

이산화티타늄 나노입자를 함유한 3D 프린팅 의치상 레진의 항진균성 및 굽힘 강도에 대한 연구

A study of the antifungal properties and flexural strength of 3D printed denture base resin containing titanium dioxide nanoparticles

윤석원 · 조영은*

Seok-Won Yoon, Young-Eun Cho*

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

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

ORCID iDs

Seok-Won Yoon

<https://orcid.org/0009-0008-0828-0058>

Young-Eun Cho

<https://orcid.org/0000-0003-0341-2150>

Purpose. With the advancement of digital technology, 3D printing is being utilized in the fabrication of denture base. Nevertheless, increasing microbial adhesion to the surface of denture base has been reported as the disadvantage of 3D-printed denture base. The purpose of this study is to investigate the antifungal properties and flexural strength of 3D-printed denture base resin according to the different contents of titanium dioxide nanoparticles. **Materials and methods.** Titanium dioxide nanoparticles were mixed with the 3D printing resin at the ratios of 0.5, 1, 1.5, and 2 wt%. Twenty specimens per each group were printed in the form of cylindrical shape (diameter: 20 mm, height: 3 mm) to evaluate antifungal properties. Ten specimens from each group underwent polishing using autogrinder, while the remaining ten specimens did not. *Candida albicans* in hyphae form was inoculated onto each specimen, optical density and colony-forming unit were analyzed. The surface of the specimen was observed using scanning electron microscopy. To evaluate the flexural strength, twenty specimens per each group were 3D printed in the form of rectangular prism shape (length: 64 mm, height: 10 mm, width: 3 mm) and three-point bending tests were conducted using universal testing machine according to ISO 20795-1. **Results.** Colony-forming unit of *C. albicans* and optical density of culture medium showed no difference between non-polished groups, but decreased in the polished groups at concentration of 1, 1.5, 2 wt% titanium dioxide nanoparticles. Flexural strength increased with titanium dioxide nanoparticle at concentration of 0.5, 1, 1.5 wt%, but decreased at 2 wt% compared to 1.5 wt%. **Conclusion.** When 1.5 wt% of titanium dioxide nanoparticles were added to the 3D-printed denture base resin with polishing, antifungal properties were increased. (J Korean Acad Prosthodont 2024;62:95-103)

Keywords

Colony-forming unit; Denture base; Flexural strength; Three-dimensional printing; Titanium dioxide

Corresponding Author

Young-Eun Cho

Department of Prosthodontics,

School of Dentistry, Dankook

University, 119, Dandae-ro,

Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam,

31116, Republic of Korea

+82-41-550-1924

yecho77@hanmail.net

Article history

Received December 28, 2023 /

Last Revision January 25, 2024 /

Accepted February 14, 2024

© 2024 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/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

오늘날 치과 영역에 상용되고 있는 3D 프린팅은 디지털 기술이 발전함에 따라 임시치아, 진단모형 뿐만 아니라, 작업모형이나 금속구조물 및 도재 수복물, 또는 의치 제작에도 사용되고 있다.¹ 그러나 적층 제조의 특성상 발생하는 미생물 정착 증가, 기계적 강도 저하 등의 한계점들 또한 보고되고 있다. 선행 연구들에서 3D 프린팅 의치상은 출력 과정에서 층간 계면에 요철이 형성되고, 이는 미생물이 증식하기에 적절한 공간으로 작용할 수 있으며, 기존의 polymethyl methacrylate (PMMA) 열중합 의치상이나 CAD-CAM 밀링 의치상에 비해 비교적 낮은 기계적 강도를 보인다고 보고하였다.^{2,3} 의치상 레진의 PMMA는 타액 단백질이 흡착되면서 균막이 형성되기 용이한데, 전신질환의 병력을 가진 노인 환자들에게는 비교적 제한된 구강 위생 관리 능력으로 *C.albicans*에 의한 치구내염이 빈번히 발생하게 된다.^{4,6} *C.albicans*의 부착과 증식 억제를 위해 다양한 방법들이 보고되고 있고, 나노 물질의 항진균성을 활용한 연구들이 최근 주목을 받고 있다.^{7,8} 그 중 이산화티타늄 나노입자는 반응성 산소종을 생성하고 세포 내 coenzyme A의 산화와 지질의 과산화물을 일으켜 균의 호흡활동을 감소시키는 기전을 통해 세포 사멸을 유발한다.⁹ Totu 등¹⁰은 3D 프린팅 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 0.4, 1, 2.5 wt%로 첨가하여 *C.albicans*에 대한 의치상 레진의 항진균성을 보고하였고, Liu 등¹¹은 이산화티타늄 나노입자를 1 wt% 첨가하였을 때 *C.albicans*에 대한 의치상 레진의 항진균성을 확인하였다. 그러나 기존의 이산화티타늄 나노입자와 관련된 연구는 대부분 효모 형태(yeast)의 *C.albicans*에 대해서 한정적으로 연구되었고 실질적으로 구내에 존재하는 균사 형태(hyphae)의 *C.albicans*에 대한 연구는 부족한 상황이다. *C.albicans*는 주변 환경에 따라 다양한 형태로 존재하는데, 상대적으로 영양분이 부족하고 37도의 온도와 혐기성

의 환경에서, 효모 형태의 *C.albicans*는 균사 형태로 분화하게 되며, 균막을 형성하게 된다. 균막을 형성한 *C.albicans*는 효모 형태의 *C.albicans*에 비해 최소저해농도(MIC; Minimum Inhibitory Concentration)가 30 - 2,000배 더 높으며, 기존의 항진균제가 인체에 안전한 용량으로 사용되었을 때 균사 형태의 *C.albicans*에 대해 효과적으로 작용하지 못한다고 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 3D 프린팅 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 첨가하여 균사 형태의 *C.albicans*에 대한 의치상 레진의 항진균성과 그에 따른 굽힘 강도의 변화를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 항진균성

3D 프린팅 레진(Nextdent Base pink, Nextdent B.V, Soesterberg, Netherlands)에 30 nm의 구형 이산화티타늄 나노입자(AV-3498, Avention, Siheung, Korea)를 0.5, 1, 1.5, 2 wt%의 중량비로 혼합하였다 (Table 1). 이산화티타늄 나노입자가 포함되지 않은 대조군을 포함하여 총 5개 군으로 제작하였고, Ball mill desktop 2-roll (LM-BD4530, LK LabKorea., Ltd., Namyangju, Korea)상에서 ball milling을 통해 의치상 레진과 이산화티타늄 나노입자를 균일하게 혼합하였다 (Table 2).

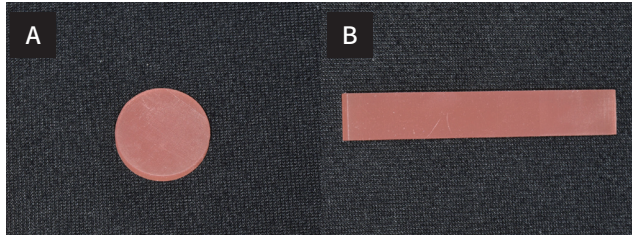
3D Sprint software (3DSystems Co., Rock Hill, SC, USA)를 이용하여 높이 3 mm, 직경 20 mm의 원기둥 형태로 시편을 디자인하고 3D 프린터 (NextDent5100, NextDent B.V, Soesterberg, Netherlands)로 출력하여 후중합을 시행하고, phosphate buffered saline (Sigma Aldrich Co., St. Louis, MA, USA)로 세척하였다 (Fig. 1A). 농도에 따라

Table 1. Composition of materials used

	Material	Lot no.	Composition
3D-printing denture base resin	Nextdent Base Pink (Nextdent B.V., Soesterberg, Netherlands)	XG153N01	Methacrylate oligomers Urethane dimethacrylate Phosphine oxides
TiO ₂ nanoparticle	AV-3498 (Avention Co., Siheung, Korea)	AV-6438214	30 nm, spherical, anatase high purity 99.98%

Table 2. Weight ratio (wt%) of TiO₂ nanoparticles for control group and all test groups

Group	TiO ₂ nanoparticle (wt%)
Control	0
A	0.5
B	1
C	1.5
D	2

**Fig. 1.** 3D printed resin specimens. (A) specimens for antifungal properties test, (B) specimens for three-point bending test.

20개씩 출력하여 10개는 연마를 시행하지 않았으며, 10개는 autogrinder (P1-230D, Korea-tech Co., Ltd., Busan, Korea)를 이용하여 300 grit, 1200 rpm으로 3분간 연마를 시행하였다. 의치구내염 관련 세균으로 *C.albicans* (ATCC 10231)을 사용했으며, 단순 진균 증식을 위해서 trypticase soy broth (BD bioscience, San Jose, CA, USA)를 이용하여 minishaker (CMS-350, JEIO Tech Co., Ltd., Daejeon, Korea)로 24시간 37°C 호기 상태에서 170 rpm으로 배양했다. *C.albicans*의 균막을 시편표면에 형성시키기 위해서 시편을 ethylene oxide 가스멸균기(HS3241EO, Hanshin medical, Incheon, Korea)를 이용하여 멸균시켰다. 균사 형태의 분화를 위해 시편을 12-well cell culture plate (SPL Life Sciences Co., Ltd., Pocheon, Korea)상에 위치시킨 후, Ham's F-12 nutrient 배지(Sigma Aldrich Co., St. Louis, MA, USA)에 침적 시키고 효모 형태의 *C.albicans*를 접종한 후, 37°C 호기상태에서 24시간 배양하였다. *C.albicans*의 환경에 따른 분화 양상을 확인하기 위해 광학현미경(Nikon Eclipse E200, Nikon Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 배양액을 관찰하였다. 배양 후 부착되지 않은 *C.albicans*를 제거하기 위해 phosphate buffered saline (Sigma Aldrich Co., St. Louis, MA, USA)으로 시편을 3회 세척하였

다. Cell scraper (SPL Life Sciences Co., Ltd., Pocheon, Korea)를 이용하여, 균사 형태의 *C.albicans*를 분리한 뒤 10,000배 희석 후 분광광도계(BioTek Epoch2 microplate, BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 집락수(CFU; Colony-forming unit)측정을 위해 tryptic soy agar (Sigma Aldrich Co., St. Louis, MA, USA) 배지에 *C.albicans*를 접종한 후 37°C 호기상태에서 24시간 배양하였다.

2. 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경(ZEISS Gemini SEM 560, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany)으로 시편의 표면을 관찰하였다. 연마 시행 여부에 따라 두 군으로 나누어 10,000배 확대한 영상을 각각 촬영하였고, EDS를 통해 이산화티타늄 나노입자가 레진 기질에 균일하게 분산되었는지 관찰하였다.

3. 굽힘 강도

굽힘 강도 분석을 위해 ISO 20795-1¹²에 따라 3D sprint software를 이용하여 시편을 길이 64 mm, 높이 10 mm, 폭 4 mm의 직육면체 형태로 디자인 하였다. 이산화티타늄 나노입자를 0.5, 1, 1.5, 2 wt%의 농도로 레진에 혼합 후 3D 프린터를 이용하여 각 군당 20개씩 출력하였다 (Fig. 1B). 완성된 시편은 37°C 증류수에서 48시간동안 보관하였고, 이후 만능시험기(QM100TS, Qmesys Co., Ltd., Uiwang, Korea)를 이용하여 cross-head speed 5 mm/min로 3점 굽힘 강도를 측정하였다.

4. 통계학적 분석

SPSS (IBM SPSS Statistics v25.0, IBM Corp., New York, NY, USA)를 이용하여 통계적 분석을 시행하였다. 첨가된 이산화티타늄 나노입자의 농도에 따른 항진균 효과와 3점 굽힘 강도에 유의차가 있는지 분석하기 위해 정규성 검증에 Shapiro-Wilk test를 사용하였다. 정규분포를 따르는 흡광도 분석과 3점 굽힘 강도 시험의 경우 one-way ANOVA test를 시행하였고, 사후검증에 Tukey's post hoc test를 시행하였다. 정규분포를 따르지 않은 집락수 분석은 기술통계에

Kruskal-Wallis test, 사후검정에 Mann-Whitney test를 시행하였다 ($\alpha = .05$).

결과

1. 항진균성

동결 건조된 *C.albicans*를 해동하여 배양한 후 광학현미경을 이용하여 20배율로 관찰한 결과, 효모 형태의 *C.albicans*를 관찰 할 수 있었다 (Fig. 2A). Ham's F-12 nutrient 배지를 이용하여 5% CO₂ incubator 내에서 효모 형태의 *C.albicans*를 24시간 배양한 후 동일한 배율로 관찰하였고, 가균사 형태를 거쳐 성공적으로 분화된 균사 형태의 *C.albicans*를 확인할 수 있었다 (Fig. 2B). 이산화티타늄 나노입자를 첨가한 3D 프린팅 의치상 레진의 균사 형태의 *C.albicans*에 대한 항진균성을 확인 하기 위해, 흡광도와 집락수 측정을 시행 한 결과, 연마를 하지 않았을 때, 첨가된 이산화티타늄 나노입자 농도에 따른 유의차가 없었다 ($P > .05$). 연마를 시행한 군에서,

배양액의 흡광도는 Shapiro-Wilk test를 시행하였을 때 측정값들이 정규성을 만족하여 one-way ANOVA test를 시행하였고, 첨가된 이산화티타늄 나노입자 중량비에 따라 군 간에 흡광도의 유의차가 존재함을 확인했다. 사후검정을 위해 Tukey's post hoc test를 시행하였고, 대조군과 나머지 모든 군 간에 유의차가 존재하였다 ($P < .05$). 흡광도는 Group C (1.5 wt%)에서 대조군 대비 약 33% 감소하였고, Group D (2 wt%)에서 대조군 대비 약 42% 감소하였다. 하지만 흡광도는 이산화티타늄 나노입자 농도에 비례하여 감소하지는 않았다 (Table 3). *C.albicans* 집락수의 경우 Shapiro-Wilk test를 시행하였을 때 측정값들이 정규성을 만족하지 못하여 Kruskal-Wallis test를 시행하였고, 첨가된 이산화티타늄 나노입자 중량비에 따라 군 간에 유의차가 존재하였다 ($P < .05$). 이산화티타늄 나노입자 농도에 따른 군 간의 집락수 비교를 위해 Mann-Whitney test를 시행하였고, 대조군과 Group A (0.5 wt%)는 차이가 없었으나, 대조군과 나머지 모든 군 간에 유의한 차이가 존재하였다 ($P < .05$). 하지만 집락수는 이산화탄소 농도에 비례하여 감소하지는 않았다 (Table 4).

Fig. 2. Microscope image of *C.albicans* (magnification $\times 20$) Each shape represent different types of *C.albicans* (A): Mixed morphology of yeast, pseudohyphae forms of *C.albicans*. (B): hyphae form of *C.albicans*. (□: yeast, △: pseudohyphae, ○: hyphae)

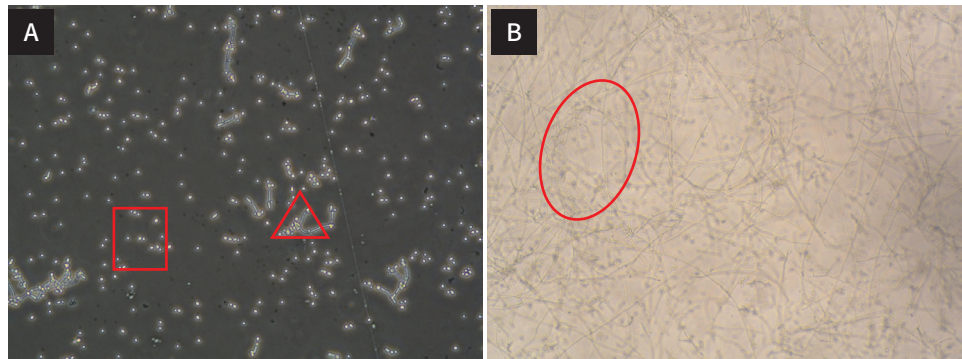


Table 3. Optical density and CFU/disc for control group and all test groups (unpolished)

Materials (unpolished)		Group (n = 10)					P-value
		Control	A	B	C	D	
Optical density (660 nm)	Mean	0.42	0.40	0.47	0.39	0.38	.843
	SD	0.046	0.144	0.165	0.075	0.108	
CFU/disc	Mean	4,149,500	5,175,000	6,136,000	4,310,000	5,000,000	.672
	SD	2,471,639	4,506,399	3,221,715	4,178,770	3,703,080	

No significant difference at level of .05.

Table 4. Optical density and CFU/disc for control group and all test groups (polished)

Materials (polished)		Group (n = 10)					P-value
		Control	A	B	C	D	
Optical density (660 nm)	Mean	0.36	0.27 ^a	0.28 ^a	0.24 ^{ab}	0.21 ^b	.017*
	SD	0.03	0.03	0.05	0.02	0.05	
CFU/disc	Mean	2,749,000 ^a	2,380,000 ^{ab}	1,930,000 ^{bc}	1,710,000 ^{bcd}	1,680,000 ^{bd}	.001*
	SD	580,435	932,443	604,748	534,264	104,310	

1) Statistical significances were tested by one-way ANOVA (OD) and Kruskal-Wallis (CFU/disc) among groups.

2) The same superscripted letters indicate non-significant difference between groups based on Tukey's post hoc test (OD) and Mann-Whitney test (CFU/disc).

2. 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경을 이용하여 10,000배 확대한 영상에서 EDS를 통하여 시편의 표면을 분석한 결과, 연마가 시행되지 않은 시편의 경우 표면에 상대적으로 적은 양의 이산화티타늄 나노입자가 균일하지 않게 분포되어 있는 것을 확인하였다 (Fig. 3A). 동일한 배율에서, 연마가 시행된 시편을 관찰하였고 EDS를 통하여 이산화티타늄 나노입자가 균일하게 분포한 것을 확인하였다 (Fig. 3B). 동일한 배율에서, 연마를 시행하지 않은 시편과 연마를 시행한 시편의 파절면을 관찰하였고, EDS를 통해 연마 여부에 관계없이 모든 시편에서 균일하게 분배된 이산화티타늄 나노입자를 관찰할 수 있었다 (Fig. 4A, B).

3. 굽힘 강도

첨가된 이산화티타늄 나노입자 농도에 따른 굽힘 강도의 변화를 Table 5에 나타내었다. Shapiro-Wilk test를 시행하였을 때 측정값들이 정규성을 만족했기에 one-way ANOVA test를 시행하였고, 첨가된 이산화티타늄 나노입자 중량비에 따라 군 간에 굽힘 강도의 유의차가 존재함을 확인했다 ($P < .05$). 사후검증을 위해 Tukey's post hoc test를 시행한 결과, 대조군과 Group D (2 wt%)를 제외한 나머지 군 간에 굽힘 강도의 유의차가 존재하였고, Group A (0.5 wt%), Group B (1 wt%), Group C (1.5 wt%)에서 대조군에 비해 굽힘 강도가 증가하였다. 대조군을 제외한 이산화티타늄 나노입자 농

Fig. 3. EDS image of 1.5 wt% specimen (magnification $\times 10,000$). (A) unpolished, (B) polished. Purple and yellow dots represent titanium dioxide nanoparticles.

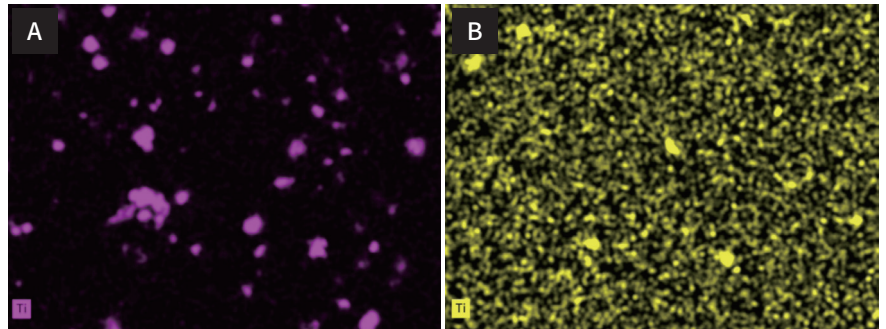


Fig. 4. EDS image of 1.5 wt% specimen at fractured surface (magnification $\times 10,000$). (A) unpolished, (B) polished. Red dots represent titanium dioxide nanoparticles.

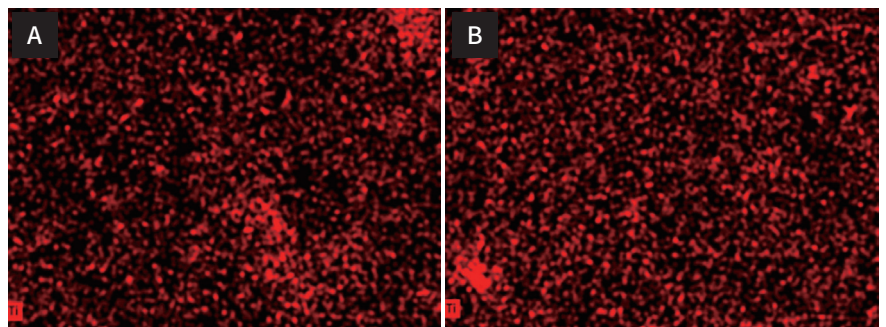


Table 5. Three-point bending test for control group and all test groups

Materials		Group (n = 20)					P-value
		Control	A	B	C	D	
Flexural strength (MPa)	Mean	141.45 ^a	153.38 ^b	156.70 ^{bc}	159.39 ^{bc}	145.10 ^{abc}	.001
	SD	18.48	12.61	10.26	10.48	13.84	

1) Statistical significances were tested by one-way ANOVA among groups.

2) The same superscripted letters indicate non-significant difference between groups based on Tukey's post hoc test.

도에 따른 굽힘 강도의 차이는 Group C (1.5 wt%)와 Group D (2 wt%)간의 차이를 제외하고는 발견할 수 없었다 ($P > .05$) (Table 5).

고찰

본 연구는 이산화티타늄 나노입자를 3D 프린팅 의치상 레진에 첨가하여 의치상 레진의 향진균성 및 굽힘 강도의 변화를 알아보고자 하였다. Karci¹³와 Korkmaz¹⁴는 나노입자의 모양과 크기(약 15 nm)가 고분자 레진 복합재료의 기계적 특성 향상에 중요하며, 대신 중량비는 낮게 유지되어야 한다고 강조하였고, Gad 등¹⁵은 3D 프린팅 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 첨가할 때 0.5 - 3.0 wt%의 낮은 중량비에서는 기계적 특성이 개선되었으나 5 wt% 이상의 중량비에서는 기계적 특성이 상당히 약화되었다고 보고하였다. 본 실험에서는 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 2 wt% 이내의 낮은 농도로 첨가하였는데, 굽힘 강도가 0.5, 1, 1.5 wt%의 농도에서 증가한 것은 선행 연구들과 일치한다. 또한, Group D (2 wt%)는 Group C (1.5 wt%)에 비해 굽힘 강도가 감소하였는데, Liu 등¹¹은 높은 농도의 이산화티타늄 나노입자는 레진 내의 폴리머 및 단량체와 상호 작용하여 물리적 교차 링크를 형성하고, 이는 분자 사슬의 움직임을 방해하고 의치상 레진의 점도를 증가시킨다고 언급했다. Quan 등¹⁶은 3D 프린팅 중 플래이트의 상하 움직임 제한으로 입자 침전이 발생하며 이로 인해 해당 층의 상대 농도가 증가하고 층간 접착 문제가 발생할 수 있다고 보고했다. 이산화티타늄 나노입자를 0.5, 1, 1.5 wt% 첨가한 군에서 굽힘 강도가 대조군에 비해 증가한 것은 나노입자가 레진 분자 간 가교 역할을 하고 레진 기질의 결정립 구조를 향상시켜 의치상 레진의 기계적 특성이 향상된 결과로 보인다. 굽힘 강도가 2 wt%에서는 1.5 wt%에 비해 감소하였는데, 이산화티타늄 나노입자 중량비의 증가로 인해 나

노입자 간의 기계적 및 화학적 응집 반응이 증가하고, 이로 인해 점성이 증가한 결과로 사료된다.

연마를 하지 않았을 때 흡광도는 Group B (1 wt%)가 대조군에 비해 높게 측정되었고, 집락수는 Group A (0.5 wt%), Group B (1 wt%), Group C (1.5 wt%), Group D (2 wt%)에서 대조군보다 높게 측정되었다. 이는 후중합 과정에서 나노 입자가 존재하는 표면에서는 수축이 크게 감소한 반면, 레진 기질만 있는 부위에서는 수축이 진행되었고, 이 과정에서 생성된 표면의 요철은 *C.albicans*의 증식에 유리한 조건을 제공한 것으로 사료된다. 선행 연구들에서 레진은 중합 과정에서 분자간의 공유 결합에 의한 공간 감소로 인하여 수축을 초래하며,¹⁷ 레진에 이산화티타늄 나노입자를 첨가하여 중합 수축을 크게 감소시켰다는 보고들이 있으며,¹⁸⁻²⁰ 이는 본 실험의 결과와 일치한다. 연마를 시행하였을 때 이산화티타늄 나노입자 첨가에 따라 대조군에 비해 *C.albicans*의 집락수와 배양액의 흡광도가 감소하였는데, 이는 표면의 요철부위가 평활해지고 레진에 갇혀 있던 나노입자가 표면에 노출되어 향진균성을 발휘하게 된 것으로 보인다.

본 실험에서는 시편 표면에 대한 추가적인 분석을 위해 주사전자현미경 촬영과 EDS 영상을 촬영하였다. 연마를 시행하지 않은 시편의 표면 상에서 상대적으로 적은 양의 이산화티타늄 나노입자가 발견되었고 (Fig. 3A), 연마를 시행한 시편의 표면 상에서는 균일하게 분산된 많은 양의 이산화티타늄 나노입자를 관찰할 수 있었다 (Fig. 3B). 이산화티타늄 나노입자가 레진 기질 내부에 균일하게 분배되었으나 표면 상에만 적게 노출된 것인지 확인하기 위해, 3점 굽힘 강도 시험에서 파절된 시편의 절단면을 주사전자현미경으로 촬영하였고, 시편의 절단면에서 연마 여부에 관계없이 균일하게 분배된 이산화티타늄 나노입자를 확인할 수 있었다 (Fig. 4A, B). 이는 출력을 시행할 때, 3D 프린터의 플래이트가 상하로 움직이는 과정에서 상대적으로 밀도가 높은 이산화티타늄 나노입자가 침전

하게 되고, 결과적으로 밀도가 낮은 레진이 나노입자를 덮으며 표면 노출을 저해한 것으로 사료된다. 또한 이산화티타늄 나노입자가 비교적 안정적으로 간주되지만, 레진 기질 내부와 달리 표면에 노출된 이산화티타늄 나노입자는 레진 폴리머와의 결합을 일부 상실하고 소량 방출된 것으로 보이며 이는 이산화티타늄 나노입자의 연마를 시행하지 않은 군에서 항진균성이 거의 나타나지 않은 결과와 일치한다.

*C.albicans*의 집락수와 배양액의 흡광도 분석을 통해 본 실험에서는 이산화티타늄 나노입자가 *C.albicans*의 균막 형성을 저해하는데 기여하는 것을 확인하였다. 균막 형성을 억제하는 데는 다양한 요소들이 있으며 표면의 공극율, 크기, 접촉각, 그리고 거칠기 등 다른 요인들에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.²¹ 또한, 이산화티타늄 나노입자 자체의 다양한 형태에 대한 고려와 나노 입자의 방출에 의하여 생기는 세포손상에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.^{22,23}

결론

본 연구에서는 3D 프린팅 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 첨가하여 군사 형태의 *C.albicans*에 대한 항진균성과 그에 따른 굽힘 강도 변화를 알아보려고 하였다. 연마를 시행하고 이산화티타늄 나노입자 농도를 0.5, 1, 1.5, 2 wt% 농도로 첨가하였을 때, *C.albicans*의 집락수와 배양액의 흡광도는 이산화티타늄 나노입자를 첨가하지 않은 대조군에 비해 감소하였다. 굽힘 강도는 이산화티타늄 나노입자를 0.5, 1, 1.5 wt% 농도로 첨가하였을 때 이산화티타늄 나노입자를 첨가하지 않은 대조군에 비해 증가하였으나, 2 wt%에서 1.5 wt%에 비해 감소하였다. 따라서 3D 프린팅 의치상을 제작 할 때 *C.albicans*의 균막 형성을 저해하기 위해서 1.5 wt%의 이산화티타늄 나노입자 첨가를 고려해 볼 수 있다.

References

1. Lima JM, Anami LC, Araujo RM, Pavanelli CA. Removable partial dentures: use of rapid prototyping. *J Prosthodont* 2014;23:588-91.
2. Li P, Fernandez PK, Spintzyk S, Schmidt F, Beuer F, Unkovskiy A. Effect of additive manufacturing method and build angle on surface characteristics and *Candida albicans* adhesion to 3D printed denture base polymers. *J Dent* 2022;116:103889.
3. Meirowitz A, Rahmanov A, Shlomo E, Zelikman H, Dolev E, Sterer N. Effect of denture base fabrication technique on *candida albicans* adhesion in vitro. *Materials* 2021;14:221.
4. Chan AKY, Tamrakar M, Jiang CM, Lo ECM, Leung KCM, Chu CH. Common medical and dental problems of older adults: A narrative review. *Geriatrics* 2021;6:76.
5. Jose A, Coco BJ, Milligan S, Young B, Lappin DF, Bagg J, Murray C, Ramage G. Reducing the incidence of denture stomatitis: are denture cleansers sufficient? *J Prosthodont* 2010;19:252-7.
6. Teughels W, Van Assche N, Sliepen I, Quirynen M. Effect of material characteristics and/or surface topography on biofilm development. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:68-81.
7. Ayaal F, Chehri K. Antifungal activity of Au, Ag, TiO₂, Ch, Pd, Se, and ZnO nanoparticles against *Candida albicans*: a review. *Plant Archives* 2019;19:33-44.
8. Kamonkhantikul K, Arksornnukit M, Takahashi H. Antifungal, optical, and mechanical properties of polymethylmethacrylate material incorporated with silanized zinc oxide nanoparticles. *Int J Nanomedicine* 2017;12:2353-60.
9. Gad MM, Abualsaud R. Behavior of PMMA denture base materials containing titanium dioxide nanoparticles: a literature review. *Int J Biomater* 2019;2019:6190610.
10. Totu EE, Nechifor AC, Nechifor G, Aboul-Enein HY, Cristache CM. Poly(methyl methacrylate) with TiO₂ nanoparticles inclusion for stereolithographic complete denture manufacturing - the future in dental care for elderly edentulous patients? *J Dent* 2017;59:68-77.
11. Liu Y, Chen J, Ning L, Sun J, Liu L, Zhao K. Preparation and properties of nano-TiO₂-modified photosensitive materials for 3D printing. *e-Polymers* 2022;22:686-95.
12. ISO 20795. Dentistry - Base polymers. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland; 2013.
13. Karci M, Demir N, Yazman S. Evaluation of Flexural Strength of Different Denture Base Materials Rein-

- forced with Different Nanoparticles. *J Prosthodont* 2019;28:572-9.
14. Korkmaz T, Doğan A, Usanmaz A. Dynamic mechanical analysis of provisional resin materials reinforced by metal oxides. *Biomed Mater Eng* 2005;15:179-88.
 15. Gad MM, Fouda SM, Abualsaud R, Alshahrani FA, Al-Thobity AM, Khan SQ, Akhtar S, Ateeq IS, Helal MA, Al-Harbi FA. Strength and surface properties of a 3D-printed denture base polymer. *J Prosthodont* 2022;31:412-8.
 16. Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioact Mater* 2020;5:110-5.
 17. Hamama HH. Recent advances in posterior resin composite restorations. *Appl Nanocompos Mater Dent* 2019:319-36.
 18. Meshref AA, Mazen AA, El-Giushi MA, Ali WY. Wear behavior of hybrid composite reinforced with titanium dioxide nanoparticles. *J Adv Engineer Trends* 2020;39:89-101.
 19. Xia Y, Zhang F, Xie H, Gu N. Nanoparticle-reinforced resin-based dental composites. *J Dent* 2008;36:450-5.
 20. Zhang Z, Breidt C, Chang L, Hauptert F, Friedrich K. Enhancement of the wear resistance of epoxy: short carbon fibre, graphite, PTFE and nano-TiO₂. *Compos Part A: Appl Sci Manuf* 2004;35:1385-92.
 21. Atay A, Piskin B, Akin H, Sipahi C, Karakas A, Saracali MA. Evaluation of *Candida albicans* adherence on the surface of various maxillofacial silicone materials. *J Mycol Med* 2013;23:27-32.
 22. Calderone RA. Recognition between *Candida albicans* and host cells. *Trends in microbiol* 1993;1:55-8.
 23. Reijnders L. The release of TiO₂ and SiO₂ nanoparticles from nanocomposites. *Polymer Degrad Stab* 2009;94:873-6.

이산화티타늄 나노입자를 함유한 3D 프린팅 의치상 레진의 항진균성 및 굽힘 강도에 대한 연구

윤석원·조영은*

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 디지털 기술이 발전함에 따라 3D 프린팅 기술이 의치상 제작에 활용되고 있으나 적층 제조의 특성상 의치상 표면에 미생물 부착이 증가한다는 단점이 있다. 본 연구는 3D 프린팅 의치상 레진의 항진균성을 개선하기 위하여, 이산화티타늄 나노입자를 각기 다른 중량비로 첨가하였을 때 균사 형태의 *Candida albicans*에 대한 의치상 레진의 항진균성과 그에 따른 굽힘 강도의 변화에 대해 알아보려고 하였다. **재료 및 방법:** 항진균성을 평가하기 위해 3D 프린팅 레진에 이산화티타늄 나노입자를 0.5, 1, 1.5, 2 wt%의 중량비로 혼합하고, 이산화티타늄 나노입자를 포함하지 않은 대조군을 포함해 5개 군을 직경 20 mm 높이 3 mm의 원기둥 형태의 형태로 각각 20개씩 출력하였다. Autogrinder를 이용하여 10개는 연마를 시행하였고, 나머지 10개는 연마를 시행하지 않았다. 각 시편에 균사 형태의 *C.albicans*를 접종하고, 흡광도와 집락수를 분석하였고, 시편의 표면을 주사전자현미경으로 관찰하였다. 또한, 굽힘 강도 비교를 위해 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 0.5, 1, 1.5, 2 wt%의 중량비로 혼합하고, 길이 64 mm, 높이 10 mm, 폭 3 mm 형태 (ISO 20795-1)의 시편을 각 군당 20개씩 출력하였고, 만능시험기로 3점 굽힘 강도 시험을 시행하였다. **결과:** *C.albicans*의 집락수와 배양액의 흡광도는 연마를 시행하지 않은 군에서 차이가 없었으나, 연마를 시행한 군에서는 대조군에 비해 감소하였다. 굽힘 강도는 이산화티타늄 나노입자 농도 0, 1, 1.5 wt%에서 증가하였으나 2 wt%에서 1.5 wt%에 비해 감소하였다. **결론:** 3D 프린팅 의치상 레진에 이산화티타늄 나노입자를 1.5 wt% 첨가하였을 때, 의치상 레진의 항진균성과 굽힘 강도가 증가하였다. (대한치과보철학회지 2024;62:95-103)

주요단어

3D 프린팅; 굽힘 강도; 의치상; 이산화티타늄; 집락수

교신저자 조영은
31116 충남 천안시 동남구 단대로 119
단국대학교 치과대학 치과보철학교실
041-550-1924
yecho77@hanmail.net

원고접수일 2023년 12월 28일
원고최종수정일 2024년 1월 25일
원고채택일 2024년 2월 14일

© 2024 대한치과보철학회
© 이 글은 크리에이티브 커먼즈
코리아 저작자표시-비영리
4.0 대한민국 라이선스에
따라 이용하실 수 있습니다.