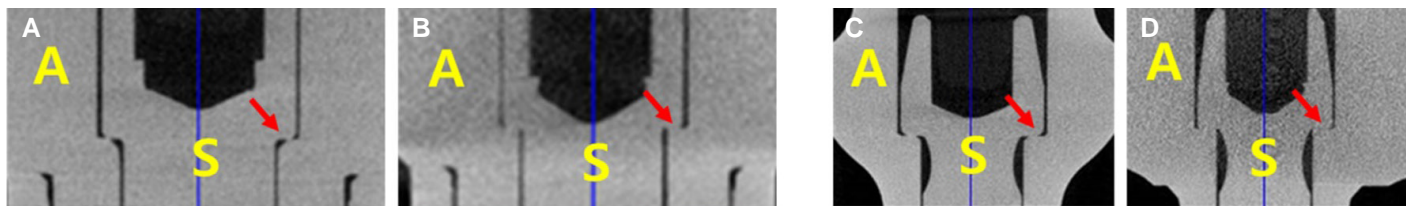


Fig. 6. Micro-CT images of abutment-screw interface. (A) Group 1, (B) Group 2, (C) Group 3, (D) Group 4. A: abutment, S: abutment screw. Red arrow indicates contact between screw and abutment.

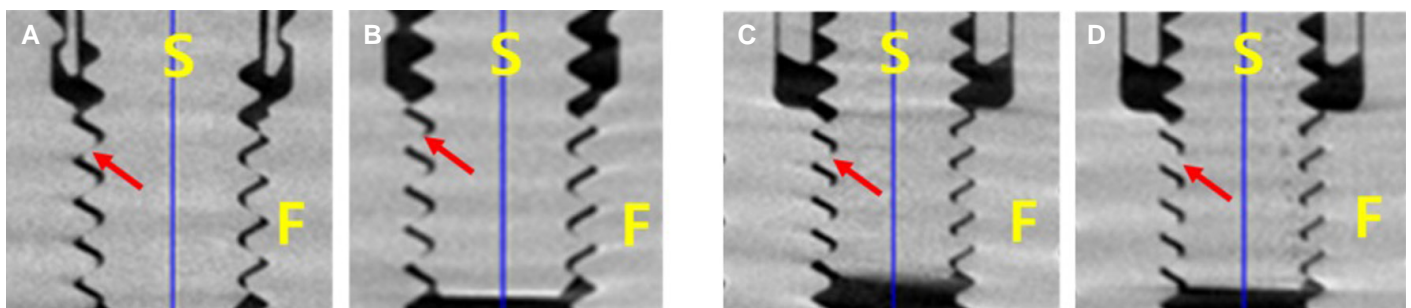


Fig. 7. Micro-CT images of fixture-screw interface. (A) Group 1, (B) Group 2, (C) Group 3, (D) Group 4. F: fixture, S: abutment screw. Red arrow indicates contact between fixture and screw.

2) Biomet 3i 시스템에서 적합 및 접촉

(1) 고정체-지대주의 계면

고정체의 첨단(top) 부위에서 지대주와의 수평적인 접촉(butt-joint)이 균일하게 관찰되었다(Fig. 5A, Fig. 5B). 계면에서의 접촉 길이는 Group 1에서 $338.08 \pm 18.58 \mu\text{m}$, Group 2에서 $334.0 \pm 70.67 \mu\text{m}$ 였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

(2) 지대주-나사의 계면

나사 두부(head)의 기저부와 지대주 내부의 견부(shoulder)의 접촉은 Group 1에서는 나사 두부의 기저부 중앙 일부만이 접촉하는 양상을 보였으나(Fig. 6A), Group 2에서는 전체적으로 더 많은 접촉을 보여주었으며(Fig. 6B), 그 접촉 길이는 Group 1에서 $59.83 \pm 8.85 \mu\text{m}$, Group 2에서 $145.67 \pm 10.27 \mu\text{m}$ 로서, Mann-Whitney test를 시행한 결과 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2). 또한 나사의 두부 및 견부의 측벽과 지대주 사이에는 두 군 모두에서 틈이 존재하였다.

(3) 고정체-나사의 계면

접촉양상은 두 군 모두 나사산의 상부가 그에 대응되는 고정체에 접촉되고 하부에서는 틈이 관찰되었다(Fig. 7A, Fig. 7B). 한 개의 고정체-나사 계면에서의 접촉 길이는 Group 1에서 $84.61 \pm 7.46 \mu\text{m}$, Group 2에서 $138.31 \pm 11.66 \mu\text{m}$ 였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

3) Astra 시스템에서 적합 및 접촉

(1) 고정체-지대주의 계면

Group 3와 Group 4 두 군 모두, 모든 단면에서 morse taper 부위에 길고 명확한 접촉이 관찰되었다(Fig. 5C, Fig. 5D). 계면에서의 접촉 길이는 Group 3에서 $1028.33 \pm 51.04 \mu\text{m}$, Group 4에서 $1036.68 \pm 108.01 \mu\text{m}$ 였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

(2) 지대주-나사의 계면

Group 3에서는 나사 두부(head)의 기저부와 지대주의 견부(shoulder)의 접촉이 존재하였지만(Fig. 6C), 일부 시편에서는 좌우측 중 한 곳에서만 접촉이 관찰되기도 하였다. Group 4에서는 지대주-나사의 접촉은 더 길고 균일하게 나타났다(Fig. 6D). 그 계면에서의 접촉 길이는 Group 3에서 $167.33 \pm 16.51 \mu\text{m}$, Group 4에서 $299.0 \pm 13.06 \mu\text{m}$ 였으며, Mann-Whitney test를 시행한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 3).

(3) 고정체-나사의 계면

두 군 모두 나사산의 상부가 접촉되고 하부에서는 틈이 관찰되었다(Fig. 7C, Fig. 7D). 한 개의 고정체-나사 계면에서의 접촉 길이는 Group 3에서 $167.19 \pm 9.60 \mu\text{m}$, Group 4에서 $155.36 \pm 7.83 \mu\text{m}$ 로 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 3).

Table 2. Contact length on interfaces in Group 1 and Group 2 (Biomet 3i system) and statistical analysis for contact length by Mann-Whitney test

	Group	Mean \pm SD (μm)	Mann-Whitney P-value
Fixture-Abutment interface	1	338.08 ± 18.58	.150
	2	334.0 ± 70.67	
Abutment-Screw interface	1	59.83 ± 8.85	.004*
	2	145.67 ± 10.27	
Fixture-Screw interface	1	84.61 ± 7.46	.004*
	2	138.31 ± 11.66	

* significantly different ($P < .05$)

Table 3. Contact length on interfaces in Group 3 and Group 4 (Astra system) and statistical analysis for contact length by Mann-Whitney test

	Group	Mean \pm SD (μm)	Mann-Whitney P-value
Fixture-Abutment interface	3	1028.33 ± 51.04	.262
	4	1036.68 ± 108.01	
Abutment-Screw interface	3	167.33 ± 16.51	.004*
	4	299.0 ± 13.06	
Fixture-Screw interface	3	167.19 ± 9.60	.037*
	4	155.36 ± 7.83	

* significantly different ($P < .05$)

Table 4. Preloading reverse torque values and statistical analysis for RTV by Student t-test in Biomet 3i system

Group	Min. (Ncm)	Max. (Ncm)	Mean \pm SD (Ncm)	t-test P-value
1	14.4	16.0	15.76 \pm 0.56	.001*
2	13.3	16.5	14.47 \pm 0.85	

* significantly different ($P < .05$)**Table 5.** Preloading reverse torque values and statistical analysis for RTV by Student t-test in Astra system

Group	Min. (Ncm)	Max. (Ncm)	Mean \pm SD (Ncm)	t-test P-value
3	14.7	17.1	15.76 \pm 0.73	.00002*
4	12.8	15.9	14.41 \pm 0.90	

* significantly different ($P < .05$)

2. 나사 안정성 실험

1) Biomet 3i 시스템에서 초기 풀림 토크

지대주의 초기 풀림 토크 값은 Group 1에서 15.76 ± 0.56 Ncm, Group 2에서 14.47 ± 0.85 Ncm로서 유의한 차이가 있었다 (Table 4).

2) Astra 시스템에서 초기 풀림 토크

지대주의 초기 풀림 토크 값은 Group 3에서 15.76 ± 0.56 Ncm, Group 4에서 14.47 ± 0.85 Ncm로서 유의한 차이가 있었다 (Table 5).

고찰

그 동안 맞춤형 CAD-CAM 지대주에 대한 적합성에 관한 많은 연구들이 있었다. Sumi 등은 내측 연결형 임플란트 고정체에 대해 Atlantis 티타늄 지대주와 지르코니아 지대주, Procera 티타늄 지대주와 지르코니아 지대주의 적합성을 주사전자현미경을 통해 관찰한 결과 완벽한 적합을 이룬다고 보고하였고, Lang 등²은 4가지 종류의 외측 연결형 임플란트 고정체에 대해 CAD-CAM Procera 지대주 및 나사의 적합이 우수함을 보고하였다. 국내에서 제작된 내측 연결형 임플란트 고정체에 대해 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 적합성에 대한 연구에서는, 고정체-지대주의 계면과 고정체-나사의 계면에서는 맞춤형 CAD-CAM 지대주가 더 부적합성을 보였다 하였다.²⁰

본 연구에서는 두 외국제조사의 내측연결형 임플란트 고정체에 각각의 기성 지대주 및 국내에서 제작된 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 이용하여 체결한 후, micro-CT를 이용하여 임플란트 고정체, 지대주, 나사 사이의 적합성을 평가한 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 Biomet 3i 시스템에서는 고정체-지대주의 접촉이 고정체의 침단(top)부위에서 수평적으로 존재(butt-joint)

하였으나 Astra 시스템에서는 고정체-지대주 간의 적합이 11도의 morse taper 형태로 그 접촉 정도는 훨씬 더 넓게 나타났다. 따라서 고정체-지대주 간의 접촉을 제외한 내부 빈 공간 부위는 Biomet 3i 시스템이 Astra 시스템에 비해 더 크게 존재하였다.

본 연구에서 고정체-지대주의 계면은 모든 군에서 양호한 적합을 보이며 통계적으로도 유의한 차이가 없었다. 기계적인 관점에서 이러한 양호한 적합은 교합력과 같은 응력이 가해질 경우 적절한 응력 분산을 통해 고정체-지대주-나사 결합체의 안정을 도모할 수 있으리라고 사료된다.^{14, 21-25}

지대주-나사의 계면에서 나사 두부(head)의 기저부와 지대주 견부(shoulder) 사이의 접촉은 맞춤형 CAD-CAM 지대주에서 기성 지대주보다 더 넓게 접촉하였는데, 이는 CAD-CAM 제작방식 및 나사의 형태 차이에 의한 것으로 사료된다.²¹ 또한 모든 군에서 나사의 측벽과 지대주 사이에 9-72 μ m에 이르는 간격이 관찰되었다.

고정체-나사의 계면을 관찰한 결과 모든 군에서 양호한 적합성을 보였으며, 나사산의 상부가 고정체의 나사면에 접촉하고 하부에서는 간격이 관찰되었다 (Fig. 7). 이는 나사를 조임으로써 신장된 나사가 이 후 압축되면서 상부만 접촉하는 양상을 보이기 때문인 것으로 생각된다.^{21, 26}

고정체-나사 계면에서의 접촉면의 수를 살펴보면, Group 1에서는 4-5개로 단면마다 균일한 접촉면의 수가 관찰되었으나, Group 2의 일부 단면에서는 3개의 접촉면이 관찰되어 단면마다 불균일한 개수의 접촉면이 존재하였다. Group 3에서는 5-6개의 접촉면이 나타났으나, Group 4에서는 4-5개의 접촉면이 나타났다. 본 실험에서는 고정체와 접촉하는 각 나사의 나사산 중에서 3개의 평균 접촉길이를 측정하였다. 이는 전체적인 나사의 접촉길이나 면적을 측정하기에 시편마다 접촉개수나 나사형태의 차이가 있고 절대비교가 힘들기 때문에 접촉하는 나사산들 중 비교적 안정적인 접촉을 하는 3개 나사산들의 평균 접촉길이를 측정을 통한 적합성을 관찰하고자 함이었다. Yeو 등²⁷은

임플란트 고정체와 접촉하는 나사산의 길이와 풀림력(RTV)에 대해 접촉하는 나사산의 수가 최소 3개 이상이 되면 풀림력에 영향을 미치지 않았다 보고하였다. 본 실험결과에서 보듯 3i 임플란트와 Astra 임플란트는 접촉하는 나사의 수가 다름에도 풀림력은 거의 유사한 결과를 나타내고 있다.

본 연구에서는 고정체-지대주-나사 결합체의 적합성 실험을 위해 micro-CT 시스템을 이용하여 단면을 얻었다. 이전의 연구들에서 사용한 주사전자현미경을 통한 관찰을 위해서는 시편의 포매, 절삭 및 연마 과정 때문에 오차가 발생하고, 정확한 위치의 단면을 획득하기 어려우며, 시편의 손상이 발생하는 단점이 있었다.¹⁷ Micro-CT 이용시 정확한 위치의 단면 관찰이 가능하며, 시편이 손상되지 않기 때문에 동일한 시편으로 추가적인 실험이 가능하리라 생각된다. 또한 추후 소프트웨어 발달을 통해 3차원적인 접촉면의 면적과 양상의 관찰이 가능하리라 기대되며, micro-CT 데이터를 이용해 유한요소분석(Finite element analysis) 시행 시 응력이 가해졌을 때 고정체-지대주-나사 결합체 내부의 응력 분포 및 변형 양상을 분석할 수 있게 될 것으로 기대된다. 고정체-지대주-나사 결합체의 적합성 평가시 micro-CT 시스템 이용법에 대해서는 다른 분석법과의 비교에 대한 후속 연구가 필요하리라 생각된다.

나사 안정성을 평가하기 위해서 나사의 풀림 토크 측정이 사용되고 있으며, 이러한 풀림 토크는 나사 풀림 직전에 남아 있는 전하중의 척도를 의미한다.^{28,29} 본 실험에서 나사의 초기 풀림 토크 값이 조임 토크 값보다 작게 측정되었는데 이는 나사를 조임으로서 발생하는 마찰력에 의해 조임 토크 일부가 상실되기 때문으로 추정된다.^{28,29} 나사의 조임 토크 값에 대한 초기 풀림 토크 값에 대한 이전 연구에서 Haack 등³⁰은 UCLA 지대주를 20 Ncm로 조였을 경우엔 금이나 티타늄 나사에서 75 - 80%였고, Kim 등³⁰은 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 30 Ncm로 조였을 경우엔 티타늄 나사에서 82 - 87%로 보고하였다. 본 실험에서 조임 토크 값에 대한 초기 풀림 토크 값의 비는 기성 지대주에서 79%, 맞춤형 지대주에서 72% 정도로 이전 연구와 유사한 결과를 얻었다 (Table 5). 본 실험에서 두 지대주 사이에 초기 풀림 토크 값을 비교한 결과 기성 지대주(Group 1과 Group 3)의 초기 풀림 토크 보다 맞춤형 CAD-CAM 지대주(Group 2와 Group 4)의 초기 풀림 토크가 유의적으로 낮게 측정되었으며 이는 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 나사 안정성이 떨어짐을 의미한다. 이러한 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 풀림력의 저하는 지대주 나사 가공시 나사의 디자인과 정밀도에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

위의 결과를 종합해 볼 때 국내에서 제작된 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 이용한 경우에도 각 제조회사에서 제작된 기성 지대주를 이용한 경우와 같이 고정체-지대주-나사 간의 적합도는 대체로 양호하였으나, 초기 풀림 토크에서는 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 경우가 기성 지대주의 경우에 비해 약간 떨어지는 경향을 보였다. 그러나 본 실험에서는 교합력과 같은 반복 하중 후의 풀림 토크 측정 및 토크 상실율 등의 실험이

복합적으로 이루어지지 않아서 나사 결합부의 안정성을 완전히 평가하기에는 한계가 있을 것으로 생각된다.²⁹

결론

본 실험의 결과를 고려할 때, Biomet 3i와 Astra 시스템을 위해 제작된 맞춤형 CAD-CAM 지대주는 두 회사의 기성 지대주와 비교하여 좋은 적합성을 보여 주었다. 이는 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 적합성이 임상에 적용할 수 있을 만큼 우수하다는 것을 의미한다. 다만, 맞춤형 CAD-CAM 지대주가 더욱 활발히 임상에 적용되기 위해서는 지대주 나사의 초기 풀림력 토크를 더욱 향상시킬 수 있는 방법이 연구 및 고안되어야 할 것으로 사료된다.

ORCID

Gwang-Seok Min <http://orcid.org/0000-0002-0480-5792>

Chae-Heon Chung <http://orcid.org/0000-0003-1089-2885>

Hee-Jung Kim <http://orcid.org/0000-0002-2015-1530>

References

- Sumi T, Braian M, Shimada A, Shibata N, Takeshita K, Vandeweghe S, Coelho PG, Wennerberg A, Jimbo R. Characteristics of implant-CAD/CAM abutment connections of two different internal connection systems. *J Oral Rehabil* 2012;39:391-8.
- Lang LA, Sierralta M, Hoffensperger M, Wang RF. Evaluation of the precision of fit between the Procera custom abutment and various implant systems. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:652-8.
- Bichacho N. Achieving optimal gingival esthetics around restored natural teeth and implants. Rationale, concepts, and techniques. *Dent Clin North Am* 1998;42:763-80.
- Kim HS. Fabrication of custom abutment using dental CAD/CAM system. *J Korean Dent Assoc* 2012;50:118-25.
- Lewis SG, Llamas D, Avera S. The UCLA abutment: a four-year review. *J Prosthet Dent* 1992;67:509-15.
- Wu T, Liao W, Dai N, Tang C. Design of a custom angled abutment for dental implants using computer-aided design and nonlinear finite element analysis. *J Biomech* 2010;43:1941-6.
- Sailer I, Zembic A, Jung RE, Siegenthaler D, Holderegger C, Hammerle CH. Randomized controlled clinical trial of customized zirconia and titanium implant abutments for canine and posterior single-tooth implant reconstructions: preliminary results at 1 year of function. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:219-25.
- Kerstein RB, Castellucci F, Osorio J. Ideal gingival form with computer-generated permanent healing abutments. *Compend Contin Educ Dent* 2000;21:793-7.
- Priest G. Virtual-designed and computer-milled implant abutments. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:22-32.
- Martin WC, Woody RD, Miller BH, Miller AW. Implant abutment screw rotations and preloads for four different screw ma-

- terials and surfaces. *J Prosthet Dent* 2001;86:24-32.
11. Boggan RS, Strong JT, Misch CE, Bidez MW. Influence of hex geometry and prosthetic table width on static and fatigue strength of dental implants. *J Prosthet Dent* 1999;82:436-40.
 12. Abrahamsson I, Berglundh T, Lindhe J. Soft tissue response to plaque formation at different implant systems. A comparative study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:73-9.
 13. Quirynen M, Bollen CM, Eyssen H, van Steenberghe D. Microbial penetration along the implant components of the Brånemark system. An in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:239-44.
 14. Henriksson K, Jemt T. Evaluation of custom-made procera ceramic abutments for single-implant tooth replacement: a prospective 1-year follow-up study. *Int J Prosthodont* 2003;16:626-30.
 15. Canullo L. Clinical outcome study of customized zirconia abutments for single-implant restorations. *Int J Prosthodont* 2007;20:489-93.
 16. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci* 2009;1:177-88.
 17. Pelekanos S, Koumanou M, Koutayas SO, Zinelis S, Eliades G. Micro-CT evaluation of the marginal fit of different In-Ceram alumina copings. *Eur J Esthet Dent* 2009;4:278-92.
 18. Suomalainen AK, Salo A, Robinson S, Peltola JS. The 3DX multi image micro-CT device in clinical dental practice. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:80-5.
 19. Siamos G, Winkler S, Boberick KG. Relationship between implant preload and screw loosening on implant-supported prostheses. *J Oral Implantol* 2002;28:67-73.
 20. Kim JW, Heo YR, Kim HJ, Chung CH. A comparative study on the fit and screw joint stability of ready-made abutment and CAD-CAM custom-made abutment. *J Korean Acad Prosthodont* 2013;51:276-83.
 21. Kim NH, Chung CH, Son MK, Back DH. A study on the fit of the fixture-abutment-screw interface. *J Korean Acad Prosthodont* 2003;41:503-18.
 22. Jung SH, Ma JS, Chung CH. A comparative study on the fit in prostheses using premade gold cylinder and plastic cylinder. *J Korean Acad Prosthodont* 1999;37:825-34.
 23. Lee HT, Chung CH. Fit of fixture / abutment interface of internal connection implant systems. *J Korean Acad Prosthodont* 2004;42:192-209.
 24. de Moraes Alves da Cunha T, de Araújo RP, da Rocha PV, Amoedo RM. Comparison of fit accuracy between Procera® custom abutments and three implant systems. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;14:890-5.
 25. Binon PP. Evaluation of machining accuracy and consistency of selected implants, standard abutments, and laboratory analogs. *Int J Prosthodont* 1995;8:162-78.
 26. Jang HS, Kim HJ, Chung CH. Detorque force and surface change of coated abutment screw after repeated closing and opening. *J Korean Acad Prosthodont* 2008;46:500-10.
 27. Yeo IS, Lee JH, Kang TJ, Lee SY. The effect of abutment screw length on screw loosening in dental implants with external abutment connections after thermocycling. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:59-62.
 28. Lee JR, Lee DH, Hwang JW, Choi JH. Detorque values of abutment screws in a multiple implant-supported prosthesis. *J Korean Acad Prosthodont* 2010;48:280-6.
 29. Lee CJ, Yang SE, Kim SG. Evaluation of reverse torque value of abutment screws on CAD/CAM custom-made implant abutments. *J Korean Acad Prosthodont* 2012;50:122-8.
 30. Haack JE, Sakaguchi RL, Sun T, Coffey JP. Elongation and preload stress in dental implant abutment screws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:529-36.

Micro-CT를 이용한 맞춤형 CAD-CAM 지대주의 적합성 분석

민광석 · 정재현 · 김희중*

조선대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: Biomet 3i 시스템과 Astra 시스템의 내측 연결형 임플란트 고정체에 국내에서 제작된 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 체결하여 구성 성분 간의 적합성과 나사의 안정성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법: 24개 3i 임플란트 중 12개의 임플란트에 기성 지대주를 연결하고, 나머지 임플란트에는 맞춤형 CAD-CAM 지대주를 연결하여 각각 Group 1과 Group 2로 분류하였다. 동일 개수와 동일한 방법으로 Astra 임플란트를 각각 Group 3과 Group 4로 분류하였다. 각각의 고정체에 지대주를 장착하여 각 계면 사이의 적합성을 micro-CT로 관찰하고 초기 풀립 토크를 측정 후 평가하였다.

결과: 고정체-지대주의 접촉길이는 Group 1과 Group 2 사이 뿐만 아니라 Group 3과 Group 4 사이에도 유의한 차이가 없었다(Mann-Whitney test, $P>.05$). 하지만, 지대주와 나사의 계면 및 고정체와 나사의 계면에서 Group 2와 Group 4가 Group 1과 Group 3에 비해 각기 더 큰 접촉양상을 보여주었다(Mann-Whitney test, $P<.05$). 또한, Group 2와 Group 4가 Group 1과 Group 3에 비해 각기 더 낮은 나사의 초기 풀립 토크를 기록하였다(Student t-test, $P<.05$).

결론: CAD-CAM지대주는 임상에 적용할 만한 적합성을 지니고 있으나, 광범위한 임상 적용을 위해서는 풀립 토크가 향상되어야 할 것으로 사료된다. (대한치과보철학회지 2016;54:370-8)

주요단어: 맞춤형 CAD-CAM 지대주; Micro-CT; 내측연결형 임플란트 고정체; 초기 풀립 토크; 나사 안정성

*교신저자: 김희중

61452 광주 동구 필문대로 303 조선대학교 치과대학 치과보철학교실

062 220 3820: e-mail, khjdds@chosun.ac.kr

원고접수일: 2016년 6월 10일 / 원고최종수정일: 2016년 7월 21일 / 원고채택일: 2016년

9월 12일

© 2016 대한치과보철학회

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

※이 논문은 2014학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.