

상온대기압 질소 및 공기 플라즈마가 의치상용 레진의 표면 특성과 살균효과에 미치는 영향

서혜연 · 유은미¹ · 최유리 · 김수화² · 김광만 · 김경남

연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실 및 연구소 · ¹신구대학교 치위생과 · ²한양여자대학교 치위생과

Effect of non-thermal atmospheric pressure nitrogen and air plasma on the surface properties and the disinfection of denture base resin

Hye-Yeon Seo · Eun-Mi Yoo¹ · Yu-Ri Choi · Soo-Hwa Kim² · Kwang-Mahn Kim · Kyoung-Nam Kim

Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, Yonsei University College of Dentistry, Yonsei University · ¹Department of Dental Hygiene, Shingu College · ²Department of Dental Hygiene, Hanyang Women's University

Received : 25 July, 2014
Revised : 2 September, 2014
Accepted : 25 September, 2014

Corresponding Author

Kyoung-Nam Kim

Department and Research Institute
of Dental Biomaterials and Bioengineering
Yonsei University, 50-1 Yonsei-ro
Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.
Tel : +82-2-2228-3081
Fax : +82-2-364-9961
E-mail : kimkn@yuhs.ac.kr

ABSTRACT

Objectives : The purpose of this study was to investigate the effect of non-thermal atmospheric pressure plasma jet (NTAPPJ) on surface properties and *Streptococcus mutans* disinfection of denture base resin.

Methods : Self-cured denture base resin (Jet denture repair resin, Lang dental Mfg. co., USA) was used to make specimen (12 mm × 2 mm). To observe surface change before and after plasma process, surface roughness and contact angle were measured. For sterilization experiments, the surfaces of specimens were treated with nitrogen and air NTAPPJ for 1 minute after *S. mutans* was inoculated on the material surfaces.

Results : Before plasma process, surface roughness of denture base resin was $0.21 \mu\text{m} \pm 0.02 \mu\text{m}$. After air and nitrogen NTAPPJ process, surface roughness was $0.19 \mu\text{m} \pm 0.03 \mu\text{m}$ and $0.18 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ respectively. There was no significant difference ($p > 0.05$). Contact angle of control group without plasma process was $83.81^\circ \pm 3.14^\circ$, while after plasma treatment, contact angles of air NTAPPJ and nitrogen NTAPPJ groups were $63.29^\circ \pm 2.27^\circ$ and $46.68^\circ \pm 5.82^\circ$ respectively. The result showed a significant decrease in contact angle after plasma process ($p < 0.05$). Compared to the control group $6020.33(\text{CFU/mL})$ without plasma process, CFU decreased significantly after air NTAPPJ $90.75(\text{CFU/mL})$ and nitrogen NTAPPJ $80.25(\text{CFU/mL})$ treatment ($p < 0.05$).

Conclusions : It was considered that NTAPPJ can be used for denture disinfection without changing surface properties of materials.

Key Words : denture base resin, disinfection, non-thermal atmospheric pressure plasma

색인 : 살균, 상온대기압 플라즈마, 의치상 레진

Copyright©2014 by Journal of Korean Society of Dental Hygiene

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 medium, provided the original work is properly cited.

JKSDH is available at <http://www.jksdh.or.kr/> pISSN 2287-1705 / eISSN 2288-2294

▶ 이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012R1A1A2008659, No. NRF-2010-0027963).

서론

2013 보건복지통계연보의 인구추이에 따르면 65세 이상 인구가 2013년 12.2%, 2020년 15.7%, 2030년 24.3%로 증가할 것이라고 보고하고 있다¹⁾. 또한 2010년 국민구강건강실태조사에서 의치장착자의 비율이 65~74세에서는 18.6%, 75세 이상에서는 40.6%로 조사되었다²⁾. 노인인구의 지속적인 증가 및 노인인구의 건강보험 급여화로 인하여 의치장착자들이 더욱 증가할 가능성이 있으며 이에 따라 의치관리가 사후관리의 방법 중 가장 기본적인 내용이 될 것이다.

의치를 청결하게 관리하는 것은 심미와 구취제거뿐만 아니라 구강건강을 유지하는 데 중요하다. 하지만 의치를 소유한 노인들에게서 구강위생상태가 불량하고 병원성 미생물의 감염률이 매우 높게 나타났고³⁾, 이렇게 노인의 청결하지 못한 구강상태는 흡인성 폐렴의 이환율과 그로 인한 사망률의 주요 원인으로 작용한다⁴⁾. 그리고 스스로 의치를 청결히 관리한다 하더라도 방법이 충분하지 못하거나, 잘못된 방법으로 의치에 음식물 잔사나 치석, 색소 등이 침착되면 구강점막에 자극을 가하고 의치성 구내염이나 구개점막조직의 자극을 주어 불편함을 초래한다⁵⁻⁷⁾.

의치는 기계적 방법과 화학적 방법으로 세척할 수 있다. 기계적인 방법으로는 칫솔, 치약 및 분말을 이용하는 방법과 초음파 세척기를 이용하는 방법이 있고⁸⁾, 화학적인 방법으로는 alkaline peroxide, alkaline hypochlorites, diluted acid 등 의치세정제와 chlorhexidine, salicylate, glutaraldehyde 등의 소독제를 사용하고 있다⁹⁾. 그러나 기계적인 방법은 활동을 할 수 없는 노인환자가 적용하기 어렵고, 표면을 마모시켜 미생물을 보호하는 환경을 만들 수 있는 단점이 있고, 화학적 방법은 차아염소산나트륨의 표백작용이나 유기질 중합체 구조의 분해, 비귀금속 표면의 부식을 유발하는 단점들이 있다⁸⁾.

최근 연구가 진행되고 있는 플라즈마는 물질의 제4의 상태로서 이온화 된 가스로 불리며 다양한 활성종 및 산화화기, 하전입자, 이온, 자유전자, 산소 등을 발생시키는 특징을 가지고 있다. 특히 플라즈마 연구의 대부분은 상온대기압 플라즈마(non-thermal atmospheric pressure plasma, NTAPP)에 대한 것으로 살균, 치아미백, 지혈, 상처치유, 세포활성, 암 치료 등 의생명 분야에 적용되고 있다¹⁰⁻¹³⁾. 플라즈마는 자유라디칼을 활용하여 세포벽을 붕괴함으로써 유해한 미생물을 파괴하고 경조직이나 연조직 표면에서 표면 변화 없이 병원균을 감소시키기 때문에 플라즈마를 세균에 적용하였을 때 살균효과가 있는 것으로 알려져 있다^{14,15)}.

하지만 플라즈마를 의치관리에 적용한 연구는 찾아보기 어려우므로 본 연구에서는 의치소독에 플라즈마를 적용하여

의치 표면에 대한 플라즈마의 살균효과 뿐만 아니라, 의치의 표면변화도 함께 관찰하고자 하였다. 본 연구에서는 최근 개발된 상온대기압 플라즈마 제트(non-thermal atmospheric pressure plasma jet, NTAPPJ)를 의치상용 레진 표면에 조사하여 표면변화를 관찰하였고 의치상 레진 표면에 부착된 구강내 대표 상주균인 *Streptococcus mutans*(*S. mutans*)의 살균효과를 시험하였다. 특히 자유라디칼 발생이 효과적이며 공기 중 안정한 상태인 가스인 Nitrogen plasma와 치과나 가정에서도 가스의 제한 없이 쉽게 적용할 수 있는 Air plasma를 이용하여 실험하였다.

연구방법

1. 연구 재료

본 연구에 사용한 시편은 지름 12 mm, 두께 2 mm인 테프론 몰드에 자가 중합형 의치상용 레진 (Jet denture repair resin, Lang dental Mfg, co., USA)을 제조사의 지시에 따라 혼합한 후 주입하여 제작하였다. 이 때, 표면연마 없이 표면을 편평하게 만들고 재료가 접착되지 않도록 폴리에틸렌 필름과 slide glass를 몰드위에 위치시키고 1시간의 경화시간이 지난 후 시편을 몰드에서 분리하였다. 모든 시험에서 대조군과 실험군은 각각 5개의 시편으로 실험하였다.

2. 연구 재료

2.1. NTAPPJ 조사

의치상용 레진 표면에 부착된 세균의 살균효과를 관찰하기 위하여 광운대학교 플라즈마 바이오과학 연구센터(Plasma Bioscience Research Center)에서 개발한 공기 NTAPPJ(Air NTAPPJ; AP)와 질소 NTAPPJ(Nitrogen NTAPPJ; NP)를 사용하였다¹⁶⁾. 플라즈마 조사구와 의치상용 레진 시편의 거리는 5 mm로 고정하였으며, 플라즈마 장비의 최대 출력 전압은 2.24 kV, 전류는 1.08 mA이며 기체는 1 L/min 유량으로 각 시편 중심에 1분씩 조사하였다. 대조군은 NTAPPJ를 조사하지 않았고, 실험군은 AP, NP를 각각 조사한 두 그룹으로 구분하였다.

2.2 NTAPPJ 조사에 따른 표면 특성

의치상용 레진을 시편제작 직후 광학식 표면 조도 측정기(Optical profilometer, ContourGT, Bruker, USA)를 사용하여 AP와 NP의 조사 전후를 각각 3회씩 측정하여 평균값을 산출하였다. 측정범위는 $63 \mu\text{m} \times 47 \mu\text{m}$, vertical scanning interferometry mode(VSI)로 측정하였다.

Table 1. Surface roughness(Ra) Unit: μm

Groups	Ra(Mean $\pm$ SD)	p-value*
Control	0.21 $\pm$ 0.02	0.408
AP	0.19 $\pm$ 0.03	
NP	0.18 $\pm$ 0.01	

Control; without plasma treatment, AP; air-gas based non-thermal atmospheric pressure plasma jet, NP; nitrogen-gas based non-thermal atmospheric pressure plasma jet, *p-value by one-way ANOVA

Table 2. Contact angle($^{\circ}$)

Groups	Ra(Mean $\pm$ SD)	p-value*
Control	83.81 $\pm$ 3.14 ^a	< 0.001
AP	63.29 $\pm$ 2.27 ^b	
NP	46.68 $\pm$ 5.82 ^c	

Control; without plasma treatment, AP; air-gas based non-thermal atmospheric pressure plasma jet, NP; nitrogen-gas based non-thermal atmospheric pressure plasma jet, *p-value by one-way ANOVA($p < 0.05$), abcpst-hoc tests(Tukey HSD)

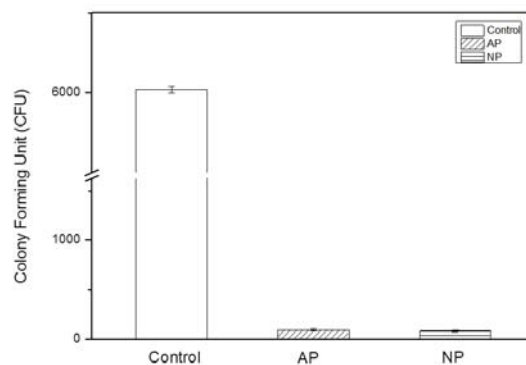
AP 및 NP 조사 후 표면의 친수성에 관한 변화정도를 확인하기 위한 접촉각을 측정하였다. 시편에 NTAPPJ를 조사한 즉시 증류수 4 μL 를 시편 표면에 낙하시켜 비디오 촬영식 접촉각 측정기(Video contact angle measuring device, Phoenix 300, SEO, Korea)로 측정하였다.

2.3. 세균 배양

실험에 사용한 구강미생물로는 *S. mutans*(ATCC 25175) 균주를 한국생명공학연구원 생물자원센터로부터 분양받아 사용하였으며, 이 균주를 BHI(Brain Heart Infusion, Difco Co., USA) 배지에서 24시간 동안 혐기 배양(5% CO₂) 후 실험에 이용하였다. 세균실험 전 모든 시편을 에틸렌옥사이드 가스(ethylene oxide gas)로 멸균하였고 시편에 100 μL (1 x 10⁵)의 균을 접종한 후 AP 및 NP를 각각 1분 동안 조사하였다.

2.4. Colony Forming Unit (CFU)

NTAPPJ 조사한 후 시편을 24시간 동안 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하였다. NTAPPJ 조사한 의치상용 레진 시편에 남아있는 세균수를 확인하기 위해 멸균된 증류수로 3회 세척하고 1mL의 BHI 배지에 넣어 초음파(sonication) 3분 적용하여 의치상용레진 표면에 단단하게 부착되어 있는 균을 충분히 부유시킨 뒤 BHI에 있는 균을 각각 고체 아가(agar) 배지에 100 μL 씩 도말한 다음 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 동안 배양하였다. 이후, 배지표면에 생긴 집락수에 $\times 10$ 으로 최종 CFU/mL를 계산하였다.

Fig. 1. Disinfection effect of NTAPPJ on *S. mutans*

3. 통계분석

수집한 자료는 PASW statistics ver 19.0(IBM CO., Armonk, NY, USA)을 사용하여 표면조도, 접촉각, Colony Forming Unit을 one-way ANOVA로 통계분석을 실시하였으며, 사후검정은 Tuckey HSD test, 1종 오류는 0.05로 양측검정하였다.

연구결과

1. NTAPPJ 조사에 따른 표면 특성

의치상용 레진 시편 위에 NTAPPJ를 조사 하지 않은 대조군과 NTAPPJ 처리를 한 실험군의 표면조도 변화는 (Table 1)과 같다. 대조군 시편의 표면조도는 0.21 $\mu\text{m} \pm 0.02 \mu\text{m}$, AP 조사 후는 0.19 $\mu\text{m} \pm 0.03 \mu\text{m}$, NP 조사 후는 0.18 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 로 나타나 NTAPPJ 처리에 따른 표면조도에는 미세한 차이가 있었으나 통계학적 유의성은 없었다($p > 0.05$).

NTAPPJ를 조사한 후 접촉각을 측정한 결과는 (Table 2)와 같다. AP(63.29 $\pm$ 2.27)와 NP(46.68 $\pm$ 5.82)는 대조군(83.81 $\pm$ 3.14)에 비하여 모두 유의하게 접촉각이 작은 것으로 보아 젖음성이 증가하였으며 실험군 내에서도 NP는 AP보다 접촉각이 감소하였다($p < 0.05$).

2. Colony Forming Unit(CFU)

NTAPPJ 조사 시 의치상용 레진에 대한 살균효과를 CFU로 분석하였다(Fig. 1). 그 결과 대조군은 6020.33(CFU/mL)에 비하여 실험군의 집락수는 각각 AP 90.75(CFU/mL)와 NP 80.25(CFU/mL)로 나타나 실험군에서 모두 세균수가 유의성 있게 감소하였다($p < 0.05$).

총괄 및 고안

선행연구에 의하면 노인은 의치보철 후 구강건강관련 삶의 질 수준이 향상되었으며, 의치만족도는 구강건강관련 삶의 질에 직접적인 관련이 있고, 의치보철 장착 후 의치의 세정관리 또한 구강건강의 만족도와 관련이 있다^{17,18)}. 의치를 관리하는 방법은 기계적 방법과 화학적 방법이 일반적으로 사용되고 있지만, 본 연구에서는 상온대기압 플라즈마 제트를 이용한 의치관리법을 고려해 보고자 플라즈마 처리 후 의치상용 레진의 표면변화와 *S. mutans*의 살균효과를 실험하였다.

플라즈마는 크게 대기압, 진공으로 나눌 수 있으며 조사온도에 따라 상온, 저온으로 분류한다. 또한 조사면적에 따라 DBD와 Jet으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 대기압에서 상온으로 사용할 수 있는 Jet으로 사용하였다.

본 연구결과, 플라즈마 처리 전후의 표면조도는 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 반면 접촉각은 플라즈마 처리 후 접촉각이 유의성 있게 감소하였다($p<0.05$). 의치상용 레진의 표면 조도는 표면적을 더 넓게 하고 전단력으로부터 미생물을 제거하기 어렵게 하므로 세균부착에 도움을 준다¹⁹⁾. Zamperini 등²⁰⁾은 의치상용 레진 표면에 플라즈마 처리 후 표면조도에는 유의한 변화가 없었다고 보고하면서, 플라즈마의 장점은 재료 표면의 기계적, 물리적 특성 변화를 야기하지 않으며, 친수성을 개선시키고 세균부착을 감소시켜 의치의 감염 가능성을 예방할 수 있다고 하였다. 또한 플라즈마 처리 후 모든 시편에서 소수성이 감소하였다고 보고하여 본 연구와 같은 결과를 보였다. 그러나 본 실험은 의치상용 레진 표면에 세균을 접종한 후 NTAPP를 조사하여 살균 효과를 증명한 것으로 세균 부착과는 다른 개념으로 이해해야 한다. 따라서 향후 연구에서는 살균과 친수성과의 규명이 필요할 것으로 사료된다.

플라즈마 처리 후 재료표면에는 자유라디칼과 수소원자 같은 종들이 생성되고, 이들 사이의 화학적 반응이 친수성 그룹을 폴리머 표면에 결합시켜 표면에너지를 증가시키고 접촉각을 감소시킨다²¹⁾. 하지만 친수성이 지속적으로 유지되지 않고 처음으로 다시 회복된다는 결과도 함께 언급하고 있어 이에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다^{20,21)}. 젖음성과 미생물의 부착에 대한 기전은 아직 명확하지 않은데, *E. coli*는 친수성의 특징을 가지는 세균이므로 친수성 표면에 더 잘 부착되지만, *S. mutans*는 플라즈마 처리 후 감소하였다는 연구들이 있다. 유²²⁾는 NP 처리 후 재료 표면에 OH와 COOH가 형성되는데 *S. mutans*의 경우 통성혐기성균(facultative anaerobe)으로 산소가 없는 곳에서 더 잘 성장하는 특성이 있어 플라즈마를 처리한 시편에서의 세균부착과 관련 가능성이 있다고 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 nitrogen가스를 선택하였으며, 또한

추가 가스장치 없이 치과나 가정에서의 편리한 접근이 가능한 air 가스를 적용하였다.

플라즈마를 처리하지 않은 의치상용 레진 시편에 비교하여 플라즈마 처리 후에는 AP, NP 모두 세균수가 유의하게 감소하였다($p<0.05$). Yamazaki 등¹⁵⁾은 low frequency atmospheric pressure jet이 *S. mutans*, *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis* 같은 구강병원균에 살균효과를 보였다고 하였고, Sladek 등¹⁴⁾은 플라즈마가 *S. mutans* biofilm을 파괴하고 재생장을 예방하는 항균효과가 있다고 보고하였다. 다른 연구에서도 플라즈마가 구강병원균을 감소시키는 효과가 있다는 보고가 있으며, 뿐만 아니라 플라즈마 제트가 직접적으로 조사된 영역 바깥쪽에서도 미생물 억제영역(inhibition zone)이 나타났고, 이는 플라즈마에 의해 생성된 활성산소종(reactive oxygen species)에 의한 것으로 보인다고 하였다²³⁾. 이는 플라즈마 제트에 의한 직접조사 효과뿐만 아니라 간접적인 효과도 함께 보여주는 것이다. Plasma에 의해 생성된 OH 라디칼 같은 활성종(reactive species)들은 강력한 소독제이고, 활성산소종은 다양한 형태로 존재하는데, 이들 중 OH·와 O₂·는 미생물을 불활성화시키는 특성을 가지므로 플라즈마 처리 후 재료표면의 살균효과를 나타낸다^{14,24)}.

의치에도 치아에서처럼 세균들이 부착하여 biofilm을 형성하고 의치표면의 침착된 미생물들은 고령자들에게 의치성 구내염뿐만 아니라 전신질환을 야기하기도 한다²⁵⁾. 의치관리에 대한 문제는 노인의치가 건강보험에 적용되면서 앞으로 더 중요한 문제로 나타날 것으로 생각되는데, 의치관리법 교육 시 주방용 세제를 사용하도록 하고 있지만, 실제 의치장착 환자들이 세치제를 주로 많이 사용한다는 연구가 보고되고 있고, 조사대상자의 대다수가 의치관리법을 제공받지 않은 것으로 나타났다^{26,27)}. 세치제는 의치 표면을 마모시켜 미생물의 성장을 촉진할 뿐만 아니라, 제거를 어렵게 한다^{28,29)}. 하지만 플라즈마는 재료 표면의 물리적·기계적 특성을 변화시키지 않으면서 살균효과를 가지고 있고, 특히 NTAPP는 비교적 낮은 가격, 간단한 과정으로 진료실 제어 사이드에서, 또는 플라즈마 살균기나 플라즈마 칫솔 등으로 치과임상 또는 가정에서 의치를 관리하는 새로운 방법으로 활용될 수 있는 가능성이 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 한 종류의 자가중합 의치상용 레진과 *S. mutans* 만으로 실험을 진행하여 실험에 다양한 변수의 설계가 부족한 제한점이 있다. 자가중합형 의치상용 레진은 열중합형 재료에 비해 미반응 모노머의 양이 많다고 알려져 있으나 시간 경과에 따라 감소하고^{30,31)}, 본 연구에서도 시편제작 24시간 후에 실험을 하였으므로 미반응 모노머의 영향은 크지 않을

것으로 사료된다. 하지만 미반응 모노머의 양에 영향을 미치는 요인들에 대한 연구가 다양하게 보고되는 만큼 이에 대한 추후 연구가 더 필요할 것으로 보이며, 플라즈마 처리 후의 구강미생물의 부착과 다른 구강미생물의 살균효과에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

결론

본 연구는 의치상용 레진에 대한 NTAPPJ의 효과를 조사하기 위하여 자가중합형 의치상 레진을 사용하여 시편을 만들고 플라즈마 처리를 하지 않은 대조군과 공기 및 질소 NTAPPJ 처리를 한 실험군의 표면변화와 *Streptococcus mutans*의 살균효과를 실험하였다.

1. 의치상용 레진 표면의 플라즈마 처리 전 후 표면조도의 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).
2. 플라즈마 처리를 하지 않은 대조군의 접촉각에 비해 플라즈마 처리 후에는 접촉각이 유의하게 감소하였으며, 실험군 내에서도 질소 NTAPPJ는 공기 NTAPPJ 보다 접촉각이 감소하였다($p<0.05$).
3. 플라즈마 처리를 하지 않은 대조군에 비해, 질소 NTAPPJ와 공기 NTAPPJ를 조사 한 후에는 *S. mutans* 집락수가 현저히 감소하였다($p<0.05$).

의치장착자의 적절하지 못한 의치관리는 구강위생상태와 미생물 감염에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 실제로 의치관리에 칫솔을 많이 사용하고 있다는 보고도 있고, 이는 미생물 부착에 더 유리한 환경을 조성하기도 한다. 본 연구 결과, 플라즈마는 의치의 표면조도에 영향을 미치지 않을 뿐만 아니라 진료실에서도 편리하게 활용할 수 있으므로 의치를 관리하는 새로운 대안으로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

References

1. Ministry of Health & Welfare, Ministry of health and welfare statistical year book 2013, Seoul: Ministry of Health & Welfare; 2013: 6-7.
2. Ministry of Health & Welfare, Korean national oral health survey 2010, Seoul: Ministry of Health & Welfare; 2010: 481-8.
3. Shay K, Denture hygiene: a review and update, *J Contemp Dent Pract* 2000; 1: 28-41.
4. Sarin J, Balasubramaniam R, Corcoran AM, Laudenschmidt JM, Stoopler ET, Reducing the risk of aspiration pneumonia among elderly patients in long term care facilities through oral health interventions, *J Am Med Dir Assoc* 2008; 9: 128-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jamda.2007.10.003>.
5. Mima EG, Pavarina AC, Vargas Fda S, Giampaolo ET, Machado AL, Vergani CE, Effectiveness of chlorhexidine on the disinfection of complete dentures colonised with fluconazole-resistant *Candida albicans*: in vitro study, *Mycoses* 2011; 54: 506-12. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0507.2010.01968.x>.
6. Ribeiro DG, Pavarina AC, Dovigo LN, Palomari Spolidorio DM, Giampaolo ET, Vergani CE, Denture disinfection by microwave irradiation: a randomized clinical study, *J Dent* 2009; 37: 666-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2009.04.009>.
7. Han SY, Bae BJ, Lee HS, Factors affecting period of wear and post management of denture of the elderly, *J Korean Acad Dent Technol* 2012; 34: 433-45.
8. Kang JK, Kim SH, Yoo EM, Chio HS, Choi YR, Kim KM, Surface changes of denture base resin according to two toothpastes and a kitchen detergent, *J Korean Soc Dent Hyg* 2012; 12: 611-20.
9. Budtz-Jørgensen E, Materials and methods for cleaning dentures, *J Prosthet Dent* 1979; 42: 619-23.
10. Fridman G, Friedman G, Gutsol A, Shekhter AB, Vasilets VN, Fridman A, Applied plasma medicine, *Plasma Process Polym* 2008; 5: 503-33. <http://dx.doi.org/10.1002/ppap.200700154>.
11. De Geyter N, Morent R, Nonthermal plasma sterilization of living and nonliving surfaces, *Annu Rev Biomed Eng* 2012; 14: 255-74. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071811-150110>.
12. Heo NS, Lee MK, Kim GW, Lee SJ, Park JY, Park TJ, Microbial inactivation and pesticide removal by remote exposure of atmospheric air plasma in confined environments, *J Biosci Bioeng* 2014; 117: 81-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.06.007>.
13. Kim JH, Lee MA, Han GJ, Cho BH, Plasma in dentistry: a review of basic concepts and applications in dentistry, *Acta Odontol Scand* 2014; 72: 1-12. <http://dx.doi.org/10.3109/00016357.2013.795660>.
14. Sladek RE, Filoche SK, Sissons CH, Stoffels E, Treatment of *Streptococcus mutans* biofilms with a nonthermal atmospheric plasma, *Lett Appl Microbiol* 2007; 45: 318-23.
15. Yamazaki H, Ohshima T, Tsubota Y, Yamaguchi H, Jayawardena JA, Nishimura Y, Microbicidal activities of low frequency atmospheric pressure plasma jets on oral pathogens, *Dent Mater J* 2011; 30: 384-91.
16. Choi YR, Kwon JS, Song DH, Choi EH, Lee YK, Kim KN, et al, Surface modification of biphasic calcium phosphate scaffolds by non-thermal atmospheric pressure nitrogen and air plasma treatment for improving osteoblast attachment and proliferation, *Thin Solid Films* 2013; 547: 235-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2013.02.038>.

17. Ha JE, Han GS, Kim NH, Jin BH, Kim HD, Paik DI, et al. The improvement of oral health related quality of life by the national senile prosthetic restoration program. *J Korean Acad Dent Health* 2009; 33: 227-34.
18. Lee GR, Yoo WK. A study on denture satisfaction in rural elderly people. *J Agric Med Community Health* 2010; 35: 56-66.
19. Radford DR, Challacombe SJ, Walter JD. Denture plaque and adherence of *Candida albicans* to denture-base materials in vivo and in vitro. *Crit Rev Oral Biol Med* 1999; 10: 99-116.
20. Zamperini CA, Machado AL, Vergani CE, Pavarina AC, Giampaolo ET, da Cruz NC. Adherence in vitro of *Candida albicans* to plasma treated acrylic resin. Effect of plasma parameters, surface roughness and salivary pellicle. *Arch Oral Biol* 2010; 55: 763-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.archoralbio.2010.06.015>.
21. Rangel EC, Gadioli GZ, Cruz NC. Investigation on the stability of plasma modified silicone surfaces. *Plasmas Polym* 2004; 53: 221-6.
22. Yoo EM. Inhibition of streptococcus mutans biofilm formation by nitrogen based non-thermal atmospheric pressure plasma [Doctoral dissertation]. Seoul: Univ. of Yonsei, 2014.
23. Rupf S, Lehmann A, Hannig M, Schäfer B, Schubert A, Feldmann U, et al. Killing of adherent oral microbes by a non-thermal atmospheric plasma jet. *J Med Microbiol* 2010; 59: 206-12. <http://dx.doi.org/10.1099/jmm.0.013714-0>.
24. Kim AY, Thayer DW. Radiation-induced cell lethality of salmonella typhimurium ATCC 14028: cooperative effect of hydroxyl radical and oxygen. *Radiat Res* 1995; 144: 36-42.
25. Gornitsky M, Paradis I, Landaverde G, Malo AM, Velly AM. A clinical and microbiological evaluation of denture cleansers for geriatric patients in long-term care institutions. *J Can Dent Assoc* 2002; 68: 39-45.
26. Dikbas I, Koksall T, Calikkocaoglu S. Investigation of the cleanliness of denture in a university hospital. *Int J Prosthodont* 2006; 19: 294-8.
27. Lee JY, Kim YK, Jeong YS, Kang KH, Hwang SJ. The effect of different denture cleansing agents on the abrasion test of denture base material and survival rate of *Candida albicans* and *Streptococcus mutans*. *J Korean Acad Oral Health* 2010; 34: 18-27.
28. de Freitas KM, Paranhos Hde F. Weight loss of five commercially available denture teeth after toothbrushing with three different dentifrices. *J Appl Oral Sci* 2006; 14: 242-6.
29. Pisani MX, Bruhn JP, Paranhos HF, Silva-Lovato CH, de Souza RF, Panzeri H. Evaluation of the abrasiveness of dentifrices for complete dentures. *J Prosthodont* 2010; 19: 369-73. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-849X.2010.00592.x>.
30. Noh HS, Kim JM, Kim S, Jeong TS. Effect of curing conditions on the monomer elution of orthodontic acrylic resin. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2008; 35: 477-84.
31. Kedjarune U, Charoenworakul N, Koontongkaew S. Release of methyl methacrylate from heat-cured and autopolymerized resins: cytotoxicity testing related to residual monomer. *Aust Dent J* 1999; 44: 25-30.