

밀링 방법으로 제작한 레진과 지르코니아 3본 브릿지 모델의 3차원 분석을 이용한 재현성 비교

박강석¹, 김성균^{1*}, 허성주¹, 곽재영¹, 박지만², 안진수³, 서덕규⁴

¹서울대학교 치의학대학원 치과보철학교실 및 치학연구소

²연세대학교 치과대학 보철과학교실

³서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실 및 치학연구소

⁴서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실 및 치학연구소

Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis

Gang-Seok Park¹, Seong-Kyun Kim^{1*}, Seong-Joo Heo¹, Jai-Young Koak¹, Ji-Man Park², Jin-Soo Ahn³, Deog-Gyu Seo⁴

¹Department of Prosthodontics & Dental Research Institute, Seoul National University Dental Hospital, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

²Department of Prosthodontics, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Korea

³Department of Dental Biomaterials Science and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

⁴Department of Conservative Dentistry & Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

*Corresponding author: Seong-Kyun Kim, ksy0617@snu.ac.kr

Abstract

Purpose: The objective of this study was to investigate the reproducibility of milled acrylic resin and zirconia models using three-dimensional analysis.

Material and Methods: Zirconia discs and acrylic resin blocks were milled to make models. Each model was scanned with a model scanner. The zirconia models were superimposed with other zirconia model, and the acrylic resin models were superimposed with other acrylic resin model three-dimensionally. Root-mean-square (RMS) values were obtained. Distances between two superimposed models were measured. Statistical significances were tested using the Mann-Whitney U test and t-test.

Results: The RMS values of the zirconia model and the acrylic resin model were not significantly different ($p \geq 0.05$). At the premolar site, distances between the zirconia models at the upper axial and at the lower axial wall were significantly smaller than for the acrylic resin models ($p < 0.05$). At the molar site, distance between the zirconia models at the lower axial wall was significantly smaller than for the acrylic resin models ($p < 0.05$).

Conclusion: Although there is a difference in reproducibility between the milled acrylic resin model and the zirconia model in the localized region, no significant difference was found in the whole model.

Keywords: Zirconia, Milled acrylic resin, Three-dimensional analysis, Reproducibility

OPEN ACCESS

pISSN : 1229-5418
Implantology 2018; 22(3): 130-138
<https://doi.org/10.32542/implantology.20180011>

Received: September 3, 2018
Revised: September 11, 2018
Accepted: September 13, 2018

Copyright © 2018. The Korean Academy of Oral & Maxillofacial Implantology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) 기술이 발달하면서 치과 임상에서 이를 이용하여 제작한 보철물의 사용이 빈번해지고 있다¹. 이전에는 대부분 왁스 소환법(lost-wax technique)을 이용하여 보철물을 제작하였는데, 보철물 제작 시간이 오래 걸리고 제작 과정에서 술자에 의한 오차도 많이 발생하는 등의 어려움이 있었다^{2,3}. CAD/CAM 방식으로 보철물을 제작할 경우 기존의 방식에 비하여 시간이 적게 걸리고, 여러 개의 보철물을 제작할 때 재현성있게 제작할 수 있는 등의 장점이 있다⁴.

최근에 등장한 지르코니아는 CAD/CAM 기술의 발달과 함께 치과 임상에서 점차 그 용도가 늘어가고 있다. 기존의 금이나 비귀금속 합금에 비하여 심미적이며, 도재에 비하여 기계적 물성이 우수하여 인레이, 크라운 및 브릿지를 비롯하여 임플란트 고정체(fixture)와 지대주(abutment)에도 이용되고 있다⁵.

지르코니아는 1,400도씨 이상에서 소결되어야 하며 이 과정에서 20-30%의 부피 수축이 일어난다^{6,7}. 소결시 수축으로 인한 문제를 피하기 위하여 완전 소결된 지르코니아 블록을 이용해 제작하는 방법이 있다. 그러나 완전 소결된 지르코니아는 매우 단단하여 절삭이 용이하지 않다. 따라서 현재는 850도씨에서 부분 소결된 지르코니아 블록을 이용하여 제작하는 방법을 많이 이용하고 있다. 이 또한 1,400도씨에서 최종 소결이 필요하며 이때의 수축량을 고려하여 확대 가공하여 제작한다^{6,7}.

지르코니아의 사용 범위와 빈도가 늘어가면서 이를 이용하여 제작한 보철물의 물리적, 광학적 성질 뿐 아니라 적합도에 관한 연구들이 많이 진행되었다^{8,9}. 그 중 적합도는 보철물의 마진이나 내면이 지대치 혹은 모델에 잘 맞는 정도로 보철물의 임상적인 생존률에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이다¹⁰. 그러나 이러한 적합도만으로는 지르코니아가 얼마나 정확하게 제작되는지 알기 어렵다. 전치부 심미 보철 및 임플란트 지대주의 제작 등 단일 크라운 이외의 다양한 용도로 사용되는 만큼 CAD 상에서 계획된 디자인이 얼마나 정확하게 지르코니아로 제작되는지 알 필요가 있다. 정확도(accuracy)를 말할 때 측정값이 실제 값에 얼마나 가까운지를 의미하는 trueness와 측정값들의 유사성을 의미하는 정밀도(precision)을 함께 언급한다¹¹. 이 중 정밀도는 보철물이 얼마나 재현성(reproducibility)있게 제작되는지를 나타낸다. CAD/CAM 보철 제작 시대에 보철물 제작의 재현성은 중요한 요소이나 이에 관한 연구가 많지 않다.

재현성을 평가하는 방법 중 하나로 3차원 중첩 분석이 있다. 이는 시편을 손상시키지 않으면서 물체의 크기나 형태적 차이를 다양한 지점에서 분석할 수 있는 방법으로 이미 치과 연구 영역에서 많이 이용되는 방법이다^{12,13}.

본 논문은 CAD 상에서 디자인한 파일(file)을 밀링(milling) 및 소결(sintering)하여 제작한 지르코니아 모델이 얼마나 재현성있게 제작되는지 3차원 중첩 분석으로 알아보았다. 치과에서 흔히 사용되는 재료인 아크릴릭 레진 블록(acrylic resin block)을 밀링 제작한 것과 비교되었다. 평가절은 “지르코니아 모델의 재현성이 아크릴릭 레진 모델의 재현성과 비교해서 통계적으로 유의한 차이가 없다”이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 모델 디자인

하악 제2 소구치, 제1 대구치, 제2 대구치가 상실되어 제2 소구치, 제2 대구치 부위에 임플란트가 식립된 상황을 가정하였다. 제2 소구치, 제2 대구치 부위에 임플란트 맞춤형 지대주가 위치한 모델을 디자인하였다. 지대주는 각각 1 mm shoulder 마진으로 디자인하였다. 소구치 부위는 치은 쪽 폭이 4.5 cm, 교합면 폭 4.5 cm, 높이 4 cm이고 대구치 부위는 치은 쪽이 7 cm, 교합면 폭 6 cm, 높이 4 cm으로 하였다. 제작할 때 기준점으로 삼기 위하여 각 abutment의 마진 하방에 지름 1 mm, 높이 1 mm의 원뿔을 디자인하였다. 원뿔의 위치는 원의 윗부분 접선이 지대주 마진 하방 1 mm에 위치하고 각 지대주에서 서로 90도 방향으로 세 방향으로 뻗어 나가게 하였다. Rhinoceros 5.0 (McNeel, Seattle, USA)을 이용하여 CAD 작업하여 STL (Standard triangle language) 파일 제작하였다.

2. 모델 제작

CAD 디자인 파일을 이용하여 3개의 지르코니아(Lava; 3M, St. Paul, USA) 모델과 3개의 아크릴릭 레진(Yamahachi dental MFG, Ochigara, Japan) 모델을 제작하였다(Fig. 1). 지르코니아 모델은 제조사에서 권장한 수치만큼 확대하여 밀링(IDC MILL 5X; Amann girrbach AG, Koblach, Austria)한 후, 제조사의 권장대로 소결 과정을 거쳤다. 아크릴릭 레진 모델은 아크릴릭 레진 블럭을 밀링하여 제작하였다. 지르코니아 모델과 아크릴릭 레진 모델을 밀링하기 전 밀링 버(bur)를 교체하였다. 제작된 지르코니아 모델을 각각 Z1, Z2, Z3, 제작된 아크릴릭 레진 모델을 R1, R2, R3라 하였다.

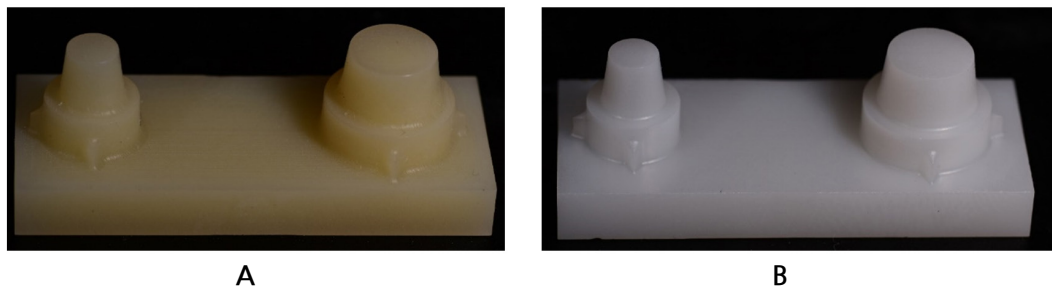


Fig. 1. Acrylic resin model(A), and zirconia model(B).

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. *Implantology* 2018

3. 모델 스캔(scan)

제작된 총 6개의 모델을 모델 스캐너(Freedom HD; DOF, Seoul, Korea)로 스캔하여 각각의 STL 파일을 얻었다. 스캔 전에 스캐너를 calibration하였다. 각 모델에 powder (Easy scan; alphadent, Goyang,

Korea)를 얇게 도포하고 스캔을 진행하였다. 각각의 모델을 스캔한 파일을 Z1S, Z2S, Z3S, R1S, R2S, R3S라 하였다.

4. 3차원 중첩

파일을 Geomagic control X (3D systems, Morrisville, USA)을 이용하여 중첩 비교하였다. 각 파일에서 맞춤형 지대주 하방의 base 부위는 제거하고 중첩 시행하였다. 제작된 아크릴릭 레진 모델의 재현성을 보기 위하여 R1S과 R2S, R1S과 R3S, R2S과 R3S을 각각 중첩하였다. 중첩은 프로그램에서 제공하는 best fit으로 중첩하여 근평균제곱(root-mean-square, RMS)값을 구하였다. 지르코니아 모델의 재현성을 보기 위하여 Z1S과 Z2S, Z1S과 Z3S, Z2S과 Z3S에 대하여도 같은 방법으로 진행하였다.

특정 위치에서의 차이를 구하기 위하여 평면을 설정하였다. 먼저 제2 소구치 지대주의 근심에 위치한 원뿔의 끝과 제2 대구치 지대주의 원심에 위치한 원뿔의 끝을 연결한 선(L0)을 포함하면서 제2 소구치 지대주의 협측과 설측에 위치한 원뿔의 끝을 연결한 선(L1)에 수직인 평면(P0)을 정하였다. L1을 포함하면서 L0에 수직인 평면(P1)을 정하였다. 제2 대구치 지대주의 협측과 설측에 위치한 원뿔의 끝을 연결한 선(L2)를 포함하면서 L0에 수직인 평면(P2)을 정하였다(Fig. 2).

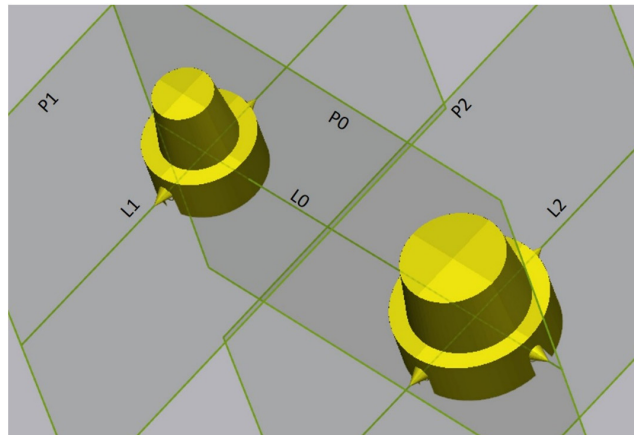


Fig. 2. Defined lines(L0, L1, L2) and planes(P0, P1, P2).

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. *Implantology* 2018

best fit으로 중첩된 상태에서 특정 부위에서 중첩된 두 모델 대응점의 최단거리를 구하였다. P0 평면에서 제2 소구치 및 제2 대구치 지대주의 측벽 상부(Q1, Q3, Q10, Q12), 교합면 중점(Q2, Q11), 측벽 하부(Q6, Q7, Q15, Q16), 측벽 중점(Q4, Q5, Q13, Q14), 마진(Q8, Q9, Q17, Q18), P1 평면에서 제2 소구치 지대주의 측벽 상부(Q19, Q20), 측벽 중점(Q21, Q22), 측벽 하부(Q23, Q24), 마진(Q25, Q26)를, P2 평면에서 제2 대구치 지대주의 측벽 상부(Q27, Q28), 측벽 중점(Q29, Q30), 측벽 하부(Q31, Q32), 마진(Q33, Q34)에서 최단거리를 측정하였다(Figs. 3-5)



Fig. 3. Measuring points on P0 plane.

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. Implantology 2018

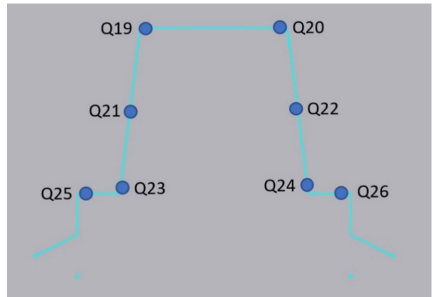


Fig. 4. Measuring points on P1 plane.

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. Implantology 2018

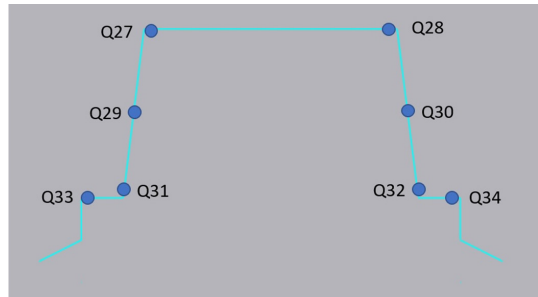


Fig. 5. Measuring points on P2 plane.

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. Implantology 2018

5. 통계학적 분석

아크릴릭 레진 모델과 지르코니아 모델간의 차이에 통계적 유의성이 있는지 알아보하고자하였다. Best fit의 근평균제곱값과 제2 소구치 및 제2 대구치 지대주의 교합면 중점에서 최단거리는 만-휘트니 U 검정(Mann-Whitney U test)으로 통계적인 유의성이 있는지 확인하였다. 제2 소구치 및 제2 대구치 지대주의 측벽 상부, 측벽 중점, 측벽 하부, 마진에서 최단거리는 독립 표본 t 검정(t-test)을 시행하였다. 프로그램으로 SPSS Statistics v25.0(IBM Corp, Armonk, USA)를 이용하였다.

III. 연구 결과

아크릴릭 레진 모델 서로를 best fit으로 중첩한 경우 근평균제곱값은 $15.8 \pm 9.3 \mu\text{m}$ 였고 지르코니아 모델의 경우 $27.6 \pm 10.7 \mu\text{m}$ 였다. 두 그룹간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p \geq 0.05$), (Fig. 6).

제2 소구치 부위의 지대주 교합면 중점에서 아크릴릭 레진 모델은 $41.5 \pm 32.3 \mu\text{m}$, 지르코니아 모델은 $12.1 \pm 3.0 \mu\text{m}$ 의 차이를 각각 나타냈다($p \geq 0.05$). 측벽 상부에서는 각각 $33.3 \pm 15.2 \mu\text{m}$, $17.2 \pm 16.8 \mu\text{m}$ ($p < 0.05$), 측벽 중점에서 각각 $12.8 \pm 7.6 \mu\text{m}$, $28.0 \pm 21.8 \mu\text{m}$ ($p < 0.05$), 측벽 하부에서 각각 $24.7 \pm 23.0 \mu\text{m}$, $10.2 \pm 7.5 \mu\text{m}$ ($p < 0.05$), 마진에서 각각 $14.6 \pm 13.5 \mu\text{m}$, $9.6 \pm 7.8 \mu\text{m}$ ($p \geq 0.05$)였다(Fig. 7).

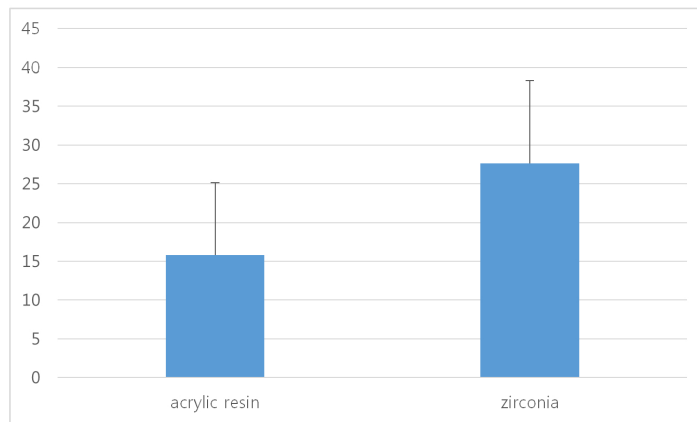


Fig. 6. The RMS values(μm) of acrylic resin and zirconia model superimposed within each group.

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. Implantology 2018

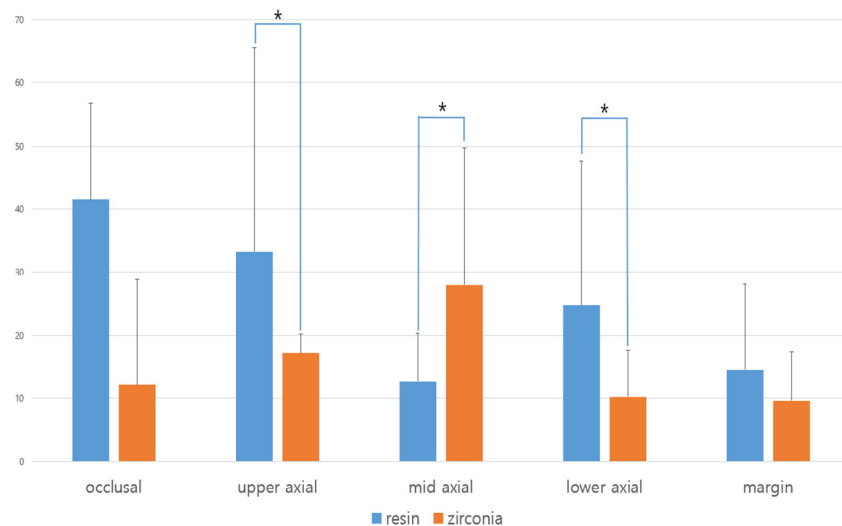


Fig. 7. The distances(μm) of acrylic resin and zirconia model superimposed within each group in the second premolar abutment. Significant difference are indicated by horizontal bars: * $p < 0.05$.

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. Implantology 2018

제2 대구치 부위의 지대주 교합면 중점에서 아크릴릭 레진 모델은 $25.7 \pm 18.8 \mu\text{m}$, 지르코니아 모델은 $17.6 \pm 7.9 \mu\text{m}$ ($p \geq 0.05$), 측벽 상부에서 각각 $14.2 \pm 9.0 \mu\text{m}$, $8.1 \pm 6.7 \mu\text{m}$ ($p \geq 0.05$), 측벽 중점에서 각각 $8.3 \pm 6.8 \mu\text{m}$, $22.6 \pm 11.0 \mu\text{m}$ ($p < 0.05$), 측벽 하부에서 각각 $30.9 \pm 29.9 \mu\text{m}$, $11.7 \pm 8.6 \mu\text{m}$ ($p < 0.05$), 마진에서 각각 $8.1 \pm 6.6 \mu\text{m}$, $12.4 \pm 9.5 \mu\text{m}$ ($p \geq 0.05$)였다(Fig. 8).

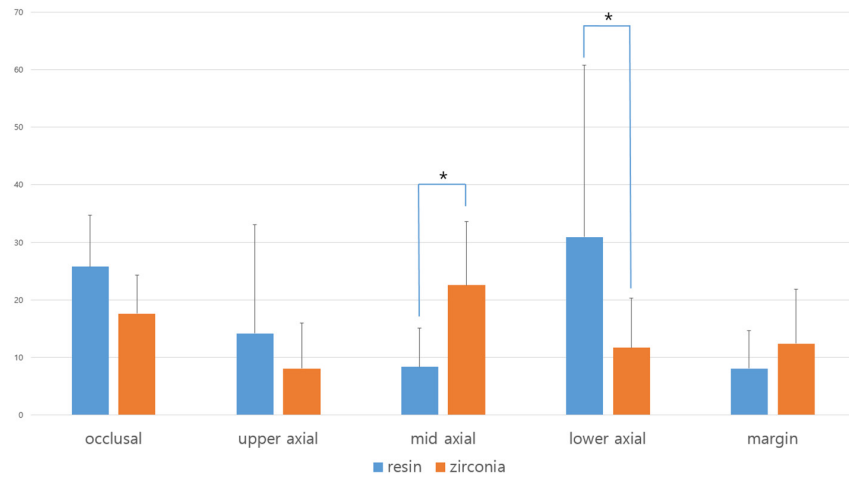


Fig. 8. The distances(μm) of acrylic resin and zirconia model superimposed within each group in the second molar abutment. Significant difference are indicated by horizontal bars: * $p < 0.05$..

Gang-Seok Park et al. : Comparison of Reproducibility of Milled Acrylic Resin and Zirconia Models for 3-unit bridge Using Three-dimensional Analysis. *Implantology* 2018

IV. 총괄 및 고찰

본 연구에서 아크릴릭 레진 블록을 밀링하여 제작한 모델과 지르코니아를 밀링 및 소결하여 제작한 모델 각각의 재현성을 3D 분석을 통해서 알아보았다. 서로 다른 모델을 스캔한 후 같은 재료로 제작한 두 모델끼리 best fit으로 중첩하였다. Best fit의 원리는 중첩하고자 하는 두 물체의 대응되는 점들 사이 거리의 총 합이 최소가 되도록 하는 것이다. 대응되는 두 점 사이의 거리는 각 점의 좌표 차의 근제곱이 되므로 근평균제곱값이 최소가 되도록 하는 위치로 중첩이 되는 것이다. 결국 중첩의 결과로 나오는 근평균제곱값은 중첩된 두 물체의 대응되는 점들 사이 거리의 평균을 의미하며, 이는 두 물체가 얼마나 유사한지를 나타내는 지표가 될 수 있으며¹⁴ 그 신뢰성은 이미 증명되었다¹⁵. 근평균제곱값이 작으면 재현성이 높다고 할 수 있다¹¹.

지르코니아 모델의 근평균제곱값은 $27.6 \pm 10.7 \mu\text{m}$ 로 아크릴릭 레진 모델의 $15.8 \pm 9.3 \mu\text{m}$ 보다 컸으나 통계적으로 유의하지 않아($p \geq 0.05$) 평가설인 “지르코니아 모델의 재현성이 아크릴릭 레진 모델의 재현성과 비교해서 통계적으로 유의한 차이가 없다”가 기각되지 못하고 채택되었다. 부위별로 보면 소구치와 대구치 부위 지대주 모두에서 측벽 상부와 측벽 하부에서 지르코니아 모델의 재현성이 좋았으

나 측벽 중점에서는 레진 모델의 재현성이 좋았다. 이를 통해 지르코니아 모델이 레진 모델에 비하여 굴곡점에서의 재현성이 더 좋으나 굴곡점이 아닌 평활한 면에서는 레진 모델의 재현성이 더 좋아 전반적으로 레진 모델의 재현성이 더 좋게 나온 것이라고 추측할 수 있다. 소결된 지르코니아는 레진 블록보다 강하지만 소결되기 전의 지르코니아는 무르기에 밀링 버가 세밀한 부분을 밀링하는데 적합하여 이러한 결과가 나온 것이라 생각해 볼 수 있다. 굴곡점에서 좋은 재현성이 지르코니아의 보철물로서의 좋은 적합도에 기여를 할 것이라 생각된다.

Schaefer 등은 lithium disilicate 부분관의 재현성을 3D 중첩하여 확인하였는데 근평균제곱값이 마진에서 $23 \pm 3 \mu\text{m}$, 내면에서 $14 \pm 2 \mu\text{m}$ 였다¹⁶. 이는 본 실험의 지르코니아 모델의 근평균제곱값인 $27.6 \pm 10.7 \mu\text{m}$ 와 Acrylic resin model의 $15.8 \pm 9.3 \mu\text{m}$ 와 비슷한 정도이다. 그러나 제작된 보철물의 크기와 재료, 제작 방법이 달라 단순 비교하기는 어렵다. Kim 등은 지르코니아 coping의 재현성을 3D 중첩하여 확인하였는데, 소구치에서 제작한 지르코니아 코핑의 근평균제곱값이 $4.00 \pm 2.40 \mu\text{m}$, 대구치에서 $9.22 \pm 1.56 \mu\text{m}$ 였다¹⁷. 이는 본 연구에서 지르코니아 모델의 근평균제곱값인 $27.6 \pm 10.7 \mu\text{m}$ 보다 작은 값으로 제작된 지르코니아의 크기 차이에서 기인할 것으로 생각된다.

본 연구는 다음의 한계점을 가지고 있다. 실험에 사용된 시편의 숫자가 적어 결과값의 신뢰도가 떨어질 수 있다. 또한 모델을 스캔하기 위하여 표면에 파우더를 도포하는데, 이때 모델마다 일정하게 도포되지 않을 수 있어 모델마다 오차가 발생할 수 있다. 게다가 스캐너의 스캔에 대한 오차 및 프로그램의 중첩에 대한 오차가 고려되지 못하여 결과값에 오차가 발생하였을 수 있다.

그러나 지르코니아 제작물의 재현성에 대한 연구가 많지 않고, 본 실험에 사용한 모델과 같이 큰 크기의 지르코니아 제작물을 이용하여 재현성을 비교한 연구가 드물다. 위에서 언급한 한계점을 보완하고 더욱 다양한 형태의 지르코니아 제작물의 재현성을 비교하는 연구를 한다면 앞으로 치과 분야에서 지르코니아의 사용 분야가 더욱 다양해짐에 따라 그 의미가 커질 것으로 생각된다.

V. 결론

소구치, 대구치부위 모두에서 측벽 중점에서는 아크릴릭 레진 모델의 재현성이 좋고, 측벽 하부에서는 지르코니아의 재현성이 좋다. 그러나 전제적으로는 아크릴릭 레진 모델과 지르코니아 모델의 재현성에 유의한 차이가 없다.

Acknowledgements

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2018R1D1A1B07042333). 본 논문은 SNUDH 연구 기금으로 지원으로 연구되었음(no. 04-2018-0094).

References

1. Bayne SC, Heymann HO. CAD/CAM in dentistry: present and future applications. *Quintessence Int. (Current Concepts)*. 1996; 27: 431-433.
2. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, et al. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009; 28: 44-56. 2.
3. Petteno D, Schierano G, Bassi F, et al. Comparison of marginal fit of 3 different metal-ceramic system: an in vitro study. *Int J Prosthodont*. 2000; 13: 405-408.
4. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008; 204: 505-511.
5. Koutayas SO, Vagkopoulou T, Pelekanos S, et al. Zirconia in dentistry: part 2. Evidence-based clinical breakthrough. *Eur J Esthet Dent*. 2009; 4: 348-380.
6. Luthardt RG, Holzhueter M, Sandkuhl O, et al. Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *J Dent Res*. 2002; 81: 487-491.
7. Conrad HJ, Seong W-J, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent*. 2007; 98: 389-404.
8. Dapieve KS, Guilardi LSF, Silvestri T, et al. Mechanical performance of Y-TZP monolithic ceramic after grinding and aging: Survival estimates and fatigue strength. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018; 87: 288-295.
9. Baig MR, Tan KBC, Nicholls JI, Evaluation of the marginal fit of a zirconia ceramic computer-aided machined (CAM) crown system. *J Prosthet Dent*. 2010; 104: 216-227.
10. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, et al. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res*. 2007; 18 Suppl 3: 86-96.
11. International Organization for Standardization. ISO-12836. Dentistry - Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restorations-test methods for assessing accuracy. Geneva: ISO; 2015. Available at: <http://www.iso.org/iso/store.htm>. Accessed March 2, 2016.
12. Kim KB, Kim JH, Kim WC, et al. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent*. 2014; 112: 1432-1436.
13. Schaefer O, Kuepper H, Sigusch BW, et al. Three-dimensional fit of lithium disilicate partial crowns in vitro. *J Dent*. 2013; 41: 271-277.
14. Peters MC, DeLong R, Pintado MR, et al. Comparison of two measurement techniques for clinical wear. *J Dent*. 1999; 27: 479-485.
15. Luthardt RG, Kuhmsted P, Walter MH. A new method for the computer-aided evaluation of three-dimensional changes in gypsum materials. *Dent Mater*. 2003; 19: 19-24.
16. Schaefer O, Watts DC, Sigusch BW, et al. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility. *Dent Mater*. 2012; 28: 320-326.
17. Kim CM, Jeon JH, Kim JH, et al. Three-dimensional evaluation of the reproducibility of presintered zirconia single copings fabricated with the subtractive method. *J Prosthet Dent*. 2016; 116: 237-241.