



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014년 8월

석사학위 논문

의치상 재료에 따른 색 안정성, 수분흡수율 및 세포독성에 대한 연구

장대은

2014년 8월  
석사학위 논문

# 의치상 재료에 따른 색 안정성, 수분흡수율 및 세포독성에 대한 연구

조선대학교 대학원

치의생명공학과

장대은

의치상 재료에 따른 색 안정성,  
수분흡수율 및 세포독성에 대한  
연구

Color Stability, Water Sorption and Cytotoxicity of  
Three Denture Base Materials : In Vitro Study

2014년 8월 25일

조선대학교 대학원

치의생명공학과

장 대 은

의치상 재료에 따른 색 안정성,  
수분흡수율 및 세포독성에 대한  
연구

지도교수 손 미 경

이 논문을 치의학 석사학위신청 논문으로 제출함

2014년 4월

조선대학교 대학원

치 의 생 명 공 학 과

장 대 은

# 장대은의 석사학위 논문을 인준함

위원장    조선대학교    교수    장 현 선    (인)

위    원    조선대학교    교수    김 희 중    (인)

위    원    조선대학교    교수    손 미 경    (인)

2014년 5월

조선대학교 대학원

# 목 차

표 목 차.....	ii
도 목 차.....	iii
영문초록.....	iv
I. 서 론.....	1
II. 연구 재료 및 방법 .....	4
III. 연구 결과 .....	9
IV. 총괄 및 고찰 .....	15
V. 결 론 .....	19
참고문헌 .....	20

# 표 목 차

Table 1. Materials and components used in the study .....	4
Table 2. Molding and curing methods of denture base resins by manufacturers .....	5
Table 3. Mean and Standard deviation of color difference after 1 and 8 weeks immersion in Beverages. ....	9
Table 4. Result of 2-way ANOVA of color changes before and 1 weeks after immersion ( $\Delta E_{T_0T_1}$ ) .....	10
Table 5. 1-way ANOVA using a Tukey HSD multiple comparison test .....	10
Table 6. Result of 2-way ANOVA of color changes before and 8 weeks after immersion( $\Delta E_{T_0T_2}$ ) .....	11
Table 7. 1-way ANOVA using a Tukey HSD multiple comparison test .....	11
Table 8. Mean values and standard deviation of water sorption ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) .....	11

# 도 목 차

Fig. 1. Mean color differences( $\Delta E$ ) and standard deviation .....	9
Fig. 2. Result of cell viability assay after 1 and 6 days of the hGF cultured with Denture base resins .....	12
Fig. 3. FE-SEM images of the specimen's surface before cell attachments .....	13
Fig. 4. FE-SEM images of hGF cultured on the specimens after 1 day .....	13
Fig. 5. FE-SEM images of hGF cultured on the specimens after 6 days .....	14
Fig. 6. FE-SEM images of hGF cultured on the specimens after 10 days .....	14



# ABSTRACT

## Color Stability, Water Sorption and Cytotoxicity of Three Denture Base Materials : In Vitro Study

Jang, Dae-Eun

Advisor : Prof. Son, Mee-Kyoung D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dental Bio Engineering

Graduate School of Chosun University

**Purpose:** The aim of this study was to compare the color stability, water sorption and cytotoxicity of thermoplastic denture base resins for the non metal clasp dentures to those of conventional heat-cured denture base resin.

**Methods:** Three denture base resins, which are conventional heat-cured acrylic resin (Paladent 20), thermoplastic acrylic resin (Acrytone), thermoplastic polyamide resin (Bio Tone), were used as materials of this study. Forty five specimens of each three group were fabricated. For the color stability test, specimens were immersed in the coffee, wine, green tee and water for 1 and 8 weeks. Color change was measured by spectrometer. Water sorption also tested after 1 and 8 weeks immersion in the water. For the test of cytotoxicity, cell viability assay was measured and cell attachment was analyzed by FE-SEM.

**Results:** In color stability test, all type of denture base resins showed color changes after 1 and 8 weeks immersion. However, there was no significant difference between denture base resins. There was difference between immersion solution. All resins show significant color changes in the coffee. In water sorption test, thermoplastic acrylic resin showed lower

values than conventional heat-cured acrylic resin and thermoplastic polyamide resin. In cell viability assay, thermoplastic polyamide resin showed most abundant cell attachment than conventional heat-cured acrylic resin in 1, 6 and 10 days. Thermoplastic acrylic resin showed similar cell attachment but more stable attachment compare to conventional heat-cured acrylic resin.

**Conclusions:** Color stability, water sorption and cytotoxicity of thermoplastic acrylic resin and thermoplastic polyamide resin for the non metal clasp denture showed similar or better results than conventional heat-cured acrylic resin. Therefore, these thermoplastic resins seem to be used in the mouth with long term stability.

**Keywords:** denture base resin, color stability, water sorption, cell viability assay

# I. 서 론

최근 심미적 치과치료에 대한 환자의 기대 수준이 매우 높아짐에 따라, 가철성 국소의치 환자에서도 금속 프레임 특히, 금속 클라스프(metal clasp)의 노출로 인한 비심미성에 대한 불만이 점차적으로 증가되고 있다. 이러한 이유로, 기존의 열중합 PMMA 레진 대신 탄성을 가진 열가소성 레진으로 제작하는 non metal clasp denture가 대체 치료 방법(alternative treatment options)으로 소개되었다.

non metal clasp denture는 클라스프가 금속이 아닌 탄성을 가진 의치상 레진으로 제작됨으로서 심미적이고 금속으로 인한 알레르기가 없으며 추가적인 보철치료나 치아 삭제가 없이도 제작이 가능하며 진료시간(chair time)이 줄어드는 장점이 있다.<sup>1</sup> 이러한 장점으로 인해 심미성이 요구되는 전방부의 국소의치 증례뿐 아니라 복잡한 국소의치 제작 과정을 견디기 힘든 고령 환자나 장애인, 성장기 환자, 임플란트 식립 후 임시의치 제작증례 등에서 선택적으로 사용되고 있다.

non metal clasp denture를 위한 대표적인 열가소성 의치상 레진 재료로는 폴리아마이드 레진(Polyamide resin), 폴리카보네이트 레진(Polycarbonate resin), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate resin) 등이 소개되어 왔다.<sup>2</sup> 이 중 나일론 중합체로 불리는 폴리아마이드 레진은 1950년대 처음 의치상 재료로 사용되었다.<sup>3-5</sup>

폴리아마이드 레진은 diamine과 dibasic acid의 축중합에 의해 생성되며, PMMA가 무정형(amorphous)인 반면 폴리아마이드는 결정형 고분자(crystalline polymer)로서 낮은 용해도, 높은 열 저항성 및 유연성, 높은 강도, 우수한 주형적합성을 가짐으로서 탄성의치에 많이 사용되어왔다.<sup>5-7</sup> 하지만, 의치상 하방 골의 부가적인 흡수로 인해 침상이 필요할 때 폴리아마이드 레진은 일반 PMMA 아크릴 레진과 달리 침상이 불가능한 단점이 있다.

이러한 문제를 극복하기 위하여 최근에는 non metal clasp denture 에 사용할 수 있는 가압주사식 열가소성 PMMA 레진이 소개되었다. 대표적인 재료인 Acrytone은 자가 및 열중합 침상레진과 같은 PMMA 성분을 함유하고 있

어 침상이 가능하다는 장점을 가짐으로서 기존 탄성의치의 단점을 보완할 수 있다.<sup>8</sup>

의치상 레진이 갖춰야 할 조건으로는 심미성 및 색 안정성, 체적 안정성, 낮은 수분 흡수율, 제작의 용이성 및 생체 적합성 등을 들 수 있다. 의치상 레진의 색 안정성은 장기적인 의치의 심미성에 영향을 준다. 의치상 레진이 착색이 잘 되고 색 안정성이 낮은 경우는 환자의 불만을 야기하고 의치 재제작의 원인이 될 수 있다.<sup>9</sup> 따라서 다양한 구강 조건이나 외부 착색 요인에 대해 색 안정성을 유지할 수 있는 재료의 선택이 의치의 수명을 위해 중요하다.

의치상 레진의 수분 흡수는 의치의 변색 및 구취를 야기할 수 있고 체적 불안정성을 야기하여 내부 응력을 발생시켜 결국 의치의 균열이나 파절을 야기할 수 있다.<sup>10,11</sup> 즉, 재료의 수분 흡수율이 높은 경우 재료의 물성 변화를 야기하여 구강 내 사용 수명을 감소시키므로 재료들의 수분흡수는 가급적 작아야 한다.<sup>12</sup>

의치상은 구강 점막과 직접 접촉하므로 과민반응을 야기하거나 독성물질이 유리되지 않는 생체적합성을 갖는 재료의 사용이 필수적이다. 기존 아크릴 레진은 중합 후 반응하지 못하고 남은 단량체의 존재가 알레르기를 일으키는 문제가 제기되었다.<sup>13</sup> 따라서 단량체를 감소하거나 없애기 위한 재료 및 중합 방법들이 소개되고 이러한 생체적합성이 의치상 재료의 매우 중요한 조건으로 알려져 있다.

non metal clasp denture를 위해 소개되어 사용되고 있는 다양한 종류의 레진들도 이러한 의치상 재료의 기본적인 조건들을 갖추어야 장기적인 보철물의 성공과 구강건강을 이룰 수 있다. 따라서 non metal clasp denture를 위한 의치상 재료들의 물성이나 구강 내 사용 시 장기적 안정성에 대한 연구들이 진행되고 있지만 아직까지도 매우 제한적이며 특히, 구강 내 다양한 환경에서의 색 안정성이나 재료의 수분흡수율 및 세포 독성 등에 대한 연구는 매우 드문 것이 현실이다. 심지어는 이러한 특성들이 명확하게 규명되지 않은 상태에서 단지 술자의 선호도나 임상 경험을 바탕으로 임상에서 이미 사용되기도 한다.

본 연구의 목적은 최근 non metal clasp denture에 사용되고 있는 가압주사

식 열가소성 아크릴 레진과 가압주사식 폴리아마이드 레진의 색 안정성, 수분흡수율 및 세포독성을 기존 의치에 사용되는 열 중합 아크릴 레진과 비교해 봄으로서 임상적 사용의 유용성을 알아보려고 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

본 연구에서는 3종의 의치상 재료로서 PMMA를 주성분으로 한 일반 열중합 아크릴 레진인 Paladent 20, PMMA를 주성분으로 한 열가소성 아크릴 레진인 Acrytone, 그리고 열가소성 폴리아마이드 레진인 Bio Tone을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 세 가지 의치상용 레진의 종류와 구성성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Materials and Components used in the study

Brand Names (Code)	Main Components			Manufacturer
	Powder	Liquid	Primer	
Paladent 20	PMMA	MMA	-	Heraeus Kulzer, Hanau, Germany
Acrytone	PMMA	MMA	-	High - Dental-Japan, Osaka, Japan
Bio Tone	Polyamide	-	-	High - Dental-Japan, Osaka, Japan

### 2. 연구 방법

#### 1) 의치상 시편 제작 (Specimens Fabrication)

3종의 각기 다른 의치상용 레진을 이용한 실험 시편은 직경 20mm, 두께 1mm의 디스크 형태로 제조사가 지시한 의치상 중합방법에 따라 제작되었으며(Table 2), 실험을 위해 의치상 종류별로 45개씩 총 135개의 시편이 준비되었다. 제작된 시편의 연마는 각 의치상 재료의 연마에 추천되는 방법을 사용하였다.

Table 2. Molding and Curing Methods of Denture Base Resins by Manufacturers.

Brand Names (Code)	Molding method	Curing method
Paladent 20	Compression molding	Heat processed at 80°C/15min, Boiling water/20min  260°C melting/25min
Acrytone	Injection molding	Injection at 0.7MPa Cooling under pressure (30min in air, 30min in water)
Bio Tone	Injection molding	300°C melting Injection at 0.7MPa Cooling under pressure

## 2) 색 안정성 실험 (Color Stability Test)

제작된 시편 중 의치상 종류별로 각각 30개씩 총 90개의 시편이 색 안정성 실험을 위해 사용되었다. 각 시편은 측정이 필요하지 않은 한쪽 면에 1부터 40까지 숫자를 기록하여 구분하였다. 이들 시편은 10개씩 4개의 그룹으로 나누어 네 가지 다른 음료(커피, 녹차, 와인, 증류수)에 두 달간 침전되었다.

커피 용액은 250ml의 끓인 증류수에 15g의 커피(Maxim original, Dongsuh, Korea)를 넣고 10분간 저은 후, 여과지에 통과시켜 제조하였다. 녹차 용액은 250ml의 끓인 증류수에 5개의 녹차 티백(Dongsuh, Korea)을 10분간 침전시켜 제조하였다. 적포도주(Table Mountain Natural Sweet Red, Distell Co, South Africa)와 증류수도 250ml를 준비하였으며 4가지 음료는 각각 20개의 200ml 용기에 50ml 씩 넣고 각 의치상 종류 별로 2개씩의 시편을 침전시켰으며, 용기 내에서 시편 간 접촉이 발생하지 않도록 최대한 주의하여 침전시켰다. 시편이 침전된 용기는 실온 암실에서 2개월 동안 보관되었다.

시편의 색은 분광색차계(SpectroShade™ Micro, MHT, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 먼저 각 시편을 음료에 침전하기 전에 색상을 측정, 기록하였고 시편을 각각의 음료에 침전한 후 1주 후에 음료에서 꺼내어 증류수에 세척한 다음 티슈페이퍼로 표면을 닦고 다시 색을 측정하여 기록하였다. 측정 후 각 시편은 원래의 용기 내로 다시 침전되었으며 8주 후에 다시 동일한 방법으로 색을 측정하였다. 측정 부위에 따른 오차를 줄이기 위하여 각 시편의 측정은 3번씩 임의 위치에 대해 측정하여 평균값을 기록하였으며, 각 수치는 CIE Lab 시스템을 이용하여 기록되었다. 침전 전과 각 측정 시기의 색 변화는 색차( $\Delta E$ )로 기록되었으며, 계산하는 방법은 다음과 같다.<sup>14</sup>

$$\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$$

$L^*$  : white 와 black의 정도,  $\Delta L = L_t - L_0$

$a^*$  : redness와 greenness의 정도,  $\Delta a = a_t - a_0$

$b^*$  : yellowness와 blueness의 정도,  $\Delta b = b_t - b_0$

( $L_t, a_t, b_t$  : 침전 후 측정시기에서의 수치 /  $L_0, a_0, b_0$  : 침전 전 수치)

측정된 값은 의치상 레진의 종류와 용액에 따른 차이를 비교하기 위해 2-Way ANOVA를 이용하여 침전 시간에 따라 통계 분석하였다. 유의한 차이가 나타난 경우에는 1-way ANOVA 와 Tukey HSD multiple comparison test를 시행하였다 ( $\alpha=0.05$ ).

### 3) 수분 흡수율 실험 (Water Sorption Test)

제작된 시편 중 의치상 종류별로 각각 10개씩 총 30개의 시편이 수분 흡수 실험에 사용되었다. 실험 전 각 시편의 직경과 두께가 전자 caliper를 이용하여 측정되었으며, 이를 바탕으로 시편의 부피( $v$ )가 계산되었다. 시편을 건조기에서 24시간 보관하였다가 꺼내어 전자저울에 올려놓은 후 일정한 무게가 유지될 때의 무게를 측정하였으며( $W_1$ ) 이후 항온 수조(37°C)를 이용하여 실온의 증류수에 보관하였다. 침전 1주와 8주 경과 후 의치상 종류별로 각각 5개씩의 시편을 증류수에서 꺼내어 티슈페이퍼로 닦고 30초 경과 후 일정 무



계에 도달했을 때의 무게를 기록하였다( $W_2$ ). 수분 흡수율은 침전 후 시편의 부피당 증가된 질량이며<sup>15</sup> 다음의 공식에 따라 계산되었다.<sup>16</sup>

$$\text{수분 흡수도} : (\Delta W_{\text{sorp}}) = (W_2 - W_1) / V \quad (\text{단위} : \mu\text{g}/\text{mm}^3)$$

측정된 수분 흡수율의 의치상 재료간의 유의적 차이를 평가하기 위해 2-way ANOVA를 이용해 통계 분석하였으며, 유의한 차이가 나타난 경우는 1-way ANOVA와 Tukey HSD multiple comparison test를 이용해 분석하였다 ( $\alpha = .05$ ).

#### 4) 세포 독성 실험 (Cytotoxicity Test)

의치상 재료의 세포 독성을 확인하기 위해서 세포 생존율 실험(Cell viability assay)과 세포부착 실험(Cell attachment test)을 시행하였다. 제작된 시편 중 각 2개씩 총 6개의 시편이 세포 생존율 실험을 위해 사용되었다. 실험에 앞서, 시편들을 순수 아세톤 액이 담긴 초음파 소독기로 10분씩 처리한 다음 알코올로 닦은 후 증류수로 세척하였다. 그 후 세포 배양실험을 위해 각 샘플들은 각각 별도로 포장되어 고온고압 멸균기를 이용해 멸균을 시행하였다.

##### 4-1) 세포 분리 및 배양

세포는 임플란트 2차 수술을 위해 절개된 환자의 조직으로부터 치은 섬유아세포(human gingival fibroblast cells ; hGF)를 추출하였다. 치은 섬유아세포는 10% fetal bovine serum(FBS)과 1% 항생제-항진균제가 첨가된 DMEM 배지(Welgene Inc., South Korea)에서 배양되었다. 내부 공기 중의  $\text{CO}_2$  농도가 5%로 유지되는 세포배양 항온기(5%  $\text{CO}_2$ , 95% air, 37°C)에서 배양되었으며, 배지는 2일 마다 교체해주었다. 세포는 5세대의 치은 섬유아세포가 사용되었다.

#### 4-2) 세포생존을 평가

12-well plate에  $1.8 \times 10^4$  cell/well의 세포를 분주한 다음 이를 세포 배양 항온기에서 24시간 배양한 다음 각 well에 각각의 시편을 넣고 1일과 6일 동안 배양하였다. 세포는 10 % FBS와 항생제-항진균제가 함유된 DMEM으로 배양하였다. 실험샘플에 대한 치은 섬유아세포 성장과 생존에 대한 영향은 EZ-Cytox Enhanced Cell Viability Assay Kit (Daeillab service co., Seoul, South Korea)를 이용하여 측정하였다. 실험은 제조자의 안내서에 따라 행해졌다. 세포에 적용된 시편을 제거 후 EZ-Cytox reagent 10 $\mu$ l를 각 well에 첨가한 다음, 4시간 동안 배양한 후 microplate reader(Bio-Tek Instrument, Winooski, USA)를 사용하여 450nm 파장에서의 흡광도(OD: optical density)를 측정하였다.

#### 4-3) 세포 부착율 평가

시간에 따른 시편 표면에 대한 세포 부착율을 확인하기 위해 12-well plate에 시편을 각각 위치시킨 후, 각각의 시편 위에 세포를  $6 \times 10^4$  cell/well씩 위치시켜 1일, 6일, 10일 동안 배양하였다. 세포는 10 % FBS와 항생제-항진균제가 함유된 DMEM으로 배양하였다. 각 샘플에서 세포를 배양한 지 1, 6, 10일이 경과한 후, 부착정도를 관찰하기 위하여 시편위에 배양된 세포를 2.5 % glutaraldehyde로 고정시켰다. 각 시편위에 배양된 세포를 x1000 배율의 FE-SEM(HITACHI S-4800, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 색 안정성 실험 결과

세 가지 종류의 의치상 레진 시편을 네 가지 종류의 음료(커피, 녹차, 적포도주, 증류수)에 1주( $T_0T_1$ )와 8주( $T_0T_2$ ) 침전시켰을 때 색변화의 평균  $\Delta E$  값은 Table 3 및 Fig. 1과 같다.

Table 3. Mean and Standard deviation of color difference after 1 and 8 weeks immersion in Beverages.

	Paladent 20	Acrytone	Bio Tone	Paladent 20	Acrytone	Bio Tone
	Coffee			Tea		
$\Delta E_{1W}$	5.33(0.70)	4.01(0.94)	5.03(2.57)	1.75(0.58)	1.98(0.92)	2.11(0.69)
$\Delta E_{8W}$	6.29(2.82)	8.68(2.72)	8.14(3.15)	3.21(1.23)	3.44(1.89)	3.17(0.75)
	Red wine			Water		
$\Delta E_{1W}$	3.11(1.86)	3.18(1.47)	3.14(1.29)	1.83(0.64)	1.95(0.72)	2.75(0.54)
$\Delta E_{8W}$	3.63(1.19)	3.66(1.45)	5.74(1.58)	4.19(1.06)	2.80(1.34)	3.53(0.80)

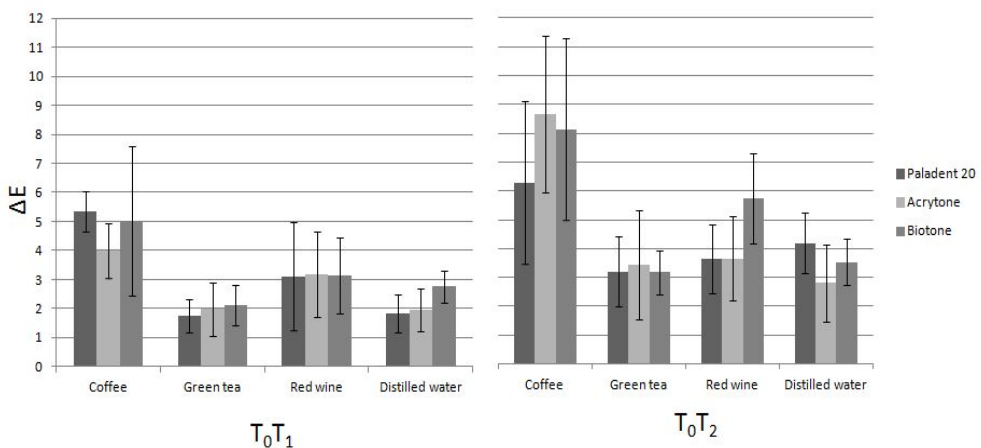


Fig 1. Mean color differences( $\Delta E$ ) and standard deviation

통계분석에 따르면, 침전 전과 침전 1주후 색 변화( $\Delta ET_0T_1$ )는 의치상 재료 간에는 차이가 나타나지 않았고 침전 음료에 따라서는 커피에서 가장 심한 착색이 관찰되었고 다른 음료에서와 유의적인 차이를 나타냈다. 커피 다음으로는 적포도주에서 착색이 많이 나타났다 (Tables 4, 5).

침전 8주 후 세 가지 의치상 재료 모두 침전 1주 후 보다 색 변화가 더 진행되었다. 침전 8주 후 색 변화( $\Delta ET_0T_2$ )는 의치상 재료 간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 침전 음료에 따라서는 모든 의치상 재료가 커피에서 가장 심한 착색을 보였고 다른 음료에서의 색 변화와 유의적인 차이를 나타냈다. 다음으로는 적포도주에서 착색이 많이 일어났으나 녹차나 증류수에서의 색 변화와는 유의적 차이가 관찰되지 않았다 (Tables 6, 7).

Table 4. Result of 2-way ANOVA of color changes before and 1 weeks after immersion ( $\Delta ET_0T_1$ )

Source	df	SS	MS	F	<i>p</i> value
Denture Base Resin	2	3.305	1.653	1.091	0.341
Beverages	3	105.061	35.02	23.12	0 *
A × B	6	7.485	1.247	0.824	0.555
Error	72	109.059	1.515		
Total	83	224.91			

\* indicate statistically significant difference ( $p < .05$ )

Table 5. 1-way ANOVA using a Tukey HSD multiple comparison test

Beverages	Coffee	Green Tea	Wine	Water
Coffee		0*	0*	0*
Green Tea			0.013*	0.927
Wine				0.063

\* indicate statistically significant difference ( $p < .05$ )

Table 6. Result of 2-way ANOVA of color changes before and 8 weeks after immersion( $\Delta ET_0T_2$ )

Source	df	SS	MS	F	P value
Denture Base Resin	2	9.356	4.678	1.463	0.238
Beverages	3	264.862	88.287	27.618	0*
A × B	6	40.164	6.694	2.094	0.064
Error	72	230.162	3.197		
Total	83	544.545			

\* indicate statistically significant difference ( $p < .05$ )

Table 7. 1-way ANOVA using a Tukey HSD multiple comparison test

Beverages	Coffee	Green Tea	Wine	Water
Coffee		0*	0*	0*
Green Tea			0.218	0.973
Wine				0.435

\* indicate statistically significant difference ( $p < .05$ )

## 2. 수분 흡수율 실험 결과

세 가지 종류의 의치상용 레진 시편을 1주부터 8주까지 물에 침전한 후 시간 경과에 따라 나타난 수분 흡수율은 Table 8과 같다. 수분 흡수율은 1주와 8주 모두 Acrytone이 가장 낮은 수분 흡수 정도를 보였으며 Paladent 20 과 Bio Tone은 유사한 수분 흡수율을 보였다.

Table 8. Mean values and standard deviation of water sorption ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ )

	Paladent 20	Acrytone	Bio Tone
$\Delta W_{\text{sorp}} - 1\text{wk}$	28.31±0.83 <sup>a</sup>	22.91±0.78 <sup>b</sup>	27.69±0.58 <sup>a</sup>
$\Delta W_{\text{sorp}} - 8\text{wk}$	29.03±2.26 <sup>a</sup>	24.92±1.08 <sup>b</sup>	30.06±0.48 <sup>a</sup>

\* different superscripts indicate significantly difference ( $p < .05$ )

### 3. 세포독성 실험 결과.

#### 3-1. 세포 생존율 실험(Cell viability assay)결과

시편의 세포 생존율 실험 결과는 Fig 2와 같다. cell viability assay는 세포의 생존율을 알아보는 실험으로서 살아있는 세포가 많을수록 흡광도가 높게 나타난다. 1일과 6일에서 의치상 레진에 대한 세포 생존율은 시편을 넣지 않은 대조군과 비교하였을 때 유사한 흡광도를 보임으로서 세 가지 의치상 레진의 세포독성은 매우 낮은 것으로 분석된다. 세 가지 의치상내에서의 세포 생존율을 비교해 보면, Bio Tone과 Acrytone은 시간이 지남에 따라 흡광도가 증가함으로서 세포 활성도가 증가함을 알 수 있었으나 Paladent 20은 시간이 지남에 따라 세포 활성도가 약간 감소하였고 또한, 6일에서 Bio Tone과 Acrytone 보다 더 낮은 세포 활성도를 보였다.

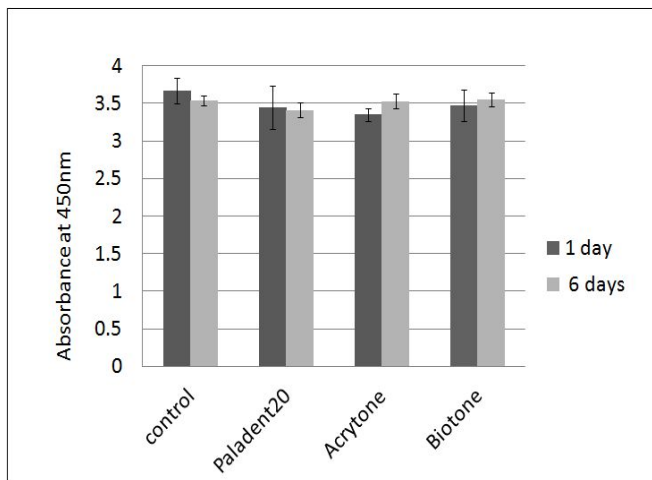


Fig. 2. Result of cell viability assay after 1 and 6 days of the hGF cultured with denture base resins

#### 3-2. 세포 부착 실험(Cell attachment test) 결과

실험 전 시편의 표면을 FE-SEM으로 관찰한 결과, Bio Tone이 가장 부드러운 표면양상을 보였다 (Fig 3). 배양 1일후 Bio Tone은 가장 풍부한 세포 부착을 보였고 Acrytone은 중등도의 세포부착양상을 보였으며 Paladent 20은

상대적으로 약한 부착을 보였다 (Fig 4). 배양 6일후, Bio Tone 표면에서 가장 풍부한 hGF 세포 부착이 관찰되었으며 다층 부착 양상을 보였다(Fig 5). 배양 10일후, Bio Tone이 가장 풍부한 세포 부착을 보였고 Acrytone과 Paladent 20은 유사한 세포 부착정도를 보였으나 Acrytone이 Paladent 20 보다 더 안정적인 세포부착 양상을 보였다(Fig 6).

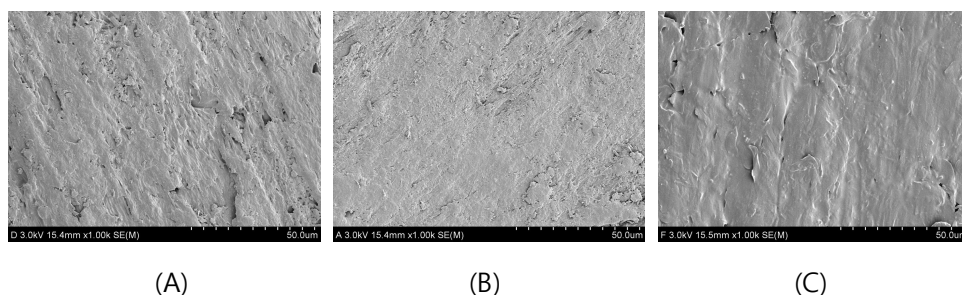


Fig. 3. FE-SEM images of the specimen's surface before cell attachments ( $\times 1000$ ). (A) Paladent 20 (B) Acrytone (C) Bio Tone.

The specimen of Bio Tone showed most smooth surface. The specimen of Paladent 20 showed rough surface patterns and small pores.

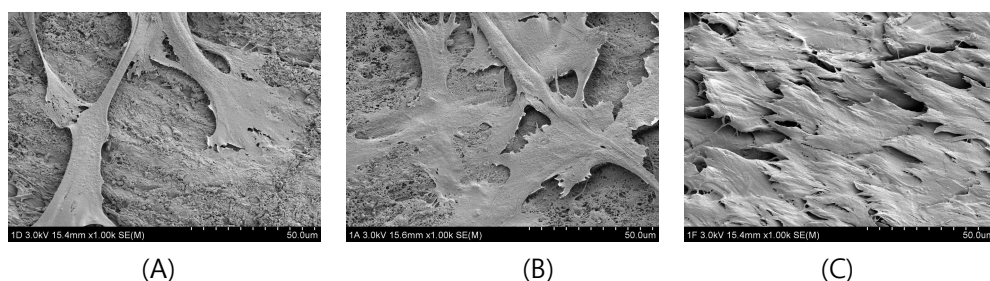


Fig. 4. FE-SEM images of hGF cultured on the specimens after 1 day ( $\times 1000$ ). (A) Paladent 20 (B) Acrytone (C) Bio Tone.

The surface of Bio Tone showed most abundant hGF cell attachments. The surface of Acrytone showed moderate cell attachment appearance, and Paladent 20 showed a relatively weak cell attachments.

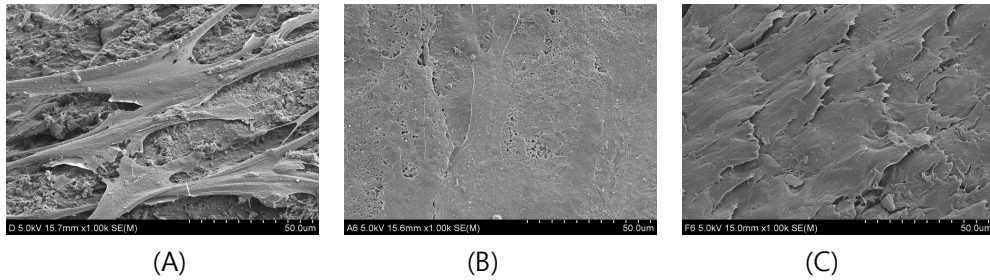


Fig. 5. FE-SEM images of hGF cultured on the specimens after 6 days ( $\times 1000$ ). (A) Paladent 20 (B) Acrytone (C) Bio Tone.

The surface of Bio Tone showed most abundant hGF cell attachments. The hGF showed a multi-layer morphology on the Bio Tone surface.

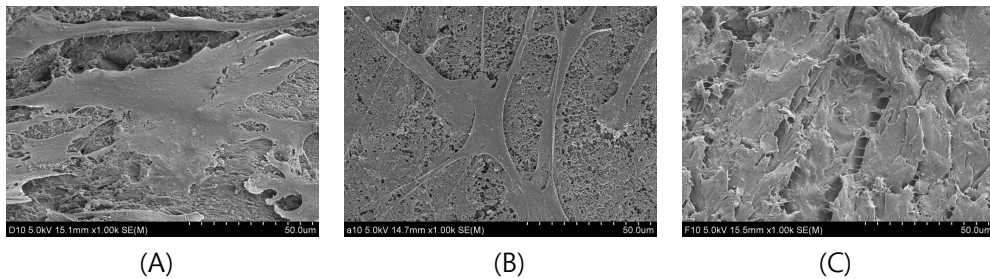


Fig. 6. FE-SEM images of hGF cultured on the specimens after 10 days ( $\times 1000$ ). (A) Paladent 20 (B) Acrytone (C) Bio Tone.

The surface of Bio Tone showed most abundant hGF cell attachments. The hGF showed similar attachment on the Acrytone and Paladent 20. However, the hGF cultured on the Acrytone showed more stable attachment than on the Paladent 20.



## IV. 총괄 및 고찰

의치상의 색 변화를 측정하는 방법은 시각적 방법, 디지털 분석방법, 사진 슬라이드 투사법, 시각화하여 순위를 기록하는 방법, 색상 가이드를 대조하는 방법 등이 있다.<sup>17,18</sup> 이 중 본 연구에서 사용한 분광색차계를 이용한 방법은 디지털 분석방법 중의 하나로서 색상을 평가하는데 있어 관찰자의 주관적인 에러를 제거하여 더 정확하므로 의치상 색 변화를 확인하는데 주로 사용되고 있다.<sup>19,20</sup> 색상차이를 평가함에 있어서는 색을 객관적으로 표현할 수 있는 먼셀 표색계와 CIE Lab 표색계를 사용하는데 본 연구에서 사용한 CIE Lab 표색계 방법은 광원색을 포함하는 모든 색을 나타내며 인간의 감각에 의존하지 않아 가장 과학적인 표색법으로서 재료의 색상 차이를 평가함에 있어 주로 추천된다.<sup>9,17</sup>

의치상 레진은 시간이 지남에 따라 내재성(intrinsic) 또는 외재성(extrinsic) 요인들에 의해 색 변화가 야기된다.<sup>21-23</sup> 의치상의 내재성 변색은 온도나 습도 변화에 오랜 시간 노출됨으로서 생기는 재료의 기질 변화에 의하며<sup>22,23</sup> 외재성 요인에 의한 변색은 외부 물질의 흡수나 흡착에 의해 야기된다.<sup>22,24</sup> 이 외에도 얼룩의 침착(stain accumulation), 탈수, 수분 흡수, 재료 성분의 누출(leakage), 재료 표면의 거칠기나 마모, 화학적 또는 시간에 따른 변성, 산화와 같은 다른 요인들도 색 변화의 원인으로 알려져 있다.<sup>25</sup> 이러한 요인들에 의한 의치상 색 변화는 재료 자체가 갖는 색 안정성의 문제보다는 외재성 요인에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 보고되고 있으며,<sup>25-27</sup> 따라서, 본 연구에서도 음료에 각각의 의치상 레진 시편을 침전하여 색상의 변화를 관찰함으로써 외재성 요인에 의한 재료의 색 안정성을 실험하였다.

물질의 흡수나 흡착에 의한 레진 재료의 착색에 대한 많은 연구들이 보고되어 왔으며<sup>25,28</sup> 특히, 기존 연구들에 따르면 아크릴 레진이나 나일론 의치상은 물이나 공기에서는 색 안정성을 보이는 반면<sup>17,29</sup> 커피, 차, 와인과 같은 음료에 침전 시에는 색 변화가 야기된다고 하였다.<sup>9</sup> 본 연구에서도 모든 레진 시편들은 음료에 1주 또는 8주 침전 시 침전 전과 비교하여 색 변화가 관찰되었다. 음료에 따른 차이에 대한 연구들 중 Spulveda-Navarro 등<sup>17</sup> 은 열중

합 아크릴 레진과 나일론 의치상의 색 안정성을 측정한 실험에서 적포도주에서 가장 큰 착색을 보였고 커피는 두 번째로 나타났으며 두 가지 재료 모두 영향을 받았다고 보고한 바 있다. 또한 Guler 등<sup>30</sup> 과 Rutknaas 등<sup>31</sup>의 연구에도 적포도주 그룹에서 가장 큰 색상 변화가 관찰되었다. 이러한 연구들은 적포도주내의 알콜 성분과 산성 pH가 레진 매트릭스를 연화시키거나 레진의 구조에 영향을 미침으로서 착색을 촉진한다고 설명하고 있다.<sup>19</sup> 하지만, 본 연구에서는 적포도주보다 커피에서 오히려 더 큰 색 변화가 관찰되었다. 본 연구에 사용한 적포도주의 pH는 3.52 이고 알콜 함량이 7.5%로 기존 연구들에서 사용한 적포도주와 산도는 유사하지만 알콜 함량(10%이상)이 더 낮아 실제 레진 기질을 연화시키는 영향이 더 적으므로 다른 결과가 나타났을 것으로 판단된다. 알콜 함량 및 pH가 정확히 레진 기질에 어느 정도의 영향을 미치는지는 표면 변화 측정과 같은 추가적인 연구를 통해 검증이 필요할 것으로 판단된다. 커피와 차에 함유된 타닌산(tannic acid, C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>O<sub>9</sub>)은 수용성이고 갈색 착색을 유발한다고 알려져 있다.<sup>30</sup> 커피와 차에서의 색상변화에 대한 기존의 연구들은 약간씩 다른 결과를 보여준다. 일부 논문은 커피에 포함된 황색 색소가 녹차에 함유된 황색색소보다 더 작은 극성을 띄므로 커피보다 차에서 더 큰 변색이 있다<sup>32</sup>고 보고하고 있는 반면, 다른 논문들은 커피가 차보다 더 큰 착색을 일으킨다고 하였다.<sup>27</sup> 또 커피에 의한 중합체의 착색은 다른 극성을 갖는 황색색소의 존재에 기인하며 녹차에 의한 의치상 레진의 색 변화가 주로 흡착(adsorption)에 의한 것인 반면 커피에 의한 색변화는 흡착(adsorption)과 색소와 재료의 호환(compatibility)에 따른 흡수(absorption)에 의한 복합적 작용이므로 더 많은 영향을 준다고 하였다.<sup>17</sup> 이와 같이 기존 연구들에서 음료에 대한 착색의 민감도가 차이가 있는 것은 아마도 연구마다 사용한 레진의 종류나 중합방법, 시편의 표면 거칠기나 다공성의 정도, 실험에 사용된 음료의 성분이나 제조 방법 등이 약간씩 다르기 때문에 나타나는 차이일 것으로 판단된다.

재료의 색 안정성에 영향을 주는 다른 요인들로는 재료의 친수성/소수성<sup>32,36</sup>, 재료의 다공성이나 표면 거칠기 등<sup>1,33</sup>이 있다. 높은 수분흡수율을 갖는 친수성의 재료는 수용성 용액 내 친수성 색소에 의해 착색이 된다.<sup>32</sup> 만약 의

치상 레진이 수분을 흡수할 수 있다면, 이는 또한 커피나 차, 와인을 흡수할 수 있고 이러한 성질은 색 변화를 야기한다. 재료 표면의 다공성이나 거칠기는 중합 및 연마방법에 따라 영향을 받는다. 일반적으로 열중합 레진은 열가소성 레진 보다 표면의 다공성을 더 많이 관찰되므로 착색에 더 취약할 수 있다. 레진의 표면 거칠기에 대한 기존 연구들은 PMMA 아크릴 계열의 의치상 레진이 다른 레진보다 유의적으로 더 평활한 표면을 보인다고 하였으며<sup>33</sup> 또 동일한 방법으로 연마한 경우 폴리아마이드 계열이 PMMA 아크릴 계열보다 더 거친 표면을 가지므로 높은 착색 정도를 보인다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 각 의치상 레진의 표면처리에 전용 연마 기구를 사용함으로써 결과적으로 거칠기의 차이가 없고 오히려 일부 시편은 폴리아마이드 시편이 더 평활한 표면을 보였다. 이러한 여러 복합적인 이유로 인하여, 본 연구에서 동일 음료 내에서 의치상 레진 재료에 따른 색 변화는 유의적인 차이를 보이지 않았다고 판단되며 이러한 결과는 열중합 의치상 레진과 나일론 의치상 레진의 색 안정성을 비교한 기존의 연구와도 유사하다.<sup>17</sup>

재료의 수분흡수율은 색 안정성뿐 아니라 재료의 물성에도 영향을 미친다. 아크릴 레진은 레진 분자가 가지는 극성(polar property)에 의해 장기간에 걸쳐 수분을 흡수하는데, 레진의 극성을 띄는 부위가 물 분자와 수소 결합을 형성함으로써 수분 흡수 정도를 결정하게 된다.<sup>34,35</sup> 흡수된 수분은 레진 고분자 내로 침투하여 약한 분자 사슬간의 결합(interchain bond)의 가역성 또는 비가역성 파괴를 야기함으로써, 재료의 경도, 굽힘 강도, 피로 한계 등 기계적 물성을 감소시키고 체적안정성에도 영향을 미칠 수 있다고 하였다.<sup>36-40</sup> 따라서, ISO 1567:1999 규정에 의하면<sup>41</sup> 재료의 수분흡수율은 열중합 레진 재료에 대해  $32\mu\text{g}/\text{mm}^3$ 를 초과하지 않아야 한다고 하였다. 아크릴 레진의 수분 흡수에 대한 기존 연구들도 대부분  $10\sim 25\mu\text{g}/\text{mm}^3$  로서 낮은 수분 흡수율을 보여주고 있다.<sup>14,37,38,42</sup> 본 연구에서 사용된 모든 의치상 레진들도  $17\sim 25\mu\text{g}/\text{mm}^3$  범위의 수분 흡수율을 보임으로써 이러한 규정에 부합되는 것으로 관찰되었다.

과거 폴리아마이드 레진은 변형, 수분 흡수, 표면 거칠기 그리고 연마가 어려운 문제들이 보고되었다.<sup>4,5,43</sup> 폴리아마이드 계열의 의치상 레진은 레진의

주사슬을 형성하는 다수의 아마이드(amide)결합의 높은 친수성 때문에 분자 사슬 사이에 수분 흡수가 발생하게 되며, 이로 인하여 높은 수분흡수율을 갖는다고 보고하였다. 하지만 최근 폴리아마이드 타입 의치상 재료들은 아마이드 그룹 농도를 낮은 레벨로 조정함으로써 수분흡수율을 줄였다.<sup>1,44</sup> 따라서, 수분흡수율을 낮춘 폴리아마이드 레진을 사용한 최근 실험에서는 열중합레진이나 나일론 레진의 평균 수분흡수율은 차이가 없다고 보고하고 있다.<sup>45</sup> 본 연구에서도 폴리아마이드 계열인 Bio Tone이 수소결합에 대해 저항함으로써 일반 열중합 아크릴 레진과 유사한 수분흡수율을 보였다.

잔존 단량체의 유무도 물 흡수와 팽창에 영향을 줄 수 있다고 보고되고 있다.<sup>46</sup> 본 연구에서 사용한 Paladent 20은 압축식 중합방법을 사용함으로써 가압 주사식 중합방법으로 제작되는 Acrytone보다 잔존 단량체가 더 많이 존재할 수 있으며 이러한 영향으로 인해 본 연구의 결과와 같이 Acrytone이 Paladent 20 보다 더 작은 수분흡수율을 나타낸 것으로 판단된다.

온성된 의치상이라 할지라도 잔존 단량체나 formaldehyde, methacrylic acid, benzoic acid 등의 독성물질이 유리되며 이는 구강조직에 자극이나 염증, 알레르기 반응을 일으킬 수 있다.<sup>13</sup> 이러한 잔존단량체의 양은 의치상 레진의 종류, 온성법, 온성기간, 레진의 두께에 영향을 받는다고 알려져 있으며 이를 줄임으로서 의치상 레진으로 인한 조직자극을 감소시킬 수 있다.<sup>47-49</sup> 현재 의치상 재료로 사용되고 있는 레진의 세포독성에 대한 연구들은 대부분의 재료가 독성을 나타나지 않으며<sup>50</sup> 세포성장도 방해하지 않는다고 알려져 있다.<sup>51</sup> 본 연구에서도 세 가지 의치상 레진 재료가 세포 생존 및 세포 부착에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타남으로서 세포독성은 매우 미미한 것으로 판단된다.

향후, 알콜 농도나 pH와 같은 음료의 조건에 따른 의치상 레진시편의 표면 거칠기의 변화와 이에 의한 색 안정성의 차이, 그리고 재료의 용해도의 변화에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 실험에서, 탄성 의치상 재료로 사용되는 열가소성 아크릴 레진과 열가소성 폴리아마이드 레진의 색 안정성, 수분 흡수율 및 세포독성을 일반 열중합 아크릴 의치상 레진과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동일한 음료에서 의치상 레진 재료간의 색 안정성의 차이는 없었다.
2. 모든 의치상 레진은 커피에서 가장 큰 색 변화를 보였다.
3. 세 가지 의치상 레진 모두 임상적으로 허용 가능한 수분 흡수율을 보였다. 열가소성 아크릴 레진(Acrytone)이 가장 낮은 수분 흡수율을, 폴리아마이드 레진(Bio Tone)과 열중합 아크릴 레진(Paladent 20)은 유사한 수분흡수율을 보였다.
4. 세포 생존율은 세 가지 의치상 재료에서 큰 차이가 나타나지 않았다.
6. 세포 부착율은 가장 부드러운 표면을 보인 폴리아마이드 레진(Bio Tone)에서 가장 풍부한 세포 부착을 보였고 열가소성 아크릴 레진(Acrytone)은 열중합 아크릴 레진(Paladent 20)과 유사하지만 더 안정적인 세포부착 양상을 보였다.

위의 결과를 통해, non metal clasp denture 에 사용되는 가압주사식 열가소성 레진과 열가소성 폴리 아마이드 레진은 색 안정성, 수분흡수율 및 세포독성에 있어 일반 열중합 아크릴 레진과 유사하거나 또는 더 우수한 결과를 보임으로서 구강 내 장기적 사용에 있어 안정적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Takabayashi Y. Characteristics of denture thermoplastic resins for non-metal clasp dentures. *Dent Mater J* 2010;29(4):353-361.
2. Truong VT, Thomasz FG. Comparison of denture acrylic resins cured by boiling water and microwave energy. *Aust Dent J* 1988;33(3):201-204.
3. Yunus N, Rashid AA, Azmi LL, Abu-Hassan MI. Some flexural properties of a nylon denture base polymer. *J Oral Rehabil* 2005;32:65-71.
4. Matthew E, Smith DC. Nylon as a denture base material. *Br Dent J* 1955;98:231-237.
5. Watt DM. Clinical assessment of nylon as a partial denture base material. *Br Dent J* 1955;98:238-244.
6. Katsumata Y, Hojo S, Hamano N, Watanabe T, Yamaguchi H, Okada S, Teranaka T, Ino S. Bonding strength of autopolymerizing resin to nylon denture base polymer. *Dent Mater J* 2009;28:409-418.
7. Kasumata Y, Hojo S, Ino S, Hamano N, Watanabe T, Suzuki Y, Ikeya H, Morino T, Toyoda M. Mechanical characterization of a flexible nylon denture base material. *Bull Kanagawa Dent Coll* 2007;35:177-182.
8. JH Kim, HC Choe, MK Son. Evaluation of adhesion of reline resins to the thermoplastic denture base resin for non-metal clasp denture. *Dent Mater J* 2014;33(1):32-38.
9. Hersek N, Canay S, Uzun G, Yildiz F. Color stability of denture base acrylic resins in three food colorants. *J Prosthet Dent* 1999;81(4):375-379.
10. Hiromori K, Fujii K, Inoue K. Viscoelastic properties of denture base resins obtained by underwater test. *J Oral Rehabil* 2000;27:522 - 531.
11. Wong DM, Cheng LY, Chow TW, Clark RK. Effect of processing method on the dimensional accuracy and water sorption of acrylic resin dentures. *J Prosthet Dent* 1999;81:300-304.

12. Cucci AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Afonso MC. Water sorption, solubility, and bond strength of two autopolymerizing acrylic resins and one heat-polymerizing acrylic resin. *J Prosthet Dent* 1998;80:434 - 438.
13. Lefebvre CA, Knoernschild KL, Schuster GS. Cytotoxicity of eluates from light-polymerized denture base resins. *J Prosthet Dent* 1994;72(6):644-650.
14. Hunter RX, Harold RW. *The measurement of appearance* 2<sup>nd</sup> ed. Newyork ;John Wiley :1987.
15. Miettinen VM, Vallittu PK, Docent DT. Water sorption and solubility of glass fiber-reinforced denture polymethyl methacrylate resin. *J Prosthet Dent* 1997;77(5):531-534.
16. Tuna SH, Keyf F, Gumus HO, Uzun C. The evaluation of water sorption/solubility on various acrylic resins. *Eur J Dent* 2008 ;2(3):191-197.
17. Sepúlveda-Navarro WF, Arana-Correa BE, Borges CP, Jorge JH, Urban VM, Campanha NH. Color stability of resins and nylon as denture base material in beverages. *J Prosthodont* 2011;20(8):632-638.
18. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;81(8):578-582.
19. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent* 2005;33(5):389-398.
20. Hu X, Johnston WM, Seghi RR. Measuring the color of maxillofacial prosthetic material. *J Dent Res* 2010;89(12):1522-1527.
21. Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM. Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *J Prosthet Dent* 2006;95(2):137-142.
22. Goiato MC, Santos DM, Haddad MF, Pesqueira AA. Effect of accelerated aging on the microhardness and color stability of flexible resins for dentures. *Braz Oral Res* 2010;24(1):114-119.
23. Wilson NH, Burke FJ, Mjor IA. Reasons for placement and

- replacement of restorations of direct restorative materials by a selected group of practitioners in the United Kingdom. *Quintessence Int* 1997;28(4):245-248.
24. Abu-Bakr N, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Color stability of compomer after immersion in various media. *J Esthet Dent* 2000;12(5):258-263.
  25. Asmussen E. Factors affecting the color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand.* 1983;41(1):11-18.
  26. Polyzois GL, Yannikakis SA, Zissis AJ. Color stability of visible light-cured, hard direct denture reliners : an in vitro investigation. *Int J Prosthodont* 1999;12:140-146.
  27. Buyukyilmaz S, Ruyter IE. Color stability of denture base polymers. *Int J Prosthodont* 1994;7(4):372-382.
  28. Chan KC, Fuller JL, Hormati AA. The ability of foods to stain two composite resins. *J Prosthet Dent* 1980;43(5):542-545.
  29. Lai YL, Lui HF, Lee SY. In vitro color stability, stain resistance, and water sorption of four removable gingival flange materials. *J Prosthet Dent* 2003;90(3):293-300.
  30. Guler AU, Yilmaz F, Kulunk T, Guler E, Kurt S. Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 2005;94(2):118-124.
  31. Rutkunas V, Sabaliauskas V, Mizutani H. Effects of different food colorants and polishing techniques on color stability of provisional prosthetic materials. *Dent Mater J* 2010;29(2):167-176.
  32. Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int* 1991;22:377-386.
  33. de Freitas Fernandes FS, Pereira-Cenci T, da Silva WJ, Filho AP, Straioto FG, Del Bel Cury AA. Efficacy of denture cleansers on *Candida* spp. biofilm formed on polyamide and polymethyl methacrylate resins. *J Prosthet Dent* 2011;105(1):51-58.
  34. Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, Yiu CK, Carrilho MR. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dent Mater* 2006;22(10):973-980.



35. Unemori M, Matsuya Y, Matsuya S, Akashi A, Akamine A. Water absorption of poly(methyl methacrylate) containing 4-methacryloxyethyl trimellitic anhydride. *Biomaterials* 2003;24(8):1381-1387.
36. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater* 2006;22(3):211-222.
37. Barsby MJ. A denture base resin with low water absorption. *J Dent* 1992;20(4):240-244.
38. Ristic B, Carr L. Water sorption by denture acrylic resin and consequent changes in vertical dimension. *J Prosthet Dent* 1987;58:689-693.
39. Patel MP, Braden M. Heterocyclic methacrylates for clinical applications. III. Water absorption characteristics. *Biomaterials* 1991;12(7):653-657.
40. Woelfel JB, Paffenbarger GC, Sweeney WT. Some physical properties of organic denture base materials. *J Am Dent Assoc.* 1963;67:499-504.
41. ISO 1567:1999 Denture Base Polymers.
42. Arima T, Murata H, Hamada T. The effects of cross-linking agents on the water sorption and solubility characteristics of denture base resin. *J Oral Rehabil* 1996;23(7):476-480.
43. Munns D. Nylon as a denture base material. *Dent Pract* 1962;13:142-146.
44. Hargreaves AS. Nylon as a denture-base material. *Dent Pract* 1971;22:122-128.
45. Kurtulmus H, Kumbuloglu O, Aktas RT, Kurtulmus A, Boyacioglu H, Oral O, User A. Effects of saliva and nasal secretion on some physical properties of four different resin materials. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2010;15(6):969-975.
46. Dixon DL, Breeding LC, Ekstrand KG. Linear dimensional variability of three denture base resins after processing and in water storage. *J Prosthet Dent* 1992;68(1):196-200.
47. Schuster GS, Marr JC, Knoernschild KL. The effect of pH on the cytotoxicity of eluates from denture base resins. *Int J Prosthodont* 1995;8:122-128.

48. Koda T, Tsuchiya H, Yamauchi M, Ohtani S, Takagi N, Kawano J. Leachability of denture base acrylic resins in artificial saliva. *Dent Mater* 1990;6:13-16.
49. McCabe JF, Basker RM. Tissue sensitivity to acrylic resin. *Br Dent J* 1976;140:347-350.
50. Vallittu PK, Ekstrand K. In vitro cytotoxicity of fibre-polymethyl methacrylate composite used in dentures. *J Oral Rehabi* 1999;26:666-671.
51. Hensten-Pettersen A, Wictorin L. The cytotoxic effect of denture base polymers. *Acta Odontol Scand* 1981;39:101-106.