

# 레진강화형 글래스아이오노머 바니쉬를 이용한 상아세관의 폐쇄 평가: 상아세관액 흐름의 실시간 측정 및 주사전자현미경 관찰\*

김민호<sup>1, 3</sup>, 김진영<sup>1, 3</sup>, 임범순<sup>2, 3</sup>, 최낙삼<sup>4</sup>, 이인복<sup>1, 3\*\*</sup>

서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실<sup>1</sup>, 치과생체재료과학교실<sup>2</sup>, 치학연구소<sup>3</sup>, 한양대학교 기계공학과<sup>4</sup>

## Evaluation of dentinal tubule occlusion by RMGI (resin-modified glass ionomer) varnish: real-time measurement of dentinal fluid flow and SEM\*

Min-Ho Kim<sup>1, 3</sup>, Ryan Jin-Young Kim<sup>1, 3</sup>, Bum-Soon Lim<sup>2, 3</sup>, Nak-SamChoi<sup>4</sup>, In-Bog Lee<sup>1, 3\*\*</sup>

Dept. of Conservative Dentistry<sup>1</sup>, Dept. of Dental Biomaterials Science<sup>2</sup>, School of Dentistry and Dental Research Institute<sup>3</sup>, Seoul National University, Seoul, Korea; <sup>4</sup>Mechanical Engineering, Hanyang University, Ansan, Korea.

(Received: Mar. 6, 2015; Revised: Mar. 25, 2015; Accepted: Mar. 25, 2015)

DOI : <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2015.42.1.57>

### ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the occlusive effect of a resin-modified glass ionomer (RMGI) varnish and an oxalate-based desensitizing agent on exposed dentin by evaluating the flow dynamic of dentinal fluid and SEM evaluation of the dentin surface after treatment. Sixteen caries- and restoration-free extracted molars were fixed to slide glasses after horizontally sectioning the roots at 5 mm below the cemento-enamel junction (CEJ). The prepared specimen was connected to a fluid flow measuring device (nano-Flow), and verified no fluid leakage. A V-shaped cavity was prepared at the CEJ to expose the dentin surface, which was then acid-etched, washed, and blot dried. The surface was treated either with an RMGI (Clinpro XT varnish) or an oxalate-based desensitizing agent (SuperSeal) (n=8). A real-time fluid flow was measured throughout the procedures. The fluid flow rates before and after each treatment were evaluated, and the surfaces of the treated dentinal tubules were also examined with SEM. A significant reduction in the rate of fluid flow was observed after treatment in both groups ( $p < 0.05$ ). Clinpro XT varnish exhibited a greater reduction in the fluid flow rate than SuperSeal ( $p < 0.05$ ). SEM evaluation revealed that the size of dentinal tubules was reduced as a result of the deposition of RMGI and oxalate crystals in Clinpro XT varnish and SuperSeal, respectively. Both agents reduced the fluid flow rate, with Clinpro XT varnish being more effective.

**Keywords:** dentinal fluid flow, dentinal tubule occlusion, real-time measurement, RMGI varnish, SEM

## 서론

상아질 과민증은 환자에게 짧고 날카로운 통증을 유발하는 흔한 치과적 질환으로, 이는 상아질이 구강 내 환경에 노출된 후 기계적, 온도적, 화학적 자극 및 삼투압에 의해 유발된다 (Jacobsen 등, 2001). 상아질 과

민증의 원인에 대해 가장 널리 받아들여지는 것은 Brännström의 “유체역학 이론 (hydrodynamic theory)”이다. 이 이론에 따르면 여러 자극에 의해 유발된 노출된 상아질 내의 상아세관액의 흐름이 상아질과 치수 신경의 기계자극 수용기를 자극해 통증을 유발하게 된다 (Brannstrom 등, 1967). 따라서 노출된 상아세관을 완전히 혹은 부분적으로 폐쇄해 상아세관액의 흐름을 막으면 통증 유발을 멈출 수 있다 (Pashley, 1986).

이런 이론에 근거해 상아세관을 막을 수 있는 여러

\* 이 연구는 교육과학기술부의 한국연구재단의 지원 (No. 2012R1A2A2A02010147)에 의해 이루어 졌음.

\*\* 교신저자: 110-744, 서울시 종로구 대학로 111, 서울대학교 치의학 대학원 치과보존학교실, 이인복

가지 방법들이 소개되어 왔다. 단백질 침전 (Femiano 등, 2013), 인산칼슘 형성 (Al-Saud 등, 2012), 옥살산염 침착 (Aranha 등, 2009)을 이용한 탈감작성 재제 (desensitizing agent) 및 상아질 결합제 (Abed 등, 2011; de Andrade e Silva 등, 2007) 등이 상아질 과민증 치료에 사용되어 왔으며, 레이저 (Ehlers 등, 2012) 및 레진 강화형 글래스이오노머 (resin-modified glass ionomer; RMGI) (Polderman 등, 2007) 역시 좋은 결과를 보였다.

글래스이오노머는 상아질 과민증 치료에 꾸준히 사용되어 왔으나 (Hansen, 1992; Low, 1981), 사용의 불편함과 비심미성 때문에 많이 쓰이지는 않았다. 최근 호제-액체 (paste-liquid) 형태의 RMGI가 소개되었으며, 임상적으로 좋은 결과가 보고되었다 (Tantbirojn 등, 2006). 그러나 RMGI의 상아질 과민증에 대한 효과를 평가한 이전 연구들은 주로 임상적 증상의 경감을 비교한 연구들이며 (Ding 등, 2014; Hansen, 1992; Polderman 등, 2007; Tantbirojn 등, 2006), in-vitro 실험에서도 RMGI 적용 전후의 상아질 투과도를 단순히 비교한 것이 전부이다 (Rusin 등, 2010). 외부 자극에 의해 유발된 상아세관액의 흐름은 상아질 과민증의 통증을 유발하는 중요한 인자이며, 따라서 그 흐름의 변화를 관찰하는 것은 여러 탈감작 방법 또는 약제에 의한 상아세관의 폐쇄 및 증상의 완화를 추정하는데 매우 중요하다.

최근 발치된 치아에서 아말감 또는 복합레진 수복 시 상아세관액의 흐름을 실시간으로 측정하는 연구가 있었다 (Kim 등, 2010). 이 연구에서는 0.2 nL의 해상력으로 상아세관을 통한 물의 흐름을 실시간으로 측정하

였다. 지금까지 탈감작성 재제를 적용했을 때의 상아질 투과성을 측정하는 연구들은 있었으나 (Hoang-Dao 등, 2008; Komabayashi 등, 2010; Mitchell 등, 2011; Patel 등, 2011), RMGI를 적용했을 때 상아세관액 흐름의 변화를 실시간으로 측정하는 연구는 전무하다. 따라서 RMGI 바니쉬를 적용하였을 때의 상아세관액 흐름의 변화를 관찰하는 것은 상아질 과민증 치료에서 RMGI의 효과를 규명하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

본 연구에서는 노출된 상아질에 RMGI 바니쉬 및 옥살레이트 성분의 탈감작성 재제를 적용하였을 때 상아세관액 흐름의 변화를 실시간으로 측정하여, 상아세관의 폐쇄 효과를 비교하고 주사전자현미경을 통해 관찰하고자 하였다.

## 연구 재료 및 방법

### (1) 실시간 미세 물 흐름 측정장치의 구조와 동작원리

본 연구에서는 이전 연구 (Kim 등, 2013)에서 사용하였던 미세 물 흐름 측정장치 (nano-Flow, IB Systems, Seoul, Korea)를 사용하였다. 이 장치는 물의 흐름을 감지하는 유리 모세관과 광센서, 물의 흐름을 추적하는 서보모터, 엄지나사 (lead screw)와 볼너트 (ball nut), 데이터를 기록하는 회전 인코더와 컴퓨터 소프트웨어로 구성되어 있다 (Fig. 1).

물 저장고와 치아 사이에 연결되어 증류수로 채워져 있는 내경 0.5 mm의 유리 모세관 안에는 공기방울이

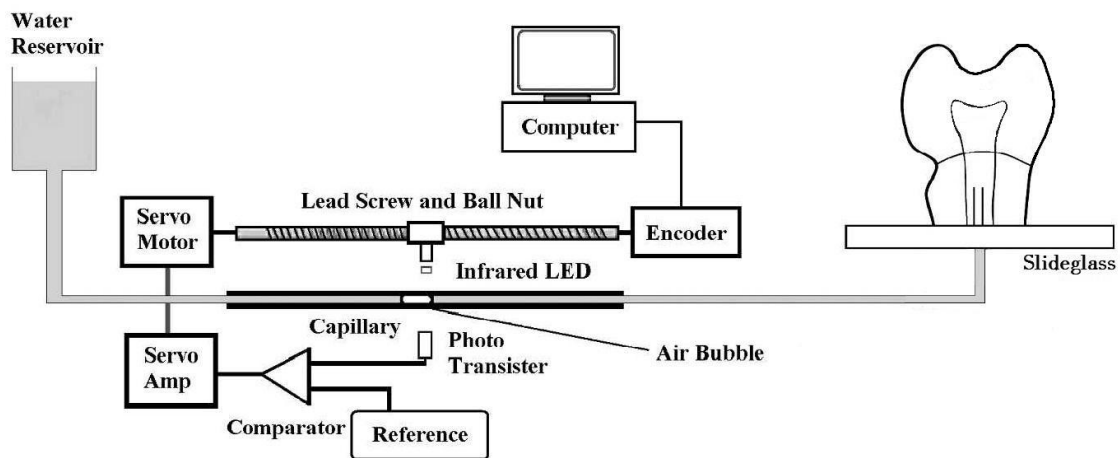


Figure 1. Schematic diagram of the subnanoliter-scaled dentinal fluid flow measurement device (nano-Flow).

놓여있다. 물의 흐름에 따라 공기방울이 움직이면, 이는 적외선 방출 다이오드와 광트랜지스터로 구성된 광센서에 의해 감지되고, 광센서가 물-공기 계면을 계속 추적할 수 있도록 서보앰프와 서보모터는 엄지나사를 돌린다. 이 때 나사의 회전이 회전 인코더를 통해 회전당 1,000개의 펄스로 감지되어 컴퓨터에 저장된다. 이 장치의 최소 분해능은 0.196 nL이다.

## (2) 시편 제작

우식 및 수복물이 없는 발치된 대구치 16개를 백악-법랑 경계 하방 5 mm에서 절단하였다. 치수는 전상아질이 손상되지 않도록 가느다란 조직검자와 근관치료용 파일을 사용해 제거하였다. 슬라이드 글라스에 샌드블라스트 처리를 하고 물 저장고와의 연결을 위한 금속튜브를 삽입하기 위해 0.9 mm 지름의 구멍을 뚫은 후, 치수관에 금속튜브를 위치시키고 상아질 접착제 (Adper Scotchbond Multi-Purpose, 3M ESPE, St Paul, MN, USA)와 유동성 레진 (Denflow, Vericom, Anyang, Korea)을 이용하여 치아와 슬라이드 글라스를 접착하였다. 원치 않은 누출을 방지하기 위해 노출된 치근면과 치아-슬라이드 접촉면 바깥쪽에 네일 바니쉬 (nail varnish)를 적용하였다. 준비된 시편은 측정장치와 연결하고 20 cm H<sub>2</sub>O의 정수압을 가하여 안정화한 후 누출이 없음을 확인하였다.

## (3) Desensitizing agent 적용 전후 상아세관액 흐름의 측정

준비된 시편은 각각 8개씩 2개의 군으로 나누었다. 1군은 RMGI 바니쉬를, 2군은 SuperSeal을 적용하였다. 와동을 형성하기 전 준비된 시편을 측정장치에 연결하고 15분간 정수압을 가해 안정화 하였다. 치아 치경부의 CEJ (cemento-enamel junction)에 근원심으로 넓이 5 mm, 높이 3 mm, 깊이 2 mm의 V 모양 와동을 고속 핸드피스와 다이아몬드 버로 형성하였다. 15초간 32% 인산 (Scotchbond Universal Etchant, 3M ESPE, St Paul, MN, USA)을 적용해 도말층을 제거한 후 blot-dry 시켰다. 5~10분 동안 상아세관을 통한 물의 흐름을 측정하고 그 흐름율을 기준으로 정하였다 (Fig. 2).

1군: RMGI 바니쉬는 Clinpro XT varnish (3M ESPE)를 사용하였으며, 제조사의 지시대로 적용 후 광조사

기(Elipar S10, 3M ESPE)를 사용해 광중합 하였다.

2군: 많이 쓰이는 도포용 재제와의 비교를 위해 대표적인 옥살레이트 성분의 탈감작성 재제인 SuperSeal (Phoenix Dental, Fenton, MI, USA)을 제조사의 지시대로 적용하였다 (Table 1).

탈감작성 재제 적용 후 10분 동안 상아세관액의 흐름을 관찰하고, 적용 전후의 흐름율을 측정하여 그 감소를 다음과 같이 계산하였으며, 각 그룹당 8번의 측정을 시행하였다.

흐름율 감소(%)

$$= 100 \times (\text{기준치 흐름율} - \text{적용 후 흐름율}) / \text{기준치 흐름율}$$

탈감작성 재제 적용 전후 세관액 흐름율의 변화를 비교하기 위해 짝 *t*-검정 (paired *t*-test)을 시행하였다. 각 실험군 간 세관액 흐름율의 감소를 비교하기 위해 일원변량분석 (one-way ANOVA)을 시행하였다 ( $\alpha < 0.05$ ).

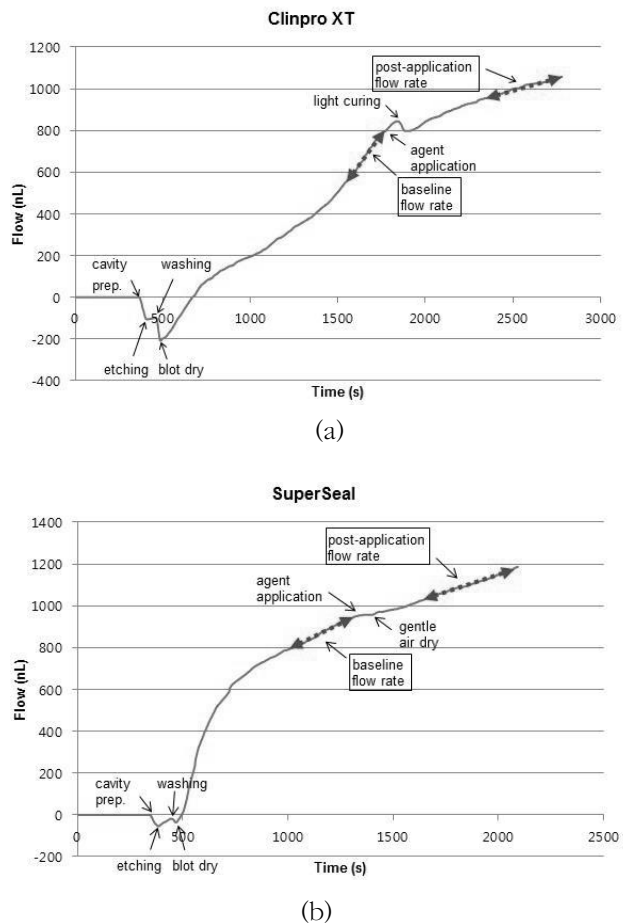


Figure 2. Representative curves of dentinal fluid flow as a function of time during the cavity preparation to the application of desensitizing agents: (a) Clinpro XT varnish, (b) SuperSeal.

**Table 1.** The components and application procedures of the desensitizing agents used in this study

Desensitizing agent	Components	Application procedures	Manufacturer
Clinpro XT	Liquid: HEMA, water, initiators and calcium glycerophosphate Paste: HEMA, Bis-GMA, water, initiators and fluoroaluminosilicate glass	mix 15 s, apply a thin layer (0.5 mm), light curing 20 s	3M ESPE, St Paul, MN, USA
SuperSeal	Oxalate, potassium salt	apply 30s, gentle air-dry	Phoenix Dental, Fenton, MI, USA

**(4) 주사전자현미경 관찰**

발치한 대구치의 치관부를 수평으로 삭제하여 상아질을 노출시킨 후 물 저장고에 연결하여 20 cm H<sub>2</sub>O의 정수압을 10분 동안 가하였다. 32% 인산으로 도말층을 제거하고 물로 수세한 후 blot-dry 하였다. 노출된 상아세관을 통해 물의 흐름을 확인 한 후 탈감작성 재제를 상아질에 적용하였다. 각 치아 당 한가지 방법으로 처리하였으며, 처리한 단면의 3 mm 아래에서 고속 핸드피스를 사용해 삭제하고 수직으로 파절시켜 절편을 만든 후 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

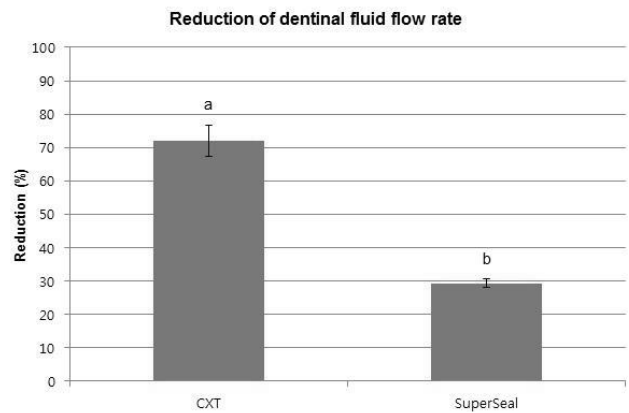
본 연구의 귀무가설은 “노출된 상아질에 탈감작성 재제 적용 후 상아세관액 흐름의 변화가 없다” 이다.

**연구 결과**

각 군의 대표적인 시간에 따른 상아세관액 흐름의 변화는 Fig. 2와 같다. 모든 군에서 와동형성과 수세시 두 번의 음의 흐름 (negative flow)을 보였고, 와동형성, 산부식, 수세, blot dry가 끝난 후 양의 흐름 (positive flow)을 나타냈다. 적용된 방법에 따라 각 실험군의 세관액 흐름의 변화는 다른 양상을 보였다. Clinpro XT 바니쉬 군의 경우, 바니쉬 적용 후 광중합시 음의 흐름을 그리며 광중합이 끝난 후 다시 양의 흐름을 나타내었다. SuperSeal 군에서는 탈감작성 재제 적용 시 상아세관액 흐름의 출렁거림을 보이고 점차 상아세관액 흐름율의 감소를 나타내었다.

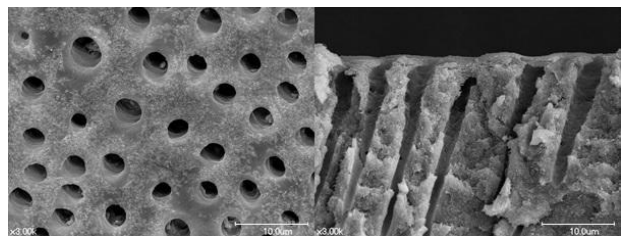
탈감작성 재제 적용 후 상아세관액 흐름율의 감소를 보였고, 이 값은 기준치 흐름율과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다 ( $p < 0.05$ ). 탈감작성 재제 적용 후 상아세관액 흐름율의 감소는 Fig. 3에 나타나 있다. CXT 군은 평균 71.9%, SuperSeal 군은 29.4%의

흐름을 감소를 보였다. 그룹간 비교에서 CXT 군은 SuperSeal 군보다 더 큰 흐름율의 감소를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

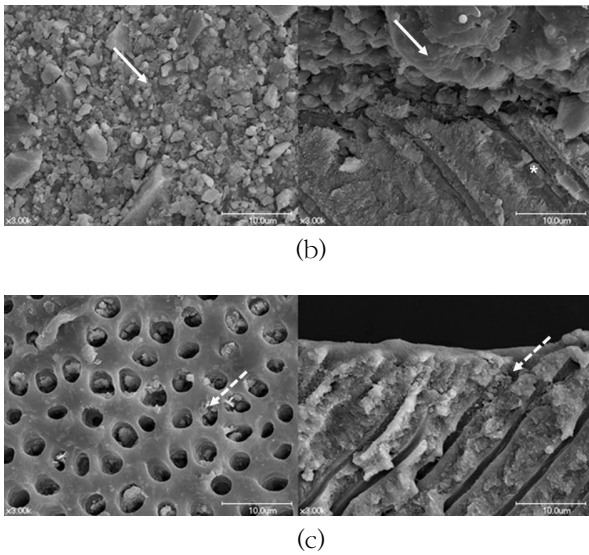


**Figure 3.** Reduction (%) in dentinal fluid flow rate by Clinpro XT varnish and SuperSeal (The groups with the different letter were statistically different).

각 실험군의 주사전자현미경 영상은 실험군에 따라 다른 양상을 보였다 (Fig. 4). Clinpro XT 바니쉬 군에서는 적용된 RMGI가 상아세관을 덮고 있는 모습을 관찰 할 수 있었으며, 파절면 사진에서 상아세관 안으로 들어간 레진태그 (resin tag) 형태의 RMGI 조각을 볼 수 있었다. SuperSeal을 적용 한 경우, 작은 결정상 조각들이 상아세관 내부를 채우고 있으며 그로 인해 상아세관의 크기가 작아져 있는 모습이 관찰되었다.



(a)



**Figure 4.** SEM images of dentinal tubules: (a) No treated opened tubule, Treated by (b) Clinpro XT varnish, and (c) SuperSeal.

Note the RMGI cover (solid arrows), resin tag (star) and oxalate crystals (dashed arrows).

## 고찰

많은 상아질 과민증 치료방법들은 상아세관액의 흐름을 막기 위해 노출된 상아세관을 폐쇄하는 기전을 가진다. 지금까지 상아세관의 폐쇄효과를 관찰하기 위해 사용한 SEM과 같은 방법들은 실제로 상아세관액의 흐름이 정량적으로 얼마나 감소되는지를 알려주지 못하며, 상아질 디스크를 사용하여 투과도를 측정하는 방법 역시 실시간으로 일어나는 상아세관액의 흐름을 보여주지 못하였다. 본 연구에서는 발치된 치아에 생리적 치수압을 재현하기 위해 20 cm H<sub>2</sub>O의 정수압을 가하였고, 치경부 와동형성을 통해 실제 임상적인 상황을 재현하였다. 또한 와동형성부터 산-부식 및 탈감작성 재제의 적용 후까지 상아세관액의 흐름을 실시간으로 측정함으로써 실제로 각 단계마다 상아세관액이 어떻게 흐르며, 탈감작성 방법에 따라 어느 정도의 흐름 억제효과를 보이는지 알 수 있었다.

시편을 측정장치에 연결한 후 와동형성 전 상아세관액의 흐름이 없음을 확인하였다. 치경부 와동형성을 시작하면 상아세관이 노출되며 핸드피스에서 방사되는 물의 압력 때문에 상아세관액의 흐름은 내부를 향한 움직임 (inward movement), 즉 음의 흐름을 나타낸다. 와동형성 후 산-부식제를 적용하면 노출된 상아세

관으로 외부로 향한 움직임 (outward movement), 즉 양의 흐름을 나타내며, 수세 시에 적용되는 물의 압력에 의해 다시 내부를 향한 움직임을 보였다. 그 후 산-부식에 의해 도말층이 제거된 노출된 상아세관으로 상아세관액은 외부로 향한 움직임을 보였으며, 이 때의 세관액 흐름율이 탈감작성 재제 처리 전의 기준치 흐름율이 된다. 와동형성, 산-부식, 수세, blot-dry 같은 전처리에 의한 세관액 흐름의 변화가 안정화되어 일정한 기울기를 보였을 때의 값을 기준치 흐름율로 정했다.

Clinpro XT 바니쉬 군의 경우, 바니쉬를 적용하고 광중합을 시행하면 광중합기의 열에 의해 치수강에 있는 물의 열팽창으로 모세관 내부의 물이 역류하여 일시적인 음의 흐름을 나타냈다. 광중합 후 열팽창 되었던 물이 원상복귀 됨에 따라 다시 양의 흐름을 보였다. 그 후 세관액의 흐름은 안정화되고 바니쉬에 의해 상아세관의 투과도가 줄어든 만큼 세관액의 흐름율은 감소하였다. SuperSeal 군의 경우, 재제 적용 시의 문지르는 동작 때문에 세관액 흐름의 출렁거림이 관찰되었으며, 옥살레이트가 침착됨에 따라 세관액의 흐름율은 감소하였다.

레진강화형 글래스아이오노머 (RMGI) 바니쉬는 혼성층 (hybrid layer)과 레진 태그에 의한 미세기계적 결합과 (Ding 등, 2014) 카르복실기 이온결합에 의한 화학적 결합 (Mitra 등, 2009)을 통해 상아세관을 막을 수 있다. 이 RMGI는 3개월 후에도 70% 정도까지 남아 있으며, 80~90% 소실 후에도 무정형 구역 (amorphous zone)이 남아있어 증상 개선에 영향을 줄 수 있다 (Tantbirojn 등, 2006). 이번 연구에서 Clinpro XT 바니쉬는 약 71.9%의 상아세관액 흐름의 감소를 보였으며, 이는 RMGI 도포가 상아세관을 그만큼 막을 수 있음을 시사한다. SEM 영상을 보면, RMGI가 상아세관을 두껍게 막고 있는 모습을 관찰 할 수 있었다. 파절면 영상에서도 상아세관 내부까지 RMGI가 침투해 들어가 있었으며, 이를 통해 상아세관 크기의 감소 혹은 세관의 폐쇄를 이루었음을 확인할 수 있었다.

옥살레이트의 상아질에 대한 효과는 오래 전부터 연구되어 왔다 (Pashley 등, 1985). SuperSeal은 옥살산 칼륨 재제로서, 상아질의 칼슘 이온과 반응하여 칼슘 옥살레이트 결정상을 형성하며, 이 결정상이 노출된 상아세관을 폐쇄시킨다 (Kim 등, 2013). 본 연구에서도 SuperSeal을 적용한 후 상아세관액 흐름의 감소를

관찰할 수 있었으며, 그 감소 정도는 약 29.4% 정도였다. SEM 분석을 통해 옥살레이트 결정상이 상아세관 내부를 폐쇄시키는 것을 확인할 수 있었다.

Clinpro XT 바니쉬와 SuperSeal 모두 노출된 상아세관에 적용 후 유의하게 상아세관액 흐름율의 감소가 있었고, 따라서 본 연구의 귀무가설은 기각되었다. 이것은 두 가지 재제 모두 상아질 과민증의 치료에 충분히 사용될 수 있음을 나타낸다. 그러나 어느 실험군에 서도 완전한 상아세관 폐쇄를 보이지는 않았으며, 어느 정도의 폐쇄와 상아세관액 흐름의 감소만을 나타내었다. 실험군간 비교에서 Clinpro XT 바니쉬군은 SuperSeal군 보다 유의하게 상아세관액 흐름의 감소효과를 나타냈다. 옥살레이트 결정상의 상아세관 내 침착보다 RMGI를 통한 상아세관 폐쇄가 상아세관액 흐름의 감소에는 더 효과적일 것으로 생각된다.

노출된 상아질에 RMGI 바니쉬의 적용은 상아세관의 폐쇄에 의한 상아세관액 흐름의 감소를 초래한다. 하지만 이런 상아세관액 흐름의 감소효과가 얼마나 지속될 수 있는지에 대해서는 보고된 바 없다. 임상적으로 생각해 볼 때, 폐쇄된 상아질은 항상 수분과 접촉한 상태로 있게 되며 칫솔질에 의한 마모도 있을 것이다. 후속 연구에서는 시간 또는 칫솔질이 탈감작성 재제에 의해 폐쇄된 상아세관액 흐름의 변화에 미치는 영향에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

## 결 론

RMGI 바니쉬인 Clinpro XT 바니쉬와 옥살레이트 성분의 탈감작성 재제인 SuperSeal을 노출된 상아질에 적용하여 실시간으로 상아세관액의 흐름을 측정하였다. 탈감작성 재제의 종류에 따라 상아세관액의 흐름은 서로 다른 양상을 보였다. Clinpro XT 바니쉬 군의 경우 광중합 시 급격한 음의 흐름을 보였으며, 광중합 종료 후 다시 양의 흐름을 보였다. SuperSeal 군은 재제의 적용 시 약간의 출렁거림을 보였으며, 그 후 일정한 양의 흐름을 나타냈다. SEM 영상에서 Clinpro XT 바니쉬 군에서는 두꺼운 RMGI 층에 의해 폐쇄된 상아세관이 관찰되었고, SuperSeal 군에서는 상아세관에 침착된 옥살레이트 결정상을 볼 수 있었다. 두가지 탈감작성 재제 모두 적용 후 상아세관액 흐름율이 적용 전에 비해 유의하게 감소하였으며, Clinpro XT 바니쉬 적용

군이 SuperSeal 적용군에 비해 현저하게 높은 상아세관액 흐름율의 감소를 보였다. 임상적으로 상아질 과민증 치료에 있어, 옥살레이트 침착에 의한 상아세관 크기의 감소보다 RMGI에 의한 상아세관의 폐쇄효과가 더 클 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- Abed AM, Mahdian M, Seifi M, Ziaei SA, Shamsaei M (2011). Comparative assessment of the sealing ability of Nd:YAG laser versus a new desensitizing agent in human dentinal tubules: a pilot study. *Odontology* 99:45-48.
- Al-Saud LM, Al-Nahedh HN (2012). Occluding effect of Nd:YAG laser and different dentin desensitizing agents on human dentinal tubules in vitro: a scanning electron microscopy investigation. *Oper Dent* 37:340-355.
- Aranha AC, Pimenta LA, Marchi GM (2009). Clinical evaluation of desensitizing treatments for cervical dentin hypersensitivity. *Braz Oral Res* 23:333-339.
- Brannstrom M, Linden LA, Astrom A (1967). The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid. A discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. *Caries Res* 1:310-317.
- de Andrade e Silva SM, Marquezini L, Jr., Manso AP, Garcia FP, Carrilho MR, et al (2007). Effects of a combined application of potassium oxalate gel/adhesive agent on dentin permeability in vitro. *J Adhes Dent* 9:505-512.
- Ding YJ, Yao H, Wang GH, Song H (2014). A randomized double-blind placebo-controlled study of the efficacy of Clinpro XT varnish and Gluma dentin desensitizer on dentin hypersensitivity. *Am J Dent* 27:79-83.
- Ehlers V, Ernst CP, Reich M, Kammerer P, Willershausen B (2012). Clinical comparison of gluma and Er:YAG laser treatment of cervically exposed hypersensitive dentin. *Am J Dent* 25:131-135.
- Femiano F, Femiano R, Lanza A, Festa MV, Rullo R,

- Perillo L (2013). Efficacy of diode laser in association to sodium fluoride vs Gluma desensitizer on treatment of cervical dentin hypersensitivity. A double blind controlled trial. *Am J Dent* 26: 214-218.
- Hansen EK (1992). Dentin hypersensitivity treated with a fluoride-containing varnish or a light-cured glass-ionomer liner. *Scand J Dent Res* 100: 305-309.
- Hoang-Dao BT, Hoang-Tu H, Tran-Hung L, Camps J, Koubi G, About I (2008). Evaluation of a natural resin-based new material (Shellac F) as a potential desensitizing agent. *Dent Mater* 24: 1001-1007.
- Jacobsen PL, Bruce G (2001). Clinical dentin hypersensitivity: understanding the causes and prescribing a treatment. *J Contemp Dent Pract* 2: 1-12.
- Kim SY, Ferracane J, Kim HY, Lee IB (2010). Real-time measurement of dentinal fluid flow during amalgam and composite restoration. *J Dent* 38: 343-351.
- Kim SY, Kim EJ, Kim DS, Lee IB (2013). The evaluation of dentinal tubule occlusion by desensitizing agents: a real-time measurement of dentinal fluid flow rate and scanning electron microscopy. *Oper Dent* 38:419-428.
- Komabayashi T, Imai Y, Ahn C, Chow LC, Takagi S (2010). Dentin permeability reduction by a sequential application of calcium and fluoride-phosphate solutions. *J Dent* 38:736-741.
- Low T (1981). The treatment of hypersensitive cervical abrasion cavities using ASPA cement. *J Oral Rehabil* 8:81-89.
- Mitchell JC, Musanje L, Ferracane JL (2011). Biomimetic dentin desensitizer based on nanostructured bioactive glass. *Dent Mater* 27:386-393.
- Mitra SB, Lee CY, Bui HT, Tantbirojn D, Rusin RP (2009). Long-term adhesion and mechanism of bonding of a paste-liquid resin-modified glass-ionomer. *Dent Mater* 25:459-466.
- Pashley DH (1986). Dentin permeability, dentin sensitivity, and treatment through tubule occlusion. *J Endod* 12:465-474.
- Pashley DH, Galloway SE (1985). The effects of oxalate treatment on the smear layer of ground surfaces of human dentine. *Arch Oral Biol* 30: 731-737.
- Patel R, Chopra S, Vandeven M, Cummins D (2011). Comparison of the effects on dentin permeability of two commercially available sensitivity relief dentifrices. *J Clin Dent* 22:108-112.
- Polderman RN, Frencken JE (2007). Comparison between effectiveness of a low-viscosity glass ionomer and a resin-based glutaraldehyde containing primer in treating dentine hypersensitivity--a 25.2-month evaluation. *J Dent* 35:144-149.
- Rusin RP, Agee K, Suchko M, Pashley DH (2010). Effect of a new desensitizing material on human dentin permeability. *Dent Mater* 26:600-607.
- Tantbirojn D, Poolthong S, Leevailoj C, Srisawasdi S, Hodges JS, Randall RC (2006). Clinical evaluation of a resin-modified glass-ionomer liner for cervical dentin hypersensitivity treatment. *Am J Dent* 19:56-60.