

Evaluation of the dimensional change of 3D-printed complete denture after post-curing

Suyeon Lee¹, Younghun Kwak¹, Eunchul Park¹, Heejung Kim^{2*}

¹Postgraduate School, College of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea

²Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study was to assess the dimensional change of 3D-printed dentures after post-curing.

Materials and Methods: The upper and lower dentures were designed in Exocad DentalCAD software and exported as STL files. The upper and lower dentures were printed from 10 STL files using a DLP-type dental 3D printer. The printed upper and lower dentures were cleaned, and a scan file was created using a model scanner before and after post-curing. The dimensional change was evaluated by superimposing the scanned denture files before and after post-curing and measuring the distance between measurement points on the denture. SPSS was used for statistics, and the level of significance was 5%. **Results:** The maxillary denture reduced in size during post-curing, with the most notable color change occurring in the posterior palatal region. The reduction in anteroposterior maxillary denture length (A-D, A-E, A-F), as well as the distance between the first molars on both sides (B-C), was statistically significant. After post-curing, the mandibular denture showed more noticeable color change in the posteriorly buccal and lingual region. The decrease of length on the posterior (A-M, A-D, A-E, A-L, A-H, A-I, H-I) and lingual (J-K, L-M) sides of the denture were statistically significant. **Conclusion:** There was significant dimensional change in both the length and width of the 3D-printed maxillary and mandibular dentures after post-curing in this experiment. Consequently, it is seemed necessary to develop post-curing techniques and materials that reduce such denture deformation. (*J Dent Rehabil Appl Sci* 2022;38(4):233-41)

Key words: post-curing; dimensional change; 3-D printed denture; length; width

서론

최근 디지털 기술의 발달과 더불어 캐드캠에 기반한 총 의치 제작이 이뤄지고 있으며, 밀링(subtractive milling)과 3차원 프린팅(additive manufacturing, 이하 프린팅) 기법이 적용되고 있다.^{1,2} 이러한 디지털기술은 의치 제작을 더욱 빠르게 할 뿐만 아니라, 보다 정확하고 예지성 있는 제작공정을 가능하게 하였다.^{2,3} 특히, 프린팅 기법은 밀링이 가지고 있는 밀링바의 마모와 사이즈의 한계, 복잡한 의치상 가공시 절삭의 어려움과 재료의 낭비 같

은 문제점들을 극복할 수 있다.⁴ 치과에서 사용되고 있는 프린팅은 대부분 stereolithography (이하 SLA)와 digital light processing (이하 DLP) 기법에 기반하고 있으며, 이 두 방법은 중합에 사용되는 광원과 중합방법에 따라 분류된다.^{5,6} 두 방법 모두 높은 정확성과 우수한 표면질감을 가지고 있으나, 높은 해상도, 정밀성, 빠른 중합과 비용절감의 이유로 DLP 기법이 의치 프린팅을 위해 더욱 널리 사용되고 있다.^{7,8}

프린팅, 밀링과 통상적인 방법으로 제작된 의치의 조직 적합성과 의치크기변화를 비교하는 다양한 문헌들이 보

*Correspondence to: Heejung Kim

Professor, Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, 61452, Republic of Korea
Tel: +82-62-220-3820, Fax: +82-62-227-1269, E-mail: khjdds@chosun.ac.kr
Received: December 13, 2022/Last Revision: December 17, 2022/Accepted: December 19, 2022

Copyright© 2022 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
© It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

고되었다.⁹⁻¹³ Masri 등¹³은 밀링, 프린팅과 통법으로 제작된 상악의치상의 적합성을 상악의 5부위에서 평가하였는데, 세 가지 가공방식의 평균오차는 각각 58 μ m, 80 μ m, 105 μ m였으며, 밀링법이 가장 우수한 정확성을 보였다 하였다.

조직적합성은 프린팅에 의해 제작된 의치가 통상적인 방법에 의해 제작된 의치보다 우수하다고 보고되고 있다.⁹⁻¹³ Tasaka 등¹²에 의하면, 프린팅 의치가 통법에 의해 제작된 총의치보다 더욱 정확하고 적합성이 좋다고 하였고, 유지력 또한 더욱 뛰어난 것을 보고하였다. 하지만, 프린팅과 통법에 의한 의치는 각기 평균 30 - 60 μ m, 60 - 80 μ m 씩의 재료수축에 의한 오차를 나타냈다 하였다.¹³ Kalberer 등⁹은 SLA 기법으로 제작된 상악의치가 밀링으로 제작된 의치보다 체적변화가 크다 하였다. 이처럼 밀링의 치와 비교하여 프린팅의치의 크기변화가 더욱 큰 이유는 프린터에서 부분 중합된 의치를 제거시 변형과 중합수축이라 하였다.^{9,14}

프린팅으로 출력된 의치는 부분적으로 중합된 상태이며, 미반응된 모노머의 추가적인 가교결합을 얻고 기계적 특성을 증진시키기위해 자외선을 이용하여 후경화를 해 줘야한다.¹⁵

후경화는 프린팅 료의 중합도에 영향을 미치며, 후경화에 의해 중합도가 높을 수록 재료의 기계적 성질과 생체 적합성이 향상되고, 잔류 모노머 또한 줄어들게 된다.¹⁶⁻¹⁹ Doh 등¹⁰은 후경화시간의 증가에 따른 의치상의 정확도와 크기변화에 관한 고찰에서 후경화시간이 증가할수록 의치상의 정확성(accuracy)과 의치상의 체적변화가 증가했다고 하였다. 프린팅으로 출력된 의치상의 정확성과 조직면의 적합오차에 관한 다양한 문헌이 보고되었으나, 후경화에 따른 의치 조직면의 정확성에 대한 문헌은 거의

없다.

최근에는 밀링과 프린팅을 이용하여 인공치와 총의치의치상을 동시에 가공이 가능한 일체형의치(monolithic complete denture) 시스템이 개발되어 상품으로 출시되었다. 하지만, 프린팅에 의한 이러한 일체형의치의 후경화 전후에 일어나는 체적변화에 관한 문헌은 거의 없다. 따라서, 본 연구에서는 3차원 프린팅에 의해 제작된 일체형의치의 후경화후에 나타나는 체적 변화에 관해 알아보 고자 하였다.

연구 재료 및 방법

이 실험에 사용된 상·하악 총의치의 표본은 Exocad DentalCaD (exocad GmbH, Darmstadt, Germany)의 총의치모듈을 이용하여 디자인되었다. 디자인된 상·하악 총의치를 Stereolithography (또는 Standard Triangle Language 이하 STL)파일로 추출하였으며, Mesh Mixer (Autodesk Inc, San Francisco, USA) 프로그램을 이용하여 상·하악 총의치에 2 × 2 mm 크기의 측정점을 형성하였다. 상악 총의치는 10개의 측정점을 형성하였고, 3개의 측정점(A, B, C)은 치아위에 형성하였으며, 나머지(D - J)는 의치상에 형성하였다. 하악 총의치에는 13개의 측정점 형성하였는데, 3개의 측정점(A, B, C)은 치아위에 형성하였으며, 나머지(D - U)는 의치상에 형성하였다(Fig. 1). 상·하악 의 A, B, C 측정점은 중절치 절단면, 제1대구치의 협측교두정에 위치에 각각 형성되었다(Fig. 1).

측정점이 형성된 상·하악 총의치 파일은 DLP방식의 3차원 프린터(IMD2, Carima Inc., Seoul, Korea)와 프린팅 의치상용 레진(TDD-80, Graphy Inc., Seoul, Korea)을 사용하여 상·하악 총의치를 출력하였다. 의치 출력률

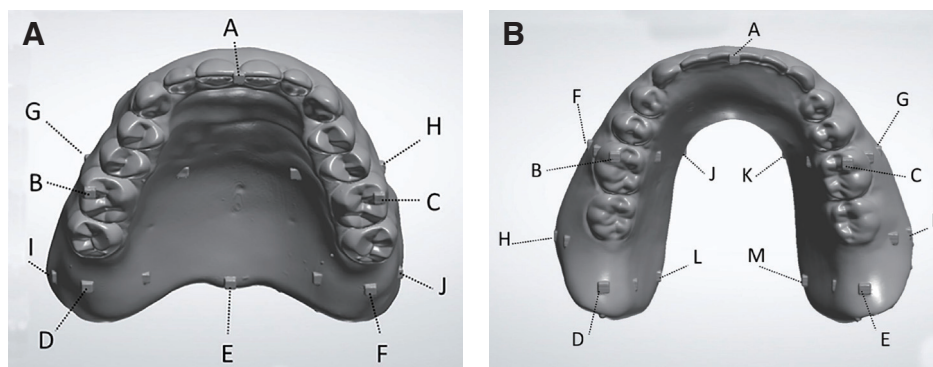


Fig. 1. STL file of complete denture and measurement points. (A) Upper denture, (B) Lower denture.

위해 서포터는 추후 측정을 위해 의치의 조직면 쪽에 부착되도록 디자인하였으며, 출력 시에는 출력각도에 따른 차이를 배제하기 위해 교합면과 평행하도록 0° 각도로 출력하였다(Fig. 2). 상·하악 총의치를 각각 10개씩 출력하였다. 총의치 출력 직후 12분간 세척용액에 담겨 초음파로 세척하였다. 세척이 완료된 상·하악 의치는 후경화 전에 모형스캐너(FREEDOM HD, DOF Inc.)로 스캔하여 후경화 전의 상·하악 의치 STL 파일을 추출하였다. 후경화는 CL300Pro (IMD Inc.) 후경화기로 1분 30초씩 3회 시행하여 총 4분 30초동안 시행하였다. 후경화 후에 다시 모델스캐너로 스캔을 채득하여 후경화 후 상·하악 의치 STL 파일을 추출하였다.

후경화전후의 상·하악 의치 STL파일 간의 3차원적 체적 변화를 비교하기 위해 GOM Inspect 2018 (GOM GmbH, Braunschweig, Germany)을 사용하였다. 두 파일의 중첩은 상·하악 6전치와 주변 치을 기준으로 하였다. 후경화에 따른 레진의 수축을 평가하기 위해 3shape Viewer (3shape Inc., Copenhagen, Denmark) 프로그램상에서 각각의 의치STL 파일에서 측정점들 간 거리를 측정하였다. 상악의 측정은 9부위에서 시행되었으며, 하악의 측정은 14부위에서 측정되었다(Fig. 3). 한 시편에서 측정하는 부위마다 5번의 측정을 시행하여 최대값과 최소값을 제외하고 평균치를 최종측정치로 하였다.

모든 통계는 IBM SPSS 25v (SPSS for windows, SPSS

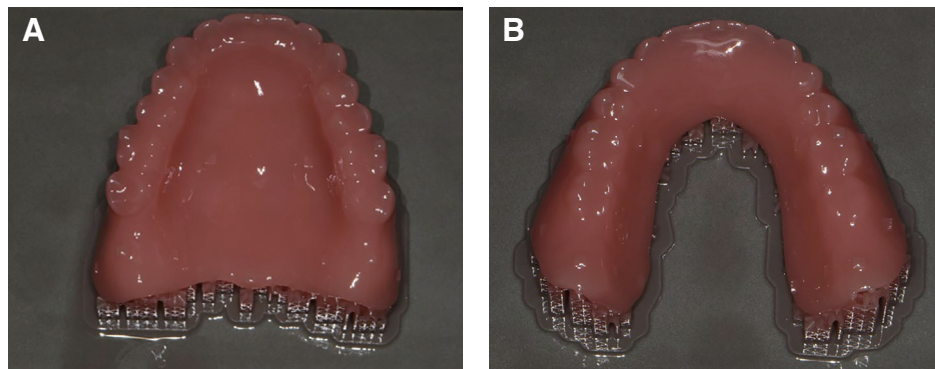


Fig. 2. Partially polymerized complete denture 3D-printed (before post-curing). (A) Upper denture, (B) Lower denture.

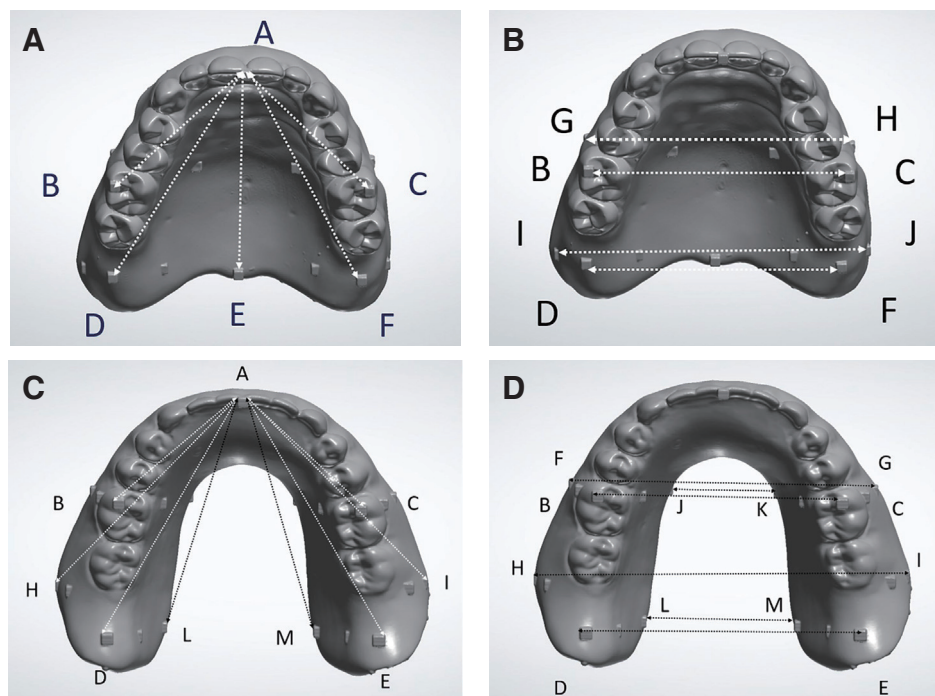


Fig. 3. Distance between measurement points of complete denture. (A) Length measurement of upper denture, (B) Width measurement of upper denture, (C) Length measurement of lower denture, (D) Width measurement of lower denture.

INC, Chicago, USA) 프로그램을 사용하였다. 후 경화 후에 상·하악 의치의 길이변화에 대한 통계분석으로 비모수 검증인 Wilcoxon's signed ranks test를 이용하였다. 통계적 유의성 판정을 위한 유의수준은 5%로 하였다.

결과

후경화 전후 상악의치와 후경화 전후 하악의치를 비교했을 때, 의치 후방부의 색변화가 두드러진 상악의치보다는 의치 설측과 협측의 색변화를 보인 하악 의치의 변화가 더 뚜렷하게 나타났다. 후경화 후 상악 의치상은 후방으로 갈수록 노랑과 빨강색으로 색변화를 보였으며, 후방구개부는 후경화 후 교합면 방향으로 수축하는 빨강색의 변화가 뚜렷하였다(Fig. 4). 인공치도 후방으로 갈수록 색의 변화가 보였으나, 의치상에 비해서는 비교적 변화가 적었으며 특히, 인공치의 근원심과 협설측 보다는 교합면쪽으로 색변화가 관찰되었다(Fig. 4A). 하악의 경우도 후경화 후에 전방에서 후방으로 갈수록 색변화가 뚜렷하였다. 의치상의 색변화가 인공치의 변화보다 뚜렷하였는데, 하악의치의 협봉부위와 협측후방부에서 협측

과 교합면에 노랑과 빨강색의 색변화를 보였다. 반면, 하악 의치의 설측은 설측 치조제 방향으로 수축하는 파란색을 나타냈다. 하악의 인공치는 제1대구치 부위까지는 상악인공치와 같이 거의 변화를 보이지 않았다. 후경화 후 하악의치는 후방으로 갈수록 협측과 교합면 측으로 수축하는 색변화를 보였다(Fig. 4B).

후경화 전후 의치의 계측점 간의 거리를 측정하였더니, 상악의치에서는 후경화 후에 모든 부위에서 거리가 감소하였다. 하악의치에서는 후경화 후에 계측점들 간 전후방길이가 대부분 감소하였으나, 폭간거리에서는 인공치간 거리를 제외하고는 모두 증가함을 보였다. 상악의치의 경우 전후방적으로 A-D, A-E, A-F 순으로 후경화 후에 길이가 감소하였으며, 통계학적으로 유의성을 보였다(Table 1, $P < 0.05$). 반면, A-B, A-C는 길이가 감소 하였으나 통계학적인 유의성은 없었다(Table 1, $P > 0.05$). 후경화 후에 상악의치의 폭경은 B-C, D-F, I-J 순으로 감소하였으며, 통계학적으로 유의성을 보였다(Table 2, $P < 0.05$). G-H도 역시 후경화 후에 길이의 감소를 보였으나, 통계학적인 유의성을 보이지 않았다(Table 2, $P > 0.05$).

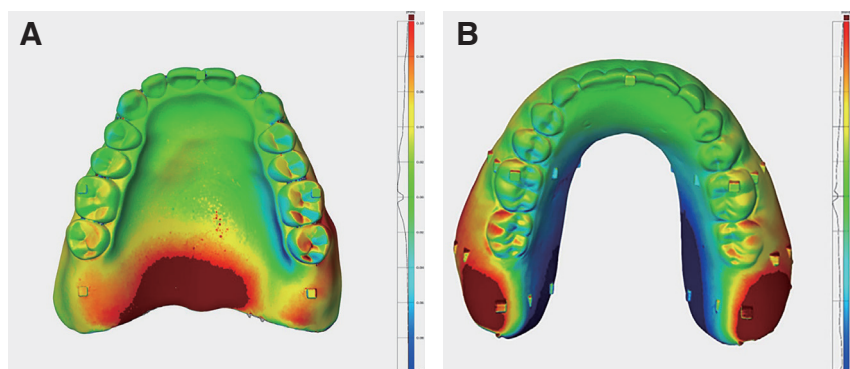


Fig. 4. Color map shows the dimensional change after post-curing. (A) Upper denture, (B) Lower denture.

Table 1. Mean value of lengths measured in maxillary denture

(\pm SD)

	Before post-curing	After post-curing	After - Before
Length of Maxillary CD			
A-B	38.357 ^a \pm 0.0365	38.318 ^a \pm 0.0464	-0.039
A-C	38.490 ^a \pm 0.0362	38.433 ^a \pm 0.0413	-0.057
A-D	57.546 ^a \pm 0.0369	57.410 ^b \pm 0.0913	-0.136
A-E	55.581 ^a \pm 0.0431	55.455 ^b \pm 0.0911	-0.126
A-F	57.041 ^a \pm 0.0536	56.945 ^b \pm 0.0899	-0.096

The different small superscripts present significant difference between before and after post-curing in each measuring point (Wilcoxon's signed ranks test, $P < 0.05$).

CD: complete denture. 'a' means reduction of length and width after post-curing.

후경화 후에 하악의치의 전후방적인 길이는 A-M, A-D, A-E, A-L, A-H, A-I 순으로 감소하였으며, 통계학적 유의성을 보였다(Table 3, $P < 0.05$). A-B, A-C 부위의 길이는 후경화 후 통계학적으로 유의성 있는 변화를 보이지 않았다(Table 3, $P > 0.05$). 후경화 후에 하악의치

의 폭은 B-C 부위만 감소하였으며, 나머지 부위는 L-M, J-K, H-I, D-E, F-G 순으로 폭경이 증가하였다. L-M, J-K, H-I의 세부위는 통계학적 유의성을 보였으며(Table 4, $P < 0.05$), B-C, D-E, F-G 부위는 통계학적 유의성을 보이지 않았다(Table 4, $P > 0.05$).

Table 2. Mean value of widths measured in maxillary denture (± SD)

	Before post-curing	After post-curing	After - Before
Width of Maxillary CD			
B-C	54.635 ^a ± 0.0692	54.504 ^b ± 0.0970	-0.131
D-F	53.526 ^a ± 0.0484	53.452 ^b ± 0.0898	-0.074
G-H	54.492 ^a ± 0.0885	54.462 ^a ± 0.0945	-0.030
I-J	63.763 ^a ± 0.0581	63.710 ^b ± 0.0680	-0.053

The different small superscripts present significant difference between before and after post-curing in each measuring point (Wilcoxon's signed ranks test, $P < 0.05$).

CD: complete denture. '↘' means reduction of length and width after post-curing.

Table 3. Mean value of lengths measured in mandibular denture (± SD)

	Before post-curing	After post-curing	After - Before
Length of Mandibular CD			
A-B	45.756 ^a ± 0.0360	45.718 ^a ± 0.0510	-0.038
A-C	51.107 ^a ± 0.0772	51.193 ^a ± 0.0875	0.086
A-D	54.977 ^a ± 0.0474	54.807 ^b ± 0.0589	-0.170
A-E	55.260 ^a ± 0.0414	55.145 ^b ± 0.0502	-0.115
A-H	52.170 ^a ± 0.0675	52.104 ^b ± 0.1279	-0.066
A-I	52.097 ^a ± 0.0865	52.085 ^b ± 0.0887	-0.012
A-L	51.480 ^a ± 0.1014	51.402 ^b ± 0.0960	-0.078
A-M	51.419 ^a ± 0.0784	51.208 ^b ± 0.3215	-0.211

The different small superscripts present significant difference between before and after post-curing in each measuring point (Wilcoxon's signed ranks test, $P < 0.05$).

CD: complete denture. '↘' means reduction of length and width after post-curing.

Table 4. Mean value of widths measured in mandibular denture (± SD)

	Before post-curing	After post-curing	After - Before
Width of Mandibular CD			
B-C	45.756 ^a ± 0.0360	45.718 ^a ± 0.0509	-0.038
D-E	51.107 ^a ± 0.0772	51.193 ^a ± 0.0875	0.086
F-G	55.288 ^a ± 0.1048	55.313 ^a ± 0.0732	0.025
H-I	67.174 ^a ± 0.0495	67.283 ^b ± 0.1144	0.109
J-K	18.331 ^a ± 0.0547	18.451 ^b ± 0.0354	0.120
L-M	26.707 ^a ± 0.0766	27.071 ^b ± 0.3121	0.364

The different small superscripts present significant difference between before and after post-curing in each measuring point (Wilcoxon's signed ranks test, $P < 0.05$).

CD: complete denture. '↘' means reduction of length and width after post-curing.

총괄 및 고안

이 실험에서 상·하악 의치를 3차원 프린터로 출력하기 위해 의치의 조직면에 서포트를 디자인하였다. DLP 방식의 3차원 프린터로 의치를 출력시 통상적으로 출력각도를 부여하지만, 이 실험에서는 후경화 이후의 의치의 연마면과 교합면에서 나타나는 변화를 평가하기 위해 의치의 조직면에 서포트를 디자인하였다. 그리고, 출력각도에 따른 변수를 없애기 위해 의치교합면이 트레이와 평행하도록 서포트를 부착하였다. 후경화 후에도 의치 내면의 서포트를 남겨놓아 서포트제거에 의한 영향을 배제하고 하였다.

이 연구에서 후경화 후에 상악의치의 전방부위는 거의 색변화가 없었고 구개부위부터 후방부로 갈수록 노란색과 빨간색을 나타내었다. 이러한 색의 변화는 후경화 후 의치상이 교합면 방향으로 수축하여 이동하였음을 의미한다. 상악의치의 경우 구개부위보다는 후구개폐쇄부위에서 빨간색이 두드러지게 나타났다. 이러한 상악의치의 구개부와 후구개부에 걸친 변화는 측정점 간의 계측의 결과와도 일치하였다. 상악의치 교합면의 중절치근심 절단과 상악제1대구치 근심협측 간의 거리인 A-B, A-C에서는 후경화 후 거리감소 즉 선수축을 보였으나, 통계학적으로 유의하지 않았다. 반면, 상악의치 중절치 절연에서 의치후방의 구개중앙과 양협측후방부위간의 거리인 A-D, A-E, A-F에서는 후경화 후에 통계학적으로 유의한 선수축이 나타났으며, 특히 A-D, A-E가 가장 많은 선수축이 나타났다. 상악의치의 폭을 측정한 결과에서도 B-C, D-E, I-J에서는 통계학적으로 유의한 수축이 발생하였다. 즉, 측정점 간의 계측결과가 후경화 전후의 STL 파일을 중첩한 색변화와 같은 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

이렇게 프린팅으로 제작된 상악의치의 구개와 후구개폐쇄부위가 레진 수축으로 인하여 체적변화를 보였다는 것은 여러 문헌에서도 보고되고 있다. 상·하악 의치의 출력각도에 따른 조직적합성을 평가하였던 Jin 등²⁰은 출력각도가 90°에서 150°로 커질수록 상악의치의 부적합부위가 구개중앙부위에서 후구개폐쇄부위로 이동하는 결과를 보여주었다. 본 실험의 출력각도가 0°나 180°인 것을 감안하면 출력각도에 따른 후구개폐쇄부위의 오차가 커지는 경향이 본 실험의 결과와 유사한 것으로 사료된다. 한편, 후경화시간에 따른 3차원 프린팅 의치의 적합성을 측정하였던 Doh 등²¹은 상악의치가 후경화시간의

증가에 따라 72.6 - 104.6 μm 의 오차를 보였다하였는데, 시간이 지날수록 구개센터부위에 파란색의 변화가 증가했다 하였다. 이 실험에서 의치 구개측의 조직면 파란색 변화는 의치상이 구개로부터 떨어는 것임을 감안할 때, 본 실험의 의치연마면에서의 노란색과 빨간색의 변화와 일치하는 것으로 사료된다. 통법, 밀링법과 프린팅법으로 제작된 상악의치의 오차를 보고하였던 Marsi 등¹³은 프린팅된 상악의치의 구개부위가 약 25 μm , 후구개폐쇄부위가 108 μm 의 오차를 보였다 하였다. 이 실험에서는 색의 변화가 연속적이어서 오차를 수치로 측정하여 결과로 기록하지 않았지만, 후경화 전후 상악구개측에서 후구개폐쇄부위에 걸쳐 측정된 오차는 약 20 - 170 μm 였으며, 위의 다른 문헌들과 비슷한 오차를 나타내었다.

후경화 후 상악의치의 폭은 모든 측정부위에서 수축을 보였다. 특히, 상악 양측제1대구치 사이의 폭경인 B-C에서 약 131 μm 로 가장 많은 평균수축량을 보였으며, 상악 양측제1대구치 치근단부위의 의치상간의 폭경인 G-H에서는 가장 적은 수축량을 나타냈다. 의치상레진의 수축에 의한 치아이동에 관하여 Mahler 등²²은 0.25 mm의 치아변위가 1 mm의 수직고경 증가와 교합의 부조화를 가져올 수 있다 하였다. 이러한 대구치사이의 폭의 변화는 인공치의 위치를 변화시켜 교합의 변화를 가져오므로 임상에서 의치시적시 반드시 교합조정이 필요할 것으로 사료된다.

후경화 후 하악의치는 협봉부위와 협측후방부에서 빨간색 변화를 보이는 반면 하악의 설측에서는 파란색의 변화를 보였다. 이것은 후경화 후 하악계측점간의 길이와 폭변화의 결과와 일치하였다. 후경화 후 하악의치의 전후방 길이 측정부위 중에서 A-M, A-D, A-E의 선수축 변화가 뚜렷한 점과 하악의 폭의 변화에서 H-I와 D-E간 거리가 후경화 후 증가한 것은 하악의 협측과 후방의 빨간색변화와 일치하는 결과로 사료된다. 또한, 하악 설측의 L-M, J-K 사이의 거리가 증가하는 것은 하악 설측의 치상의 파란색변화와 일치하는 결과를 나타냈다. 즉, 후경화로 인해 하악의치는 길이가 수축하면서 후방 치조제부위의 의치상은 협측으로 이동하는 변화를 보인 것으로 사료된다. 후경화 시간에 따른 상·하악 의치의 변화를 관찰하였던 Doh 등²¹은 후중합후 하악의 오차는 99.7 - 105.1 μm 라 하였으며, 후구치 삼각부위에서 가장 많은 양의 오차를 보였으며, 치조제의 설측과 소구치부위에서 음의 오차를 보였다 하였다. 이 실험에서 후경화 후 하악의 평균 길이변화는 97 μm 였고, 평균 폭의 변화가 123.67

μm로 Doh 등²¹의 후경화 후 변화량과 비슷한 결과를 나타내었다. 후경화 후의 하악의치의 후구치삼각부위에서 색변화는 이 실험결과와 일치하지 않았으나, 협봉부위와 협측 치조제부위의 색변화는 본 실험의 결과와 유사하였다. 하지만, 하악의치의 후구치삼각부위에서 Doh 등의 실험결과와 차이가 나는 것은 아마도 본 실험의 의치가 인공치까지 한 번에 제작된 것에 기인한 것으로 추정된다. 또한, Jin 등²⁰은 출력각도가 90°에서 150°로 갈수록 협봉과 후구치삼각부위에 음의 오차를 보인다 하였는데, 각도가 더 증가하면 음의 오차가 커져 이 실험의 결과와 비슷한 것으로 사료된다.

하악의치는 후경화 후 전후방적 길이가 감소함을 보였으나, 폭은 인공치아폭을 제외하고는 모두 협설로 증가함을 나타냈으며, 협측보다는 설측에서 그리고, 전방보다는 후방에서 그 증가량이 뚜렷함을 보였다. 이러한 것을 종합할 때, 후경화로 인해 하악의치는 전후방으로 수축하면서 협측에서는 전방과 교합면쪽으로 이동하고 설측에서도 설측치조제쪽으로 이동하는 형태의 변형이 일어나는 것으로 추정된다.

Hwang 등⁷에 의하면, DLP 방식의 프린터로 상·하악 의치상을 출력할 때 통상적으로 상악이 하악보다 큰 에러를 만든다하였다. 하지만, 후경화의 오차만을 고려하면 Doh의 실험과 본 실험에서도 하악의 오차가 더 많았다. 본 실험에서 후경화 후 상악은 길이는 90 μm, 폭은 72 μm의 수축을 보였고, 하악은 후경화 후 길이 97 μm, 폭 123.67 μm의 변화를 보였다. 이것은 의치프린팅시 부분중합의 에러와 트레이에서 의치 제거시 변형에 대한 것이 고려되지 않았기 때문인 것으로 추정된다.

이 실험의 한계는 한 종류의 의치상 재료만을 사용한 점과 다양한 의치 후경화방법을 적용하지 못한 것이다. 향후 다양한 프린팅기법과 의치상재료 및 후경화방법을 적용한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구는 후경화가 3차원 프린팅으로 제작된 상·하악 의치의 체적변화에 어떠한 영향을 미치는가 평가하고자 하였다. 본 실험의 결과내에서 후경화는 상악의치의 후구개폐쇄부위와 하악의치의 후방부위에 변형을 일으켰다. 상악은 임상적으로 받아들일만 하였으나, 하악은 오차가 더욱 뚜렷하여 이를 감소시킬 수 있는 후경화 방법이나 재료의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

ORCID

Suyeon Lee <https://orcid.org/0000-0001-7035-1082>

Younghun Kwak <https://orcid.org/0000-0001-6859-5539>

Eunchul Park <https://orcid.org/0000-0003-2697-6629>

Heejeung Kim <https://orcid.org/0000-0002-2015-1530>

Acknowledgements

이 논문은 2020년도 조선대학교 치과병원 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

References

1. Sa L, Kaiwu L, Shenggui C, Junzhong Y, Yongguang J, Lin W, Li R. 3D printing dental composite resins with sustaining antibacterial ability. *J Mater Sci* 2019;54:3309-18.
2. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28:3-12.
3. Alsandi Q, Ikeda M, Arisaka Y, Nikaido T, Tsuchida Y, Sadr A, Yui N, Tagami J. Evaluation of mechanical and physical properties of light and heat polymerized UDMA for DLP 3D printer. *Sensors* 2021; 21:3331.
4. Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KTQ, Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos B Eng* 2018;143:172-96.
5. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-state of the art. *Oper Dent* 2020;45:30-40.
6. Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219:521-9.
7. Hwang HJ, Lee SJ, Park EJ, Yoon HI. Assessment of the trueness and tissue surface adaptation of CAD-CAM maxillary denture bases manufactured using digital light processing. *J Prosthet Dent* 2019; 121:110-7.
8. Han H, Cho S. Fabrication of conducting polyacrylate resin solution with polyaniline nanofiber and graphene for conductive 3D printing application. *Polymers* 2018;10:1003.

9. Kalberer N, Mehl A, Schimmel M, Müller F, Srinivasan M. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: an in vitro evaluation of trueness. *J Prosthet Dent* 2019;121: 637-43.
10. Lee S, Hong SJ, Paek J, Pae A, Kwon KR, Noh K. Comparing accuracy of denture bases fabricated by injection molding, CAD/CAM milling, and rapid prototyping method. *J Adv Prosthodont* 2019;11: 55-64.
11. Yoon HI, Hwang HJ, Ohkubo C, Han JS, Park EJ. Evaluation of the trueness and tissue surface adaptation of CAD-CAM mandibular denture bases manufactured using digital light processing. *J Prosthet Dent* 2018;120:919-26.
12. Tasaka A, Matsunaga S, Odaka K, Ishizaki K, Uedac T, Abe S, Yoshinari M, Yamashita S, Sakurai K. Accuracy and retention of denture base fabricated by heat curing and additive manufacturing. *J Prosthodont Res* 2019;63:85-9.
13. Masri G, Mortada R, Ounsi H, Alharbi N, Boulos P, Salameh Z. Adaptation of complete denture base fabricated by conventional, milling, and 3-D printing techniques: An in vitro study. *J Contemp Dent Pract* 2020;21:367-71.
14. Steinmassl O, Offermanns V, Stöckl W, Dumfahrt H, Grunert I, Steinmassl PA. In vitro analysis of the fracture resistance of CAD/CAM denture base resins. *Materials* 2018;11:401.
15. Bayarsaikhan E, Lim JH, Shin SH, Park KH, Park YB, Lee JH, Kim JE. Effects of post-curing temperature on the mechanical properties and biocompatibility of three-dimensional printed dental resin material. *Polymers* 2021;13:1180.
16. Reymus M, Lümke mann N, Stawarczyk B. 3D-printed material for temporary restorations: Impact of print layer thickness and post-curing method on degree of conversion. *Int J Comput Dent* 2019;22: 231-7.
17. Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Degree of conversion and mechanical properties of a BisGMA:TEGDMA composite as a function of the applied radiant exposure. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2008;84:503-9.
18. dos Santos RL, de Sampaio GA, de Carvalho FG, Pithon MM, Guênes GM, Alves PM. Influence of degree of conversion on the biocompatibility of different composites in vivo. *J Adhes Dent* 2014;16: 15-20.
19. Durner J, Dębiak M, Bürkle A, Hickel R, Reichl FX. Induction of DNA strand breaks by dental composite components compared to X-ray exposure in human gingival fibroblasts. *Arch Toxicol* 2011;85:143-8.
20. Jin MC, Yoon HI, Yeo IS, Kim SH, Han JS. The effect of build angle on the tissue surface adaptation of maxillary and mandibular complete denture bases manufactured by digital light processing. *J Prosthet Dent* 2020;123:473-82.
21. Doh RM, Kim JE, Nam NE, Shin SH, Lim JH, Shim JS. Evaluation of Dimensional Changes during Post-curing of a Three-Dimensionally Printed Denture Base According to the Curing Time and the Time of Removal of the Support Structure: An In Vitro Study. *Appl Sci* 2021;11:10000.
22. Mahler DB. Inarticulation of complete dentures processed by the compression molding technique. *J Prosthet Dent* 1951;1:551-9.

후경화에 따른 3차원 프린팅 의치의 체적변화

이수연¹ 대학원생, 곽영훈¹ 대학원생, 박은철¹ 대학원생, 김희중^{2*} 교수

¹조선대학교 치의학전문대학원

²조선대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 이 연구목적은 3차원 프린팅의치의 후경화후로 인한 의치의 체적변화를 평가하고자하였다.

연구 재료 및 방법: 상·하악 의치를 Exocad DentalCaD 프로그램을 이용하여 디자인하였으며, STL 파일로 추출하였다. DLP 방식의 치과용 3차원 플린터를 이용하여 상·하악 의치 STL파일을 상·하악 각기 10개씩 출력하였다. 출력된 상·하악 의치는 세척하였고, 후경화를 시행하기전과 후에 각 각 모형스캐너를 이용하여 스캔파일을 만들었다. 후경화 전후의 스캔된 의치파일을 중첩하여 변화를 평가하였으며, 의치상의 계측점사이의 거리를 측정하였다. 통계는 SPSS를 이용하였으며, 유의수준은 5%였다.

결과: 상악의치는 후경화 후에 전반적으로 수축하였으며, 후구개부위에서 가장 뚜렷한 변화를 보였다. 상악의치 전후방(A-D, A-E, A-F)의 길이와 양측제1대구치사이(B-C)의 길이 감소가 통계학적으로 유의성을 보였다. 하악의치는 후경화 후에 전후방의 길이변화보다는 폭경의 변화가 비교적 뚜렷하였는데, 의치후방(A-M, A-D, A-E, A-L, A-H, A-I, H-I)과 설측(J-K, L-M)에서 통계학적으로 유의성있는 길이변화가 관찰되었다.

결론: 이 실험의 결과내에서, 3차원 프린터로 출력되는 상·하악 의치는 후경화 후에 길이와 폭이 모두 변화하였다. 결론적으로, 의치의 변형을 최소화할 수 있는 후경화 방법과 재료의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

(구강회복응용과학지 2022;38(4):233-41)

주요어: 후경화; 체적변화; 3차원 프린팅 의치; 길이; 폭경

*교신저자: 김희중

(61452) 광주광역시 동구 필문대로 309 조선대학교 치과대학 치과보철학교실

Tel: 062-220-3820 | Fax: 062-227-1269 | E-mail: khjdds@chosun.ac.kr

접수일: 2022년 12월 13일 | 수정일: 2022년 12월 17일 | 채택일: 2022년 12월 19일