

구조류의 미세 능동 추진력을 이용한 의치 세정 효과에 관한 연구

장혜린¹, 이주헌², 최지원³, 공현준², 박은진^{4,*}¹이화여자대학교 임상치의학대학원 임상구강보건학과²일리노이대학교 화학 및 생물분자공학과³연세대학교 치과대학 치과재료학교실⁴이화여자대학교 의과대학 치과학교실A study on the effect of denture cleaning
utilizing active micro-locomotion of diatom complexHye-Rin Jang¹, Joo Hun Lee², Ji-Won Choi³, Hyunjoon Kong², Eun-Jin Park^{4,*}¹Graduate School of Clinical Dentistry, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea²Department of Chemical and Biomolecular Engineering,
University of Illinois, Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA³Department of Dental Biomaterials and Bioengineering, Yonsei University College of Dentistry,
Seoul, Republic of Korea⁴Department of Dentistry, College of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea

This study compared the effectiveness of self-propelling diatom microbubblers to clean dental appliances with commercial denture cleaning agents according to the Ministry of Food and Drug Safety's guidelines. The microbubbler is made by doping diatoms with MnO₂ nanosheets that can decompose hydrogen peroxide to generate oxygen bubbles. Artificial saliva is prepared in accordance with the criteria presented by the American Dental Association, dispensed, and dried in 96 well plates. Experimental groups include 10-15% NaOCl (positive control), distilled water (negative control), diatom microbubbler A (Aulacoseira, MnO₂-polydopamine (PDA)-A), diatom microbubbler M (Melosira nummuloids, MnO₂-sugar (S)-M), Polident (GlaxoSmithKline, Dungarvan, Ireland), Dentfix-forte (Helago-Pharma GmbH&Co, Parchim, Germany). After washing, absorbance (OD 600) was measured. If the absorbance was 70% or higher, the condition was determined to have "cleaning power potency." Statistical significance was evaluated by one-way ANOVA and Bonferroni correction to compare cleaning effects among groups ($p < 0.05$). The average cleaning rates were $93.8 \pm 1.0\%$ in NaOCl (positive control) and $79.1 \pm 1.5\%$ in distilled water (negative control). With the diatom microbubbler A, the average cleaning rate was $79.8 \pm 4.5\%$ in the 3% H₂O₂ 2 mg/mL, $64.7 \pm 5.5\%$ in 6% H₂O₂ 2 mg/mL, and $81.9 \pm 7.9\%$ in 6% H₂O₂ 4 mg/mL. The diatom microbubbler M group showed average cleaning rates of $88.5 \pm 3.6\%$ in 3% H₂O₂ 2 mg/mL, $75.8 \pm 4.0\%$ in 6% H₂O₂ 2 mg/mL, and $84.5 \pm 4.5\%$ in 6% H₂O₂ 4 mg/mL. Finally, conventional denture cleaning agents showed average cleaning rates of $88.2 \pm 1.2\%$ in Polident and $83.3 \pm 3.0\%$ in Dentfix-forte. The positive control group had significant differences from all experimental groups, but the negative control group showed significant differences only in A2 and A3, M1 and M2, M3, Polident, and Dentfix-forte ($F=190.141$, $p < 0.001$). Among all groups except the positive control group, MnO₂-S-M mixed with 3% H₂O₂ 2 mg/mL showed the highest cleaning rate. As the results of this study show, diatom complexes exhibit cleaning effects compatible with conventional denture cleaning agents. Further studies need to be conducted to narrow down the specific optimal conditions of diatom microbubblers and maximize the cleaning effect.

Keywords : Diatom microbubbler, Active micro-locomotion, Denture cleaningHye-Rin Jang (ORCID: 0000-0003-2721-4765)
Joo-Hun Lee (ORCID: 0009-0008-0084-2407)
Ji-Won Choi (ORCID: 0000-0002-7119-1786)
Hyunjoon Kong (ORCID: 0000-0003-4680-2968)*Correspondence: Eun-Jin Park (ORCID: 0000-0001-6384-449X)
1071, Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu, Seoul, 07985, Republic of Korea
Affiliation: Department of Dentistry, College of Medicine, Ewha Womans
University, Seoul, Republic of Korea
Tel: +82-2-2650-5042, Fax: +82-2-2650-5764
E-mail: prosth@ewha.ac.kr

서 론

2012년부터 노인을 대상으로 의치에 대한 건강보험 적용이 단계적으로 확대됨에 따라 대상자는 점점 증가하여, 2016년 이후 연평균 3만 7,000명 내외의 규모를 유지하고 있다. 그 중 75~79세의 연령층에서 틀니 진료를 가장 많이 받은 것으로 나타났는데(1), 고석민 등의 연구에 의하면, 해당 연령층은 노화로 인한 건강 및 체력의 저하, 만성적인 질병으로 인한 신체적 고통과 경제적 능력 저하로 사회활동 참여 기회의 상실로 인한 무력감을 느낀다고 보고하였다. 또한, 전신적인 질환으로 인해 거동이 불편한 경우가 많아, 자발적인 치과 내원이 힘든 경우가 많다(2). 특히 요양원과 같은 공동체 시설 생활을 하는 경우 의치 뿐만 아니라 구강 건강 관리나 치과 내원 등이 더욱 어렵다는 문제점이 지속적으로 제기되고 있다(2, 3).

의치 세정에는 기계적 방법, 화학적 방법, 그리고 열을 이용한 방법이 있다. 기계적 방법은 브러쉬와 초음파 장치를 이용하여 물리적으로 세척하는 방법이고, 화학적 방법은 시중에 판매되는 의치 세정제에 담그는 방법과 보조적으로 클로르헥시딘을 이용하는 방법 등이 있다(4). 마지막으로 열을 이용한 방법은 전자레인지에 이용하는 것이다(5).

시중에서 판매되고 있는 대부분의 의치세정제는 물에 발포정을 넣고 의치를 담가 두는 것만이 아닌, 칫솔을 이용한 추가적인 기계적 세척을 권장하고 있다. 이는 세정액만으로는 의치의 착색이나 오래된 치태 제거가 용이하지 않음을 의미할 수 있으며, 따라서 의치세정제만을 이용한 세정효과의 한계라고 할 수 있다.

치아우식증 및 치주질환 등 각종 구강질환을 야기하는 치면세균막은 치아뿐만 아니라 구강 내 장치에도 형성되는데, 두꺼운 층을 형성하며 세포 외 기질(Extracellular polymeric substances, EPS)로 인해 외부 물질의 침투가 어렵고, 세포간 상호작용으로 유전적 변이를 유발하여 부유 세균에 비해 항생제를 비롯한 항균 물질에 대한 저항성이 증가한다(1, 6, 7). 치면세균막 내의 일부 혐기성 세균을 포함한 치주질환 관련 세균들이 독소를 생성하면 치주질환 발생에 직접적인 원인을 제공하며(8), *Streptococcus mutans*균은 치아우식증을 유발하는 원인이 되기도 한다(9, 10). 또한 *Candida albicans*는 칸디다증의 주원인균으로 의치구내염을 유발하

므로 이를 예방하려면 구강 위생관리와 의치 소독, 장착 습관 조절이 매우 중요하다(11, 12).

잘못된 세정 방법은 의치를 마모시킬 수 있고, 마모에 의한 표면 흠집으로 인해 치태와 치석이 침착될 수 있는데(13, 14), 이렇게 부착된 치태와 치석은 구취를 유발할 수 있으며, 다양한 세균들이 증식하여 의치성구내염(Denture stomatitis), 적색반(Erythroplakia) 등 구강 점막의 전암성 병변으로 발전할 가능성이 있다(15).

최근 연구에 의하면 이산화망간이 코팅된 규조류 복합체가 과산화수소와 반응하여 미세 기포를 발생시키며, 이는 규조류에 자가 추진력을 가지게 하여 바이오필름의 세포 외 기질을 직접 파괴한다는 것이 밝혀졌다(16, 17). 또한, 분쇄된 세포 외 기질내로 확산된 과산화수소는 효과적으로 세정과 살균작용이 가능하다는 특징을 가지고 있다(17). 규조류는 화학적 성분이 아닌 자연 유래 물질로 친환경적이며 일시에 대량 증식하는 특성이 있어 대규모 제조가 가능하다. 치과 분야에서의 연구는 바이오필름 제거에 국한된 시작 단계이지만, 나노재료 및 바이오소재 분야에서는 주목받고 있다. 다만, 아직까지는 고온 소결 처리법에 의존하고 있어 기공 특성 손실없이 추출할 수 있는 생체 친화적인 산업적 활용은 제한되고 연구 단계에 남아있는 점이 해결해야 할 과제로 남아있다. 본 연구에서는 규조류 복합체의 active micro-locomotion을 이용하여 화학적 및 기계적 세척이 동시에 가능한지 알아보기 위해, 식품의약품안전처의 의치·치아교정기 세정제 효력평가법 가이드라인(안)(민원인 안내서-1188-01)에 따라 규조류 복합체의 의치 세정력을 평가하고, 다양한 규조류 용량과 과산화수소 농도에 따른 여러 실험군간의 세정효과를 시판되는 의치세정제와 비교해 보고자 하였다(18).

재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 규조류 복합체의 제조

본 연구에서 사용한 규조류는 제주 용암 해수에서 식물성 플랑크톤 속 멜로시라를 분리하여 제조한 것으로 구형 또는

등근 타원형에 다공성 형태를 가지고 있다(19). 멜로시라 (Melosira nummuloides, JDK Bio Co., Jeju, Korea) 1 g에 증류수 15 mL를 혼합한 뒤, 그 중 3 mL에 슈가 15 mL를 추가하여 교반기로 10분간 혼합하였다. 이후 원심분리기에서 4000 rpm으로 8분간 회전시킨 후, 상층액은 버리고 새로운 증류수를 넣어 다시 원심분리기에서 4분간 회전시켰다. 이후 상층액을 버리고 증류수 20 mL를 넣은 후, 과망간산칼륨 0.316 g을 넣고 24시간 교반기 위에서 혼합하였다. 다시 혼합액을 원심분리기에서 1000 rpm으로 5분간 회전시킨 후 상층액을 버리고 60 °C에서 24시간 건조시켜 이산화망간이 도핑된 규조류 복합체를 완성하였다. 비교를 위해 선행 연구에서 사용되었던 담수 규조류인 규조류 복합체 A (Aulacoseira (MnO₂-PDA-A), University of Illinois, Urbana-Champaign 제공)를 포함시켰다(16, 17).

2) 세정액의 준비

Polydopamine (PDA) 코팅을 이용하여 이산화망간을 도핑한 담수 규조류 Aulacoseira 복합체(MnO₂-PDA-A)와, 본 연구에서 새로 사용한 해수 규조류 Melosira nummuloides 복합체(MnO₂-S-M)를 주 실험군으로 하고, 규조류 복합체 A, M군들은 다시 규조류 함량과 과산화수소 농도에 따라 A1, M1 (규조류 2 mg/mL, 3% H₂O₂), A2, M2 (규조류

2 mg/mL, 6% H₂O₂), A3, M3 (규조류 4 mg/mL, 6% H₂O₂) 군으로 세분화하였다.

2종의 의치세정제 폴리덴트(GlaxoSmithKline, Dungarvan, Ireland), 텐트픽스-포르테(Helago-Phama GmbH & Co., Parchim, Germany)는 제조사의 지시에 따라 1정을 150 mL 미온수에 넣어 세정액을 제조하였다(Table 1).

2. 연구 방법

American National Standard/American Dental Association Specification No. 41 - Recommended Standard Practices for Biological Evaluation of Dental Materials (20)을 참고하여 제조한 인공타액을 세포배양용 96-well plate에 100 µL씩 분주한 후, (50±2) °C 건조기 (HG-DC150, Hangil Biotech, Seoul, Korea)에서 12시간 건조시켰다. 인공타액이 건조된 96-well plate를 micro plate reader (Multiskan GO, Thermo Fisher Scientific Inc., Vantaa, Finland)에 넣고 흡광도가 0.4 이상으로 균일하게 나올 때까지 분주와 건조를 반복하였다. 이후 Table 1의 세정액들을 96-well plate에 100 µL씩 분주하고, 10분이 지난 후 순차적으로 제거한 뒤, PBS (Phosphate buffered saline)로 세척하여 전후 흡광도를 측정하였다.

Table 1. Experimental and control groups

Groups	Solutions
Positive control	10-15% NaOCl
Negative control	Distilled Water
Experimental group	Diatom complex A (Aulacoseira, MnO ₂ -PDA-A)
	A1 (Diatom complex A 2 mg/mL + 3% H ₂ O ₂)
	A2 (Diatom complex A 2 mg/mL + 6% H ₂ O ₂)
	A3 (Diatom complex A 4 mg/mL + 6% H ₂ O ₂)
	Diatom complex M (Melosira, MnO ₂ -S-M)
	M1 (Diatom complex M 2 mg/mL + 3% H ₂ O ₂)
	M2 (Diatom complex M 2 mg/mL + 6% H ₂ O ₂)
	M3 (Diatom complex M 4 mg/mL + 6% H ₂ O ₂)
	Polident (GlaxoSmithKline, Dungarvan, Ireland),
	Dentfix-forte (Helago-Phama GmbH&Co., Parchim, Germany)

3. 세척률 계산

세정효과를 측정하기 위하여 시행된 세척률 계산은 아래의 공식으로 구하였고, 식품의약품안전처 의치·치아교정기 세정제 효력평가법 가이드라인 기준에 의거하여 70% 이상이면 '세척력 효력'이 있다고 판정하였다.

$$\text{세척률(\%)} = \left(1 - \frac{OD_{600b}}{OD_{600a}}\right) \times 100$$

- OD_{600a} : 세정제 적용 전 흡광도
- OD_{600b} : 세정제 적용 후 흡광도

4. 통계 분석

수집된 자료는 SPSS 프로그램(Statistical product and service solutions version 29.0; IBM Co., Armonk, NY, USA)을 사용하여 분석하였다. 구조류 복합체와 시판 의치 세정제의 세정력의 평균이 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 일원배치분산분석(One-way ANOVA)과 다중비교분석(Post-hoc multiple comparison)을 위해 분포로니 보정(Bonferroni correction)으로 분석하였으며, p 값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결 과

1. 구조류 복합체의 특성

국내에서 생산되는 해양 구조류인 멜로시라(Melosira nummuloides, JDK Bio Co., Jeju, Korea)는 구형 또는 타원형의 고차원적인 다공성 구조를 가지고 있으며, 외각에 바이오 실리카인 frustule을 형성하고 있다(Figure 1).

이 구조류에 이산화망간을 도핑한 것을 구조류 복합체(Figure 2)라고 명명하였으며, 이 복합체가 과산화수소와 반응 시에는 미세 기포를 형성하여 자가 추진력을 갖게 된다. 이것이 원동력이 되어 바이오필름의 세포 외 기질을 직접 파괴하는 것으로 보고되었고(16, 17), 이렇게 파괴된 세포 외 기질내로 확산된 H_2O_2 는 보다 효과적으로 세정과 살균작용이 가능하게 된다.

2. 식약처 기준에 근거한 세척력 효력 평가

양성대조군(10~15% NaOCl)에서 평균 93.8 (1.0)%로 세척률이 가장 높았고, 음성대조군(증류수)에서는 79.1 (1.5)%의 세척률을 보였다. 실험군들 중에서는 M1에서 88.5 (3.6)%로 가장 높았고, 단백질의 주성분인 카제인을 분해할 수 있는 단백질분해효소가 포함된 의치세정제인 폴리덴트가 88.2 (1.2)%, M3에서 84.5 (4.5)%, 단백질분해효소가 포함되지 않은 의치세정제인 덴트픽스-포르테가 83.3 (3.0)%, A3에서 81.9 (7.9)%, A1에서 79.8 (4.5)%, M2에서 75.8 (4.0)%, A2에서 64.7 (5.5)% 순으로 나타났다(Table 2, Figure 3). A2를 제외한 모든 군의 결과값이 식품의약품안전처 기준에 해당되는 70% 이상으로 세척력 효력이 있는 것으로 나타났다. 다중비교분석을 위해 실시한 분포로니 보정을 양성대조군과 음성대조군을 기준으로 시행하였을 때 양성대조군과는 모든 실험군에서 유의한 차이가 있었으나, 음성대조군과는 A2와 A3, M1과 M2, M3와, 폴리덴트, 덴트픽스-포르테에서만 유의한 차이를 보였다($F=190.141$, $p<0.001$).

3. 구조류 복합체의 군간 세정효과 비교

구조류의 비율을 변화시키고 과산화수소의 농도를 달리 하여 세척률을 평가한 결과, M1에서 88.5 (3.6)%로 가장 세정 효과가 우수했고, M3에서 84.5 (4.5)%, A3에서 81.9 (7.9)%, A1에서 79.8 (4.5)%, M2에서 75.8 (4.0)%, A2에서 64.7 (5.5)% 순으로 나타났다(Figure 4). 각기 다른 구조류 복합체에서 같은 비율과 농도의 과산화수소를 사용하였을 때 세척 효과를 군별로 비교하였을 때 A1과 M1, A2와 M2는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($F=152.161$, $p<0.001$).

고 찰

의치세정제는 알칼리성 과산화물(alkaline peroxides), alkaline hypochlorite, disinfectant, 희석된 산, 효소 등으로 구성되어 있는데(21), 그 중에서도 alkaline peroxides 계열이 의치세정제에 가장 흔하게 사용되며, 이것은 물과 만나면 CO_2 를 방출하여 의치에 부착된 치태와 착색을 제거하게 된다. Sodium perborate는 표면장력을 감소시키기 위해

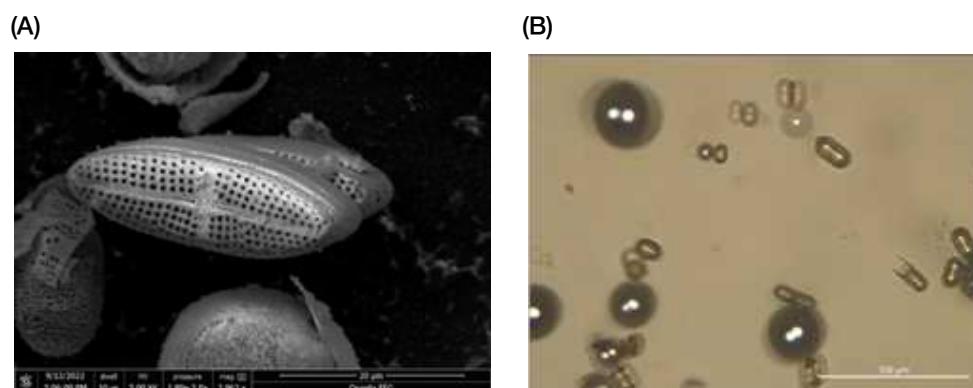


Figure 1. Microscopic images of diatom complex, (A) SEM image of the MnO₂ nanosheets-doped *Melosira nummuloids* from the sea of Korea; (B) Active micro-locomotion of diatom complex

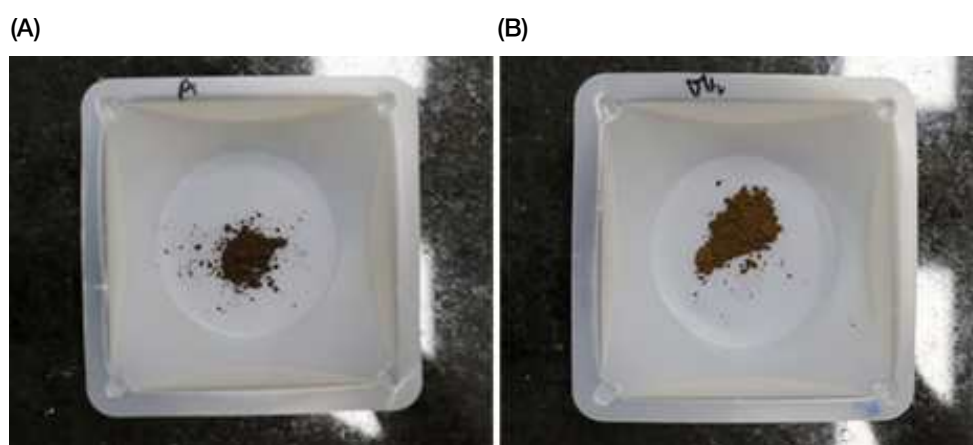


Figure 2. MnO₂-PDA-A and MnO₂-S-M, (A) *Aulacoseira*, (B) *Melosira nummuloides*.

Table 2. Cleaning power potency evaluation

Groups	Cleaning rate (%)	Cleaning power potency*
Positive control (NaOCl)	93,8±1,0	O
Negative control (Distilled water)	79,1±1,5	O
M1 (Diatom complex M 2 mg/ml + 3% H ₂ O ₂)	88,5±3,6	O
M2 (Diatom complex M 2 mg/ml + 6% H ₂ O ₂)	75,8±4,0	O
M3 (Diatom complex M 4 mg/ml + 6% H ₂ O ₂)	84,5±4,5	O
A1 (Diatom complex A 2 mg/ml + 3% H ₂ O ₂)	79,8±4,5	O
A2 (Diatom complex A 2 mg/ml + 6% H ₂ O ₂)	64,7±5,5	X
A3 (Diatom complex A 4 mg/ml + 6% H ₂ O ₂)	81,9±7,9	O
Polident	88,2±1,2	O
Dentfix-forte	83,3±3,0	O

*70% or higher have “cleaning power potency”

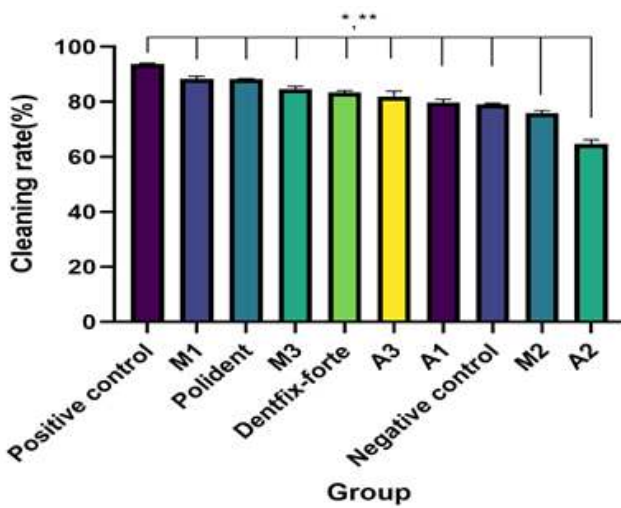


Figure 3. Comparison of cleaning rate (%). *represents a significant difference in the positive control group. **represents a significant difference in the negative control group (*, **p<0.05)

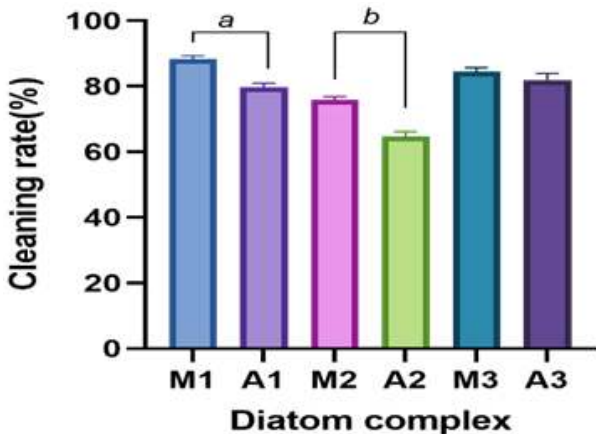


Figure 4. Cleaning rate according to type of diatom complex and concentration of H₂O₂. a represents a significant difference between groups A1, M1. b represents a significant difference between groups A2, M2 (a, b p<0.05)

염기성 세제와 산소를 발생하며, peroxide 성분은 의치상 레진에 잔존하여 치태의 부착을 억제하는 효과가 있어 치태 재형성을 감소시킨다(22). 의치세정제는 금속상 총의치나 가철성 국소 의치에 사용할 수 있지만, peroxide 세정제에 하루 수차례 반복적으로 접촉되는 경우 의치상 레진이 표백될 수도 있다(23). Alkaline hypochlorite는 치석을 용해시킬 수는 없으나 뮤신과 치태의 유기물을 분해하여 치석 형성을 억제한다. 또한 표백 효과가 있어 가벼운 착색을 제거하며, 부착력을 감소시키는 효과가 있기 때문에 느슨해진 부착물

에 추가적으로 물리적 제거 방법을 병행하여 의치를 세척하는 것이 좋다. Alkaline hypochlorite는 peroxide보다 치태나 착색 제거에는 더 효과적이거나 의치의 금속 구조물의 변색과 부식을 유발하며 물성을 변화시킨다는 것이 가장 큰 단점이다(24). 또 눈이나 피부에 유해하며, 의치상용 레진을 탈색시킨다는 단점이 있다(25). 의치세정에 활용되는 희석된 산은 대부분 5% HCl을 사용하며 인산을 보조적으로 첨가하기도 하는데, 산은 의치의 치석과 착색을 효과적으로 제거하지만 가철성 금속 의치나 의치의 금속 구조물을 부식 또는 변색시키며, 눈이나 피부에 유해한 단점이 있다(26).

실험에서 사용된 폴리덴트와 덴트픽스-포르테는 공통적으로 계면활성제와 산소발생기를 포함하고 있으며, 두 제품의 차이는 구강내 미생물의 세포벽을 분해하는 효소(alkalase or protease)의 유무이다. 폴리덴트와 같은 효소계 의치 세정제는 당단백, 점단백, 세포외벽의 다당류등 치태 침착의 기질에 작용하여 분해시키는 효소를 포함하고 있다(27, 28). 효소인 proteinase와 mutanase, chelating agent (EDTA) 등의 혼합물을 포함한 의치세정제를 평가한 연구에서, 의치를 15분간 담그어 놓았을 때 점액과 치태가 감소하며 치태 재형성을 억제한다고 보고하였다(28). 효소 성분이 포함된 의치 세정제와 포함되지 않은 의치 세정제의 치태 제거 효과를 비교한 연구에서, 효소의 효과가 충분히 발현되는 시간인 8시간 이상이 되면, 효소를 포함한 의치 세정제의 세정 효과가 훨씬 효과적이라고 하였다. 아직까지 효소계 의치 세정제의 위해 작용은 보고된 바 없으나 화학적 의치 세정과 기계적 의치 세정을 같이 시행하였을 때 치과외과가 행한 전문적인 칫솔질과 비슷한 치태제거 효과를 얻을 수 있다고 하였다(29).

이에 반해 규조류는 화학적 성분이 아닌 자연 유래 물질로, 치과분야에서 연구는 아직까지 시작 단계이지만, 나노재료 및 바이오소재 분야에서는 주목받고 있으며, 많은 연구가 진행중이다. 고차원적 나노기공구조가 특징인 규조류는 10~200 μm 크기 미세조류의 한 종류로, 민물이나 바닷물에서 부유 성장 또는 부착 성장하며, 성장을 위해서는 빛과 영양분, 수분이 필요하다(30).

실험에서 사용된 Melosira nummuloides는 주로 가을부터 봄철에 우리나라 남해안 연안에서 발견되는 해양미세조

류(식물 플랑크톤)로 광합성을 통해 유기물을 생산하여 해양 생태계의 먹이원으로 활용되고, 지구에 필요한 산소의 70% 정도를 공급하는 매우 중요한 역할을 하기도 한다. 이처럼 규조류는 친환경적이며, 일시에 대량 증식하는 특성이 있어, 대규모 제도가 가능하다. 규조류가 사멸한 뒤에도 분해되지 않고 퇴적토의 형태로 남게 되는데 이것이 규조토로 재활용 가능하다는 장점도 있다(19, 30) 이러한 규조류에 이산화망간을 도핑한 규조류 복합체는 증류수와 혼합 후, 과산화수소와 반응시키면 다공 구조가 분해되면서 미세기포를 발생하게 되고, 스스로 운동성을 띄면서 세포 외 기질을 파괴하게 된다(16). 다공의 모양과 규조류의 형태에 따라 분해할 때 운동의 세기가 변할 수 있는데, 규조류의 배양 조건에 따라 원하는 기공구조로 배양시킬 수도 있으며, 이를 위해서 광원의 세기, 광원의 파장, 배양액의 염도, 배양액 내 철 성분의 활용도 등의 요소를 달리할 수 있다(19, 30).

이러한 규조류에서 유기물을 제거하고 그 골격인 다공성의 diatom biosilica에 이산화망간 나노쉬트를 주입해서 규조류 복합체를 만들어 과산화수소와 반응시키게 되면, 산소 방출이 지속적으로 형성되면서 자가 추진력을 가지게 된다. 이를 이용하여 실리콘 기질 내 형성된 바이오필름을 제거하는 연구가 2018년 보고되었고(16), 뒤이어 다양한 치과 보철 재료 표면에서 MnO_2 -diatom microbubbler의 세균막 제거 효과가 검증되었다(31). 자연에서 얻을 수 있는 규조류는 대량 생산이 용이하며 재활용이 가능하다는 점에서 환경 친화적이기는 하나, 현재까지는 유기물을 제거하는 방법이 고온 소결에만 의존하고 있는 실정이라서 의학용 등 고부가 가치 소재로의 활용은 연구 단계에만 그치고 있는 실정이다.

본 연구는 규조류 복합체의 의치세정효과를 식약처 의치·치아교정기 세정제 효력평가법 가이드라인에 따라 평가하는데 있으며, 실험 결과 ‘규조류 복합체의 의치세정효과는 기존 의치세정제와 차이가 없다’ 는 귀무가설을 채택하였다. 특히, 양성대조군을 제외한 실험군 중 담수 규조류인 규조류 복합체 A (MnO_2 -PDA-A)보다 해수 규조류인 규조류 복합체 M (MnO_2 -S-M)에서 세정 효과가 더 높았으며 그 중에서도 M1의 세척률이 가장 높았다. 다만 A2에서 세정 효과가 70% 이하로 기존 의치세정제보다 세정효과가 낮게 나타났지만 나머지 실험군(A1, A3, M1, M2, M3)에서 세정 효과가 70%이상으로 나타났고, A2의 표준오차가 5.5%

로 실험할 때의 오차 가능성으로 판단하여 귀무가설을 채택하였다.

본 연구 결과의 임상적 의의는, 향후 세정 작용이 있는 규조류의 치과계 적용을 촉진하여 치과 내원이 어려운 고령의 환자들이 구강 내 장치를 관리하는 데 있어서, 자발적 기계적 세척이 어려울 때 기존의 의치세정제만으로는 제거가 어려운 바이오필름의 기계적, 화학적 세정이 가능하도록 모색하는 데 있다. 다만, 본 연구는 그 시작점으로 인공다액에 대한 실험군들의 세정능력만을 평가한 것으로, 구강내 세균에 대한 세정능력은 평가하지 않았고, 규조류 복합체의 연조직에 대한 독성평가와 물성 변이에 대한 검증은 포함하지 않고 있다. 또한, 규조류 복합체 M과 과산화수소를 혼합할 경우, 규조류 복합체의 비율 별, 과산화수소의 농도 별 세정효과가 상이함에 따라 적절한 비율과 농도에 대한 추가적인 연구를 진행한다면 의치뿐만 아니라 치아교정기, 치과기구 세척을 위한 세척용액으로서 상품화까지도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

결론

본 연구는 이산화망간을 코팅한 규조류 복합체를 과산화수소와 반응시켰을 때 얻어지는 자가 추진력을 이용한 의치 세정 효과를 기존 의치세정제와 비교하고, 다양한 규조류 용량과 과산화수소 농도에 따른 세정 효과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 규조류 복합체는 식품의약품안전처 의치·치아교정기 세정제 효력평가법 가이드라인에 의거하여 평가한 결과 기존 의치세정제에 상응하는 세정효과를 보였다.
2. 규조류 복합체 M (*Melosira nummuloides*, MnO_2 -sugar (S)-M)에서는 M1 (2 mg/mL + 3% H_2O_2)의 세정효과가 가장 높았고, M2 (2 mg/mL + 6% H_2O_2)의 세정효과가 가장 낮았다.
3. 규조류 복합체 A (*Aulacoseira*, MnO_2 -polydopamine (PDA)-A)에서는 A3 (4 mg/mL + 6% H_2O_2)의 세정효과가 가장 높았고, A2 (2 mg/mL + 6% H_2O_2)에서 세정효과가 가장 낮았다.

사 사

본 연구는 2022년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원(202202962, 해양바이오전락소재개발 및 상용화 지원) 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2022R1F1A1063382)을 받아 수행된 연구임. This research was funded by NSF-DMR 2004719.

참고문헌

1. Lee ES, Kang SM, Kim EU, Kwon HK, Kim BI. Inhibitory effects of several commercial oral rinses on *Streptococcus mutans* biofilm formation. *J Korean Acad Oral Health*. 2011;35(3):289-96.
2. Ko SM, Lim SR. Oral hygiene care for elderly in care facility. *J Korean Dent Assoc*. 2015;53(10):678-87.
3. Ekelund R. Oral mucosal disorders in institutionalized elderly people. *Age Ageing*. 1988;17(3):193-8.
4. Ingrid MA, Cruz PC, Silva-Lovato CH, Souza RF, Souza-Gugelmin M, Paranhos H. Effect of chlorhexidine on denture biofilm accumulation. *J Prosthodont*. 2012;21(1):2-6.
5. Baba YY, Sato Y, Owada G, Minakuchi S. Effectiveness of a combination denture cleaning method versus a mechanical method: comparison of denture cleanliness, patient satisfaction, and oral health-related quality of life. *J Prosthodont Res*. 2018;62(3):353-8.
6. Marsh PD. Dental plaque as a biofilm and a microbial community—implications for health and disease. *BMC Oral health*. 2006;6(1):185-91.
7. Marsh PD. Dental plaque as a microbial biofilm. *Caries Research*. 2004;38(3):204-11.
8. 신서희. 최근 10년간 건강보험 치과 진료 경향. 정책동향. 건강보험심사평가원. 2020;14(6):70-84.
9. Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*. 1999;284(5):1318-22.
10. He Z, Wang Q, Hu Y, Liang J, Jiang Y, Ma R, et al. Use of the quorum sensing inhibitor furanone C-30 to interfere with biofilm formation by *Streptococcus mutans* and its luxS mutant strain. *Int J Antimicrob Agents*. 2012; 40(1):30-5.
11. Barbeau J, Seguin J, Goulet JP, Koninck L, Avon SL, Lalonde B, et al. Reassessing the presence of *Candida albicans* in denture-related stomatitis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;95(1):51-9.
12. Verran J. Malodour in denture wearers: an ill-defined problem. *Oral Dis*. 2005; 11:24-8.
13. Jagger DC, Harrison A. Denture cleansing--the best approach. *Br Dent J*. 1995;178(11):413-7.
14. Lee HE, Li CY, Chang HW, Yang YH, Wu JH. Effects of different denture cleaning methods to remove *Candida albicans* from acrylic resin denture based material. *J Dent Sci*. 2011;6(4):216-20.
15. Lee NS. A comparative study on denture cleansers for food stain removal on the denture of elders in domiciliary care. *J Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2018;19(1):331-6.
16. Seo YB, Leong J, Park JD, Hong YT, Chu SH, Park C, et al. Diatom microbubbler for active biofilm removal in confined spaces. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2018;10(42):35685-92.
17. Deng YH, Ricciardulli T, Won JG, Wade M, Rogers S, Boppart S, et al. Self-locomotive, antimicrobial microrobot (SLAM) swarm for enhanced biofilm elimination. *Biomaterials*. 2022;287:121610.
18. 식품의약품안전평가원 바이오생약심사부 화장품심사과. 의치·치아교정기 세정제 효력평가법 가이드라인 [민원인 안내서] 등록번호-1188-02.
19. Kim YY, Shin HA, Choi JW, Kim MY, Go GM. Compositional Characteristics of the Microalga *Melosira nummuloides* Mass-cultured Using Jeju Lava Seawater. *Korean J Fish Aquat Sci*. 2022;55(2):91-101.
20. ANSI,ADA Specification No. 41- Recommended

- Standard Practices for Biological Evaluation of Dental Material. 2005.
21. Hwang JW, Shin SW. Denture cleansers. *J Kor Acad Prosthodont*. 1997;35(1):244-9.
 22. Dills SS, Olshan AM, Goldner S, Brogdon C. Comparison of the antimicrobial capability of an abrasive paste and chemical-soak denture cleaners. *J Prosthet Dent*. 1988;60(4):467-70.
 23. Unlü A, Tugrul Altay O, Sahmali S. The role of denture cleansers on the whitening of acrylic resins. *Int J Prosthodont*. 1996;9(3):266-70.
 24. Kastner C, Svare CW, Scandrett FR, Kerber PE, Taylor TD, Semler HE. Effects of chemical denture cleaners on the flexibility of cast clasps. *J Prosthet Dent*. 1983; 50(4):473-9.
 25. Budtz-Jørgensen E. Materials and methods for cleaning dentures. *J Prosthet Dent*. 1979;42(6):619-23.
 26. Neill DJ. A study of materials and methods employed in cleaning dentures. *Br Dent J*. 1968;124(3):107-15.
 27. Connor JN, Schoenfeld CM, Taylor RL. An evaluation of an enzyme denture cleanser. *J Prosthet Dent*. 1977; 37(2):147-57.
 28. MacCallum M, Stafford GD, MacCulloch WT, Combe EC. Which cleanser? A report on a survey of denture cleansing routine and the development of a new denture cleanser. *Dent Pract Dent Rec*. 1968;19(3): 83-9.
 29. Odman PA. The effectiveness of an enzyme-containing denture cleanser. *Quintessence Int*. 1992; 23(3):187-90.
 30. 홍혜진, 류병곤, 김정민. 규조류 바이오 실리카 추출 및 활용 기술 동향. *NICE (News & Information for Chemical Engineers)*. 2020;38(5):466-73.
 31. 이은혁, 서용범, 권호범, 임영준, 공현준, 김명주. 치과 보철 재료 표면에서 MnO₂-diatom microbubbler의 세균막 제거 효과 연구: In vitro study. *대한치과보철학회지*. 2020;58(1):14-22.

규조류의 미세 능동 추진력을 이용한 의치 세정 효과에 관한 연구

장혜린¹, 이주현², 최지원³, 공현준², 박은진^{4,*}

¹이화여자대학교 임상치의학대학원 임상구강보건학과

²일리노이대학교 화학 및 생물분자공학과

³연세대학교 치과대학 치과재료학교실

⁴이화여자대학교 의과대학 치과학교실

본 연구는 self-motile이라는 독특한 특성을 가진 MnO_2 를 도핑한 규조류 복합체를 과산화수소와 반응시켰을 때 나타나는 active micro-locomotion을 이용하여, 의치 및 치과용 구내 장치에 대한 세정효과를 식품의약품안전처의 의치세정제 세척력 효력평가법 가이드라인에 따라 시판 의치세정제와 비교하여 알아보려고 하였다. 미국치과의사협회 제시 기준에 따라 인공타액을 제조하여 96웰플레이트에 분주, 건조시킨 후 양성대조군(10~15% NaOCl), 음성대조군(증류수), 다양한 조건의 실험군들(규조류 복합체 A (Aulacoseira, MnO_2 -polydopamine (PDA)-A), 규조류 복합체 M (Melosira nummuloides, MnO_2 -sugar(S)-M), 폴리덴트(GlaxoSmithKline, Dungarvan, Ireland), 텐트픽스-포르테(Helago-Phama GmbH&Co., Parchim, Germany)들과 반응시켰다. 세척 후 흡광도(OD 600)를 측정하여 70% 이상이면 '세척력 효력'이 있는 것으로 판정하고, 세정 효과의 구간 비교를 위해 one-way ANOVA, Bonferroni correction을 시행하여 통계적 유의성을 검정하였다($p < 0.05$). 그 결과 모든 군에서 '세척력 효력'이 있는 것으로 판명되었으며, 평균 세척률은 양성대조군 NaOCl에서 $93.8 \pm 1.0\%$, 음성대조군 증류수에서 $79.1 \pm 1.5\%$, 규조류 복합체 A군은 3% H_2O_2 2 mg/mL과 반응 시 $79.8 \pm 4.5\%$, 6% H_2O_2 2 mg/mL에서 $64.7 \pm 5.5\%$, 6% H_2O_2 4 mg/mL에서 $81.9 \pm 7.9\%$ 의 평균 세척률을 보였다. 규조류 복합체 M군은 3% H_2O_2 2 mg/mL에서 $88.5 \pm 3.6\%$, 6% H_2O_2 2 mg/mL에서 $75.8 \pm 4.0\%$, 6% H_2O_2 4 mg/mL에서 $84.5 \pm 4.5\%$ 의 세정효과를 보였으며, 폴리덴트 $88.2 \pm 1.2\%$, 텐트픽스-포르테 $83.3 \pm 3.0\%$ 의 평균세척률을 보였다. 양성대조군은 모든 실험군과 유의한 차이가 있었으나, 음성대조군은 A2와 A3, M1과 M2, M3와, 폴리덴트, 텐트픽스-포르테에서만 유의한 차이를 보였다($F=190.141$, $p < 0.001$).

양성대조군을 제외한 모든 군 중에서 MnO_2 -S-M을 3% H_2O_2 2 mg/mL의 비율로 반응시켰을 때 세정효과가 가장 좋았고, 규조류 복합체의 active micro-locomotion을 이용한 세정 효과가 시판중인 의치 세정제에 상응하는 결과를 보이므로 세척력 효력이 있는 것으로 평가되며, 보다 높은 세정 효과를 위한 최적의 적용 조건은 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

색인단어 : 규조류 복합체, 미세 능동 추진력, 의치 세정