

QLF를 이용한 항우식 제품의 인공우식 재광화 효과에 대한 연구

송주현 · 김영재 · 김정욱 · 장기택 · 김종철 · 한세현 · 이상훈

서울대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

본 연구는 항우식 제품인 저농도의 불소 양치액(500 ppm NaF)과 Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP)를 포함하는 치아 연고, 그리고 이 두 제품을 같이 사용했을 경우, 인공 우식 병소의 재광화 효과를 알아보고자 하였다. 제3대구치 협면에 인공우식을 유발하였고, 시편을 16개씩 4군으로 나누어, 28일 동안 매일 2회 다음과 같은 항우식 제품을 시편에 처리하였고, pH 순환 시스템을 적용하였다.

1군: 대조군(무처리)

2군: Tooth Mousse® (GC Co. Japan)

3군: 치카치카® (삼일제약, 한국)

4군: 치카치카®+Tooth Mousse®

무기질 소실량(ΔQ)의 장기적인 변화를 Quantitative light-induced fluorescence(QLF)를 이용하여 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. ΔQ는 1군에서는 28일동안 유의성 있는 차이를 보이지 않았고, 2군과 3군에서는 처치전에 비해 14일부터 유의성 있는 증가를 보였으며, 4군에서는 7일부터 유의성 있는 증가를 보였다.
2. ΔQ는 1군 < 2군, 3군 < 4군 순이었다.
3. ΔQ는 1군과 비교시 2군은 7일, 3군과 4군은 3일부터 유의성 있는 증가를 보였고, 2군은 3군과 전 기간 동안 유의차가 없었다. 4군은 2군과 3군에 비해 28일에 유의성 있는 증가를 보였다.
4. 모든 군에서 재광화 속도는 점차 감소하였다.

주요어 : 불소 양치액, Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP), 재광화, pH 순환 시스템, Quantitative light-induced fluorescence(QLF)

I. 서 론

치아 우식 유병률은 전 세계적으로 감소 추세에 있고 대다수 치아 우식은 진행이 느려, 치과치료는 외과적 와동 형성보다는

비침습적 방법을 지향하는 술식으로 변화하게 되었다^{1,2)}. 따라서 우식 와동이 형성되기 전 탈회된 법랑질을 재광화하는 개념은 예방적 접근을 위해 더욱 중요해졌다³⁾. 재광화는 역동적인 치아 우식 과정의 일부로, 우식에 저항력이 약한 무기질이 Hydroxyapatite(HAP)나 Fluorhydroxyapatite(FHAP)로 변형되는 것이다⁴⁾. 우식병소는 기존의 손상받은 결정에 무기질이 첨가되거나, 손상받은 무기질이 결정핵으로 작용하여 새로운 결정이 형성되어 치유된다. 새로운 결정은 기존의 결정보다 크기가 크거나 유사하며, 결정 사이의 유기물이 소실되어 결정 사이의 공간이 줄고, 법랑질의 산 투과도가 감소되어 우식 저항

교신저자 : 이 상 훈

서울시 종로구 연건동 275-1

서울대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel: 02-2072-3819

E-mail: musso@snu.ac.kr

성이 증가된다⁵⁾. 구강내 재광화에 영향을 주는 요소들로는 치태와 타액 내 생물학적인 요소, 법랑질 조성, 구강위생, 식이습관, 재광화 약제에 노출 여부 등을 들 수 있다^{6,7)}. 재광화 약제로는 불소와 Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP)가 대표적이다.

Quantitative light-induced fluorescence(QLF)는 초기 우식증을 감지하고 우식의 진행과 재광화를 지속적으로 감시할 수 있는 가시광선 시스템이다. 50-W xenon arc lamp에서 나온 빛이 필터에 의해 걸러져 370nm 파장을 가진 푸른빛이 치아를 통과한다. 치아에서 방출된 빛은 다시 필터에 의해 걸러져 녹색빛($\lambda \geq 520\text{nm}$)만을 CCD 카메라가 감지하게 된다. 건전한 법랑질에서는 녹색이 우세하게 나타나고, 법랑질이 탈회되면 자가형광성이 감소하게 되며 그 양은 특수한 software에 의해 정량화되어 무기질 감소량(ΔQ)이 측정되는 것이다⁸⁻¹⁰⁾.

본 연구는 항우식 제품인 저농도의 불소 양치액 치카치카[®](삼일제약, 한국)와 CPP-ACP를 포함하는 치아 크림 Tooth Mousse[®](GC Co., Japan), 그리고 이 두 제품을 같이 사용했을 경우, 인공 우식 병소의 재광화 효과를 알아보고자 하였고, 재광화의 장기적인 변화를 QLF를 이용하여 관찰하였다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 연구 재료

치아 주변의 이물질을 제거하고, 초음파 세척하여 협측 법랑질에 우식이나 균열, 파절, 마모, 수복물이 없는 제3대구치를 선별한 후, 탈회를 방지하기 위하여 0.1 % Thymol 용액에 보관하였다.

나. 연구 방법

1) 시편 제작

치아를 근원심으로 절단한 후, 협측 치아 절편을 아크릴 블록에 매몰하고 가로 3mm, 세로 3mm 영역을 제외한 모든 면을 불소가 없는 투명 바니쉬로 2회 도포하였다.

2) 인공 우식 병소 유발

치아 시편을 37°C 인공 우식 용액에 3일 동안 담겼다. 인공 우식 용액의 조성은 75mM acetic acid, 2mM CaCl₂, 2mM K₂HPO₄, pH4.3 이었다¹¹⁾.

3) QLF 측정

인공 우식 병소가 형성된 치아 시편을 증류수로 세척하고 30초 동안 압축 공기로 시편을 건조시킨 후, QLF™(Inspector Research System BV, The Netherlands)를 이용하여, 인공 우식 병소의 ΔQ 를 측정하였다. 치아마다 인공 우식 용액에 병소가 형성되는 정도가 다를 것을 예상하여, 120개의 치아 시편을 만들었고 ΔQ 가 평균과 거리가 있는 시편은 제외하였다. 각

군의 ΔQ 의 평균값이 일정하도록 치아 시편을 군마다 16개씩 분배하였다. 각 군은 다음과 같으며, 사용된 항우식 제품의 특성은 Table 1과 같다.

1군: 대조군(무처치군)

2군: Tooth Mousse[®] (GC Co, Japan)

3군: 치카치카[®] (삼일제약, 한국)

4군: 치카치카[®] + Tooth Mousse[®]

4) pH 순환 시스템

<1군>

시편을 37°C 탈회 용액(75mM acetic acid, 2mM CaCl₂, 2mM K₂HPO₄, pH4.3)에 10분간 담겼다. 증류수로 세척한 후 37°C 인공타액에 담겼다. 12시간 후 이 과정을 1회 더 반복하였다.

사용한 인공타액의 조성은 다음과 같다. 100mL 인공타액 내 1g Carboxymethyl-cellulose, 84mg NaCl, 120mg KCl, 15mg CaCl₂, 5mg MgCl₂, 34mg K₂HPO₄ 이 포함되어 있고, pH는 7.0이었다¹²⁾. 1일, 2일, 3일, 7일, 14일, 28일 경과 후, QLF를 이용하여 ΔQ 를 측정하였다.

<2군>

시편을 37°C 탈회 용액에 10분간 담겼다. 증류수로 세척한 후, 탈회된 부위에 Tooth Mousse[®]를 1mm 두께로 바르고 3분 후에 37°C 인공타액에 시편을 30분 동안 담겼다. 30분 후 시편을 증류수로 세척하고 다시 37°C 인공타액에 담겼다. 12시간 후 다시 이 과정을 반복하여 1일 2회 Tooth Mousse[®]를 시편에 적용하였다. 1일, 2일, 3일, 7일, 14일, 28일 경과 후, QLF를 이용하여 ΔQ 의 변화를 측정하였다.

<3군>

시편을 37°C 탈회 용액에 10분간 담근 후 증류수로 세척하고, 치카치카[®] 용액에 1분간 보관하였다. 시편을 꺼내어 37°C 인공타액에 30분 동안 담근 후, 시편을 증류수로 세척하고 37°C 인공타액에 담겼다. 12시간 후 다시 이 과정을 반복하여 1일 2회 치카치카[®]를 적용하였다. 1일, 2일, 3일, 7일, 14일, 28일 경과 후, QLF를 이용하여 ΔQ 의 변화를 측정하였다.

<4군>

시편을 37°C 탈회 용액에 10분간 담근 후 증류수로 세척하고, 치카치카[®] 용액에 1분간 보관한 후, 시편을 꺼내어 탈회된 치아면에 Tooth Mousse[®]를 1mm 두께로 바르고 3분 후에 37°C 인공타액에 시편을 30분 동안 담겼다. 30분 후 시편을 증류수로 세척하고 다시 37°C 인공타액에 담겼다. 12시간 후 다시 이 과정을 반복하여 1일 2회 두 제품을 시편에 적용하였다. 1일, 2일, 3일, 7일, 14일, 28일 경과 후, QLF를 이용하여 ΔQ 의 변화를 측정하였다.

다. 통계 처리

군 간 ΔQ의 변화와 처리기간 동안의 ΔQ의 변화가 유의한 지 알아보기 위하여, 일원배치 분산분석을 시행하였고 Scheffe의 다중분석으로 사후검정을 하였다. p값은 0.05로 하였다.

Ⅲ. 연구 성적

항우식 제품 처치 전 각 군의 ΔQ는 군 간 차이가 없었다 (Table 2). 항우식 제품을 처치한 후 1일, 2일, 3일, 7일, 14일, 28일 경과 후 ΔQ의 평균값과 표준 편차는 Table 2와 Fig. 1에 제시되었다.

1군의 ΔQ는, 1일에 감소했다가 다시 서서히 증가하여 7일에는 pH 순환 전 ΔQ에 이르렀고 이 후 약간의 증가를 보였다 (Table 2, Fig. 1). 그러나 28일 후에도 pH 순환을 시작하기 전의 ΔQ와 통계적 유의성을 보이지 않았다 (Table 3). 2군에서는 Tooth Mousse를 처치하기 전보다 ΔQ값이 계속 증가했고 (Table 2, Fig. 1), 14일부터 통계적 유의차를 보였다 (Table 3). 3군의 ΔQ값은 2군의 변화와 유사했다 (Table 2, 3, Fig. 1). 4군의 ΔQ 값은 시간이 지날수록 증가했고 (Table 2, Fig. 1), 처치 전에 비해 7일부터 유의차를 보였다 (Table

3). QLF 상에서 노란색 영역은 적색 영역보다 광물질 소실이 더 많음을 의미하는데, 1군에서 광물질 소실 정도는 28일 후에도 변화가 없었다 (Fig 2-a,b). 2군의 QLF 상에서는 처치전보다 14일 후에 노란색 영역이 감소했고 적색 영역이 증가했으며, 28일 후에는 노란색 영역이 더욱 감소했음을 알 수 있었다 (Fig. 3-a,b,c). 3군의 QLF 상 변화는 2군과 유사했다 (Fig. 4-a,b). 4군의 QLF 상에서는 7일 후에 인공우식 병소 부위의 색변화가 관찰되었고, 점차 노란색 영역이 감소되었음을 알 수

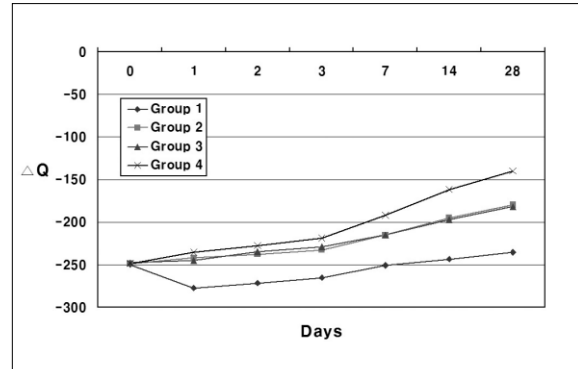


Fig. 1. The change of the ΔQ in four groups.

Table 1. Commercially available anticariogenic products used in this study

Material	Composition	Manufacturer
Tooth Mousse®	Pure water, Glycerol CPP-ACP, D-sorbitol Silicon dioxide	GC Co. Japan
치카치카®	Sodium fluoride 0.05% Xylitol	삼일제약. 한국

Table 2. The mean ΔQ of each group according to the duration of remineralization (mm² · %)

	Before treatment	After 1 day	After 2 days	After 3 days	After 7 days	After 14 days	After 28 days
Group 1	-	-	-	-	-	-	-
	249.69 ±33.12	-277.18 ±41.69	-271.38 ±24.75	-265.38 ±26.19	-251.06 ±27.85	-243.56 ±33.71	-235.81 ±24.89
Group 2	-	-	-	-	-	-	-
	248.75 ±42.47	-241.75 ±36.59	-237.69 ±38.01	-232.44 ±28.06	-215.06 ±32.56	-194.81 ±28.88	-179.75 ±29.66
Group 3	-	-	-	-	-	-	-
	247.81 ±41.67	-244.69 ±35.34	-234.75 ±23.36	-229.13 ±27.75	-215.25 ±28.69	-197.44 ±30.05	-181.94 ±31.53
Group 4	-	-	-	-	-	-	-
	248.69 ±36.52	-235.31 ±40.02	-277.19 ±22.84	218.5 ±25.61	-192.25 ±20.96	-161.77 ±29.38	-139.76 ±24.44

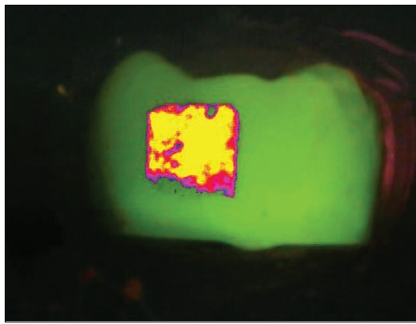


Fig. 2-a. Group 1 before treatment.

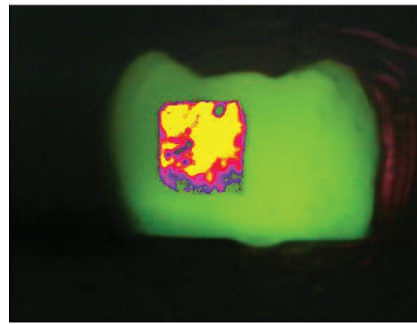


Fig. 2-b. Group 1 after 28 days.

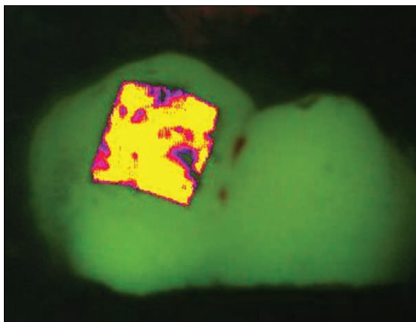


Fig. 3-a. Group 2 before treatment.

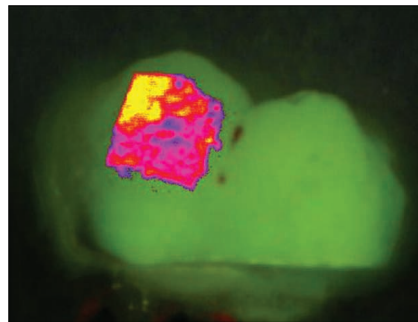


Fig. 3-b. Group 2 after 14 days.

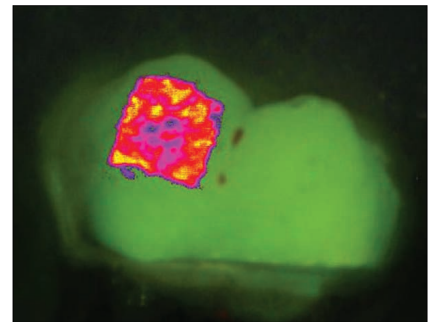


Fig. 3-c. Group 2 after 28 days.

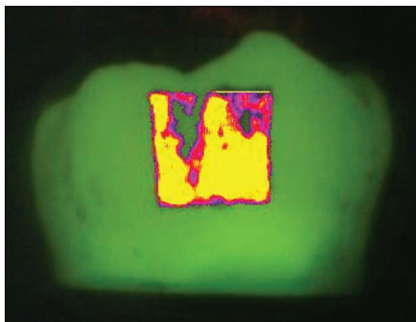


Fig. 4-a. Group 3 before treatment.

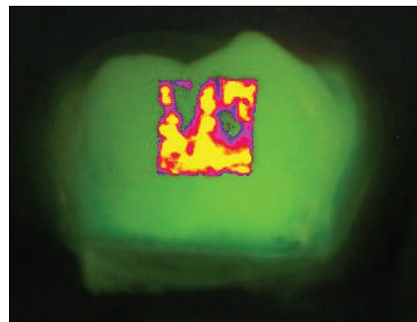


Fig. 4-b. Group 3 after 28 days.

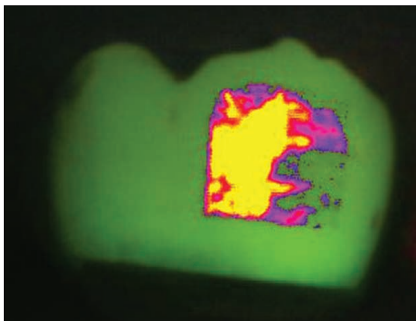


Fig. 5-a. Group 4 before treatment.

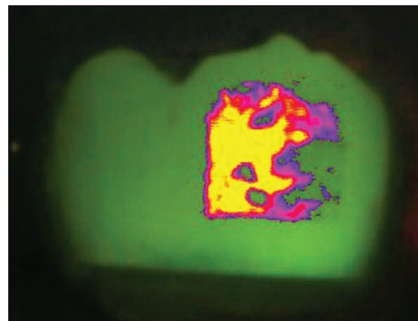


Fig. 5-b. Group 4 after 7 days.

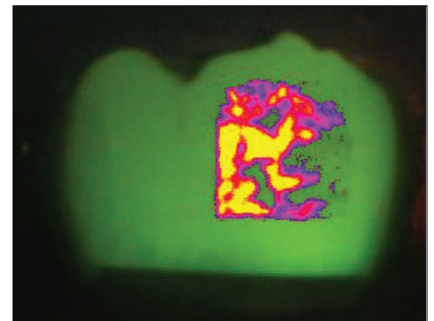


Fig. 5-c. Group 4 after 28 days.

The yellow color means that mineral loss is more than red color.

Table 3. The comparison of the ΔQ between days (Group 1/2/3/4)

Day	0	1	2	3	7	14	28
0		-/-/-	-/-/-	-/-/-	-/-/*	-/*/*	-/*/*
1			-/-/-	-/-/-	-/-/*	-/*/*	-/*/*
2				-/-/-	-/-/-	-/-/*	-/*/*
3					-/-/-	-/-/*	-/*/*
7						-/-/-	-/-/*
14							-/-/-
28							

-: Not statistically significant(p>0.05)

*: statistically significant(p<0.05)

Table 4. The comparison of ΔQ between groups (0/1/2/3/7/14/28days)

Group	1	2	3	4
1		-/-/*/*	-/*/*/*	-/*/*/*
2			-/-/-/-	-/-/-/-/*
3				-/-/-/-/*
4				

-: Not statistically significant(p>0.05)

*: statistically significant(p<0.05)

Table 5. The mean ΔΔQ(difference of ΔQ) between 1 day in one group (mm² · %)

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
1-0(day)	-27.49±23.81	7.00±34.75	3.12±40.64	13.38±42.80
2-1(day)	5.80±11.34	4.06±18.94	9.94±10.58	8.12±11.88
3-2(day)	6.00±43.81	5.25±17.39	5.62±12.16	8.69±16.27
7-3(day)/4	3.58±2.44	4.35±3.63	3.47±2.90	6.56±2.67
14-7(day)/7	1.07±1.68	2.89±1.42	2.54±1.29	4.35±1.61
28-7(day)/14	0.55±0.46	1.08±1.04	1.11±1.09	1.57±1.50

있었다(Fig. 5-a,b,c).

항우식 제품 처치기간 도중, ΔQ값의 증가량은 4군에서 가장 컸고, 2군과 3군은 유사했으며, 1군이 가장 적었다(Fig. 2). 4군의 ΔQ값의 변화량은 2군과 3군의 변화량의 1.5~2배에 달했다.

ΔQ값은 1군과 비교시 2군은 7일, 3과 4군에서는 3일부터 유의성 있는 증가를 보였다(Table 4). 2군은 3군과 전 기간 동안 유의성 있는 차이를 보이지 않았고, 4군은 2, 3군과 비교시 28일에 유의성 있는 증가를 보였다(Table 4).

각 군에서 1일간 평균 ΔΔQ(ΔQ의 차)값은 시간이 지나면서 급격히 감소했다(Table 5). 1일간 평균 ΔΔQ값은 재광화 속도를 의미한다.

IV. 총괄 및 고찰

치아 우식증의 탈회와 재광화를 연구하는 실험실 방법으로는 편광현미경¹³⁾, 횡단미세방사선법(TMR)¹⁴⁾, 전자현미경¹⁵⁾, 입체현미경¹⁶⁾, 미세경도측정¹⁷⁾ 등이 사용되고 있는데, TMR이 gold standard로 알려져 있다^{6,7)}. 그런데 이 방법들은 임상에서 사용이 어렵고, 침습적이어서 장기간의 범랑질 탈회와 재광화를 관찰하는데 한계가 있다¹⁸⁾. 이러한 한계를 극복할 수 있는 장비로는 laser fluorescence(LF)¹⁹⁾, digital imaging fiber-optic trans-illumination(DiFOTI)^{7,19)}, quantitative light-induced fluorescence(QLF)¹⁴⁾, electronic caries monitor(ECM)¹⁹⁾, 초음파²⁰⁾ 등이 있다. Aljehani 등은 QLF가 무기질 소실의 평가에 가장 우수한 TMR과 0.84의 높은 상관 계수를

보였다고 하였음으로²¹⁾, 본 연구에서는 28일간 항우식 제품 처리기간 동안의 시편의 무기질 소실 정도를 QLF를 이용하여 정량적으로 평가하였다.

불소는 무기물 형성과 무기물 치환시 반응 속도에 영향을 주는 촉매제로 작용하여 법랑질 재광화를 촉진시킨다⁴⁾. 일부의 불소는 탈회된 HAP 결정에 흡수되거나, 재광화 기간동안 FHAP로 재침착되고, 용해도가 높은 칼슘인산인 Dicalcium phosphate(DCPD), Octacalcium phosphate(OCP) 형성을 제한한다^{4,22)}. 재광화시 부분적으로 탈회된 법랑질의 결정이 결정화의 핵으로 작용해 CaF₂ 같은 물질이 그 위에 코팅되고, 일부의 불소는 FHAP나 Fluorapatite(FAP)로 병합된다^{22,23)}. 그 결과 법랑질 표면은 산에 대한 저항성이 증가되고 임계 pH에서 HAP 용해도가 감소하게 되는 것이다²⁴⁾.

저농도의 불소는 탈회와 재광화의 반응을 재광화 쪽으로 향하게 하는데, 0.01~0.2ppm의 불소로도 HAP 성장을 유도하기에 충분하다²⁵⁾. Gibbs 등은 0.04ppm의 불소 농도에서도 순 재광화가 관찰되었다고 하였다²⁶⁾. 한편 Zero 등은 0.05% NaF 양치액을 1분간 사용하면 2~4시간 동안 불소 농도가 상승하고, 치태내의 불소 농도는 더 오랜 시간 상승함을 보고하였다²⁷⁾. Arends와 Christoffersen은 저농도의 불소를 자주 사용하는 것이 일 년에 몇 번 고농도의 불소를 적용하는 것보다 재광화에 더욱 효과적이라 하였다²⁸⁾. 따라서 본 연구에서 가정에서 자주 사용할 수 있는 저농도의 불소 양치액을 재광화 약제 중 하나로 선택하였다.

그런데 불소로 재광화된 결정의 방향은 건전 법랑질처럼 완전하지 않고, 무작위적인 방향성을 가지며, 재광화 후에도 건전 법랑질과 같은 무기질 밀도를 100% 회복하지 못한다. 이는 광화시 표층이 먼저 광화되어 병소 내부의 완전한 광화가 힘들고, 타액내 단백질이 결정 형성을 억제하기 때문이다. 따라서 불소에 의해 진행이 멈춘 병소 표면에는 다공성이 존재하고 착색이 되는 단점이 있었다²⁹⁾.

한편 칼슘과 인산을 포함하는 재광화 용액은 불용성 칼슘인산을 형성하여 치아 표면에 적용하기도 어렵고 효과적으로 유지되지 못하며, 불용성 분자로부터 칼슘, 인산이온이 방출되기 위해서는 반드시 산이 필요하였다. 또한 용해된 칼슘, 인산이온의 농도가 낮아 지속적으로 칼슘, 인산이온을 공급할 전달 매체의 필요성으로 CPP-ACP가 개발되었다³⁰⁾. Casein phosphopeptide는 우유의 casein을 분해시켜 만든 multiphosphorylated peptides로 한 분자내 여러 개의 인산세린 잔기(-Ser(P)-Ser(P)-Ser(P)-Glu-Glu-)를 가지고 있어, 용액내의 칼슘과 인산이온을 무정형의 칼슘인산형태로 안정화시킬 수 있다³⁰⁻³²⁾. CPP는 25개의 칼슘이온과 15개의 인산 이온과 부착하여 준안정 상태의 용액을 만들어 자체적으로 결정핵이 형성되는 것을 막고, 산 공격시 칼슘과 인산이온을 방출하여 치아표면을 칼슘과 인산이온으로 과포화시켜 탈회를 억제하고 재광화를 촉진시킨다³⁰⁻³²⁾. Yamaguchi 등은 탈회된 우치에 CPP-ACP paste를 도포했을 때, 유의할 만한 재광화가 나타났다고

하였고²⁰⁾, Shen 등도 CPP-ACP를 포함하는 껌을 씹은 군에서 대조군에 비해 유의할 만한 재광화 효과를 보였다고 하였다³³⁾. 따라서 본 연구에서는 CPP-ACP를 포함하는 치아 크립과 저농도의 불소 양치액의 재광화 효과를 비교해 보기로 하였다.

본 연구에서는 120개의 치아 시편을 탈회시켜 ΔQ값이 유사한 64개의 시편을 취하였다. 이는 법랑질 표면에 함유된 불소의 양에 의해 탈회 속도에 차이가 나타날 수 있으므로³⁴⁾, 개개 치아간의 차이를 극복하고자 함이었다. 한편 이 등은 영구치와 유치, 우치에서 QLF 분석치와 TMR 분석치간에 상관 관계를 평가하였는데, 영구치에서 상관 관계가 가장 높았다고 하여 이 실험에서는 제3대구치를 실험 재료로 선택하였다¹⁴⁾.

인공타액에만 담긴 대조군에서 1일에는 무기질 소실을 보였으나, 서서히 ΔQ값이 증가했다. 이는 타액내 무기성분으로 어느 정도의 재광화가 가능함을 보여준다. 실제로 타액은 치아 무기질에 대해 과포화 되어 있어, 탈회 과정에 소실된 무기질을 보충할 칼슘과 인산을 제공하여 재광화에 중요한 역할을 담당한다¹¹⁾. Silverstone과 Hicks 등은 타액이 탈회된 법랑질을 재광화시킬 수 있다고 하였고^{35,36)}, 문 등도 인공 우식 병소를 인공 타액에 담긴 군에서 1, 2개월에는 유의할 만한 차이를 보이지 않았지만 무기질 밀도가 증가했고, 3개월 후에는 유의할 만한 밀도 증가를 보였다고 보고하였다¹²⁾. 1일의 ΔQ값의 감소는 10분간 탈회시킨 후 소실된 무기질이 인공 타액으로 재광화 되는 양보다 컸음을 의미하는데, Gibbs 등은 법랑질의 표면보다 내부의 carbonate 양이 1~2%에서 3~4%로 증가하므로 추가적인 탈회시 무기질 소실 양이 증가하기 때문이라고 하였다²⁶⁾. 2일부터는 서서히 ΔQ값이 증가했는데, 이는 탈회된 법랑질에 인공 타액의 칼슘, 인산이온이 재결정을 이루어 다음 탈회시에는 재결정된 HAP 일부와 법랑질 자체의 결정이 탈회되므로 1일보다 탈회 정도가 감소했기 때문이라 생각된다. 또한 대조군에서 재광화 속도 감소가 가장 컸는데, Silverstone은 타액에 의한 재광화 효과가 표면에 국한되기 때문이라 하였다³⁵⁾.

Tooth Mousse[®]를 처리한 군은 7일부터 대조군과 유의한 차이를 보였고, 치카치카[®]를 처리한 군과 두 제품 모두 처리한 군은 3일부터 대조군과 유의한 차이를 보였다. 불소가 포함된 군에서 재광화 효과가 먼저 나타난 것이다. 이는 CPP-ACP에 의한 재광화는 HAP 침착에 의해서 나타나고³⁰⁾ 불소에 의한 재광화는 FHAP 또는 FAP 침착으로 나타나는데^{4,22)}, 산에 의한 용해도는 HAP가 FHAP, FAP보다 높으므로²³⁾, pH 순환 시스템을 적용시켰을 때, 탈회되는 양이 감소했기 때문이라 생각된다.

Tooth Mousse[®]를 처리한 군의 ΔQ값의 변화는 500ppm 불소 양치액인 치카치카[®] 처리군과 거의 유사했다. 이는 specific pathogen-free rat에 인공 우식을 유발하고 하루에 2회 0.5% CPP-ACP를 도포한 군과 500ppm의 불소를 도포한 군에서 비슷한 우식 감소율을 보고한 Reynolds 등의 연구 결과와 유사했다³⁰⁾.

두 제품을 모두 사용한 군은 단독 사용한 군들보다 1.5~2배의 ΔQ값 증가를 보였다. Reynolds는 1.0%의 CPP-ACP와

500ppm의 불소를 포함하는 용액을 분석한 결과, 절반이상의 불소가 CPP에 안정화된 ACP에 병합되어 존재하여 부정형의 칼슘불소인산(Ca₈(PO₄)₆FxH₂O)을 형성한다고 하였다³¹⁾. 이처럼 CPP가 ACFP(amorphous calcium fluoride phosphate)를 안정화시켜, 여기서 방출된 칼슘, 인산 이온이 HAP에 대한 포화도를 증가시켜 재광화를 촉진시키는 역할과, 이 때 같이 방출된 불소 이온이 FAP에 대한 포화도를 증가시켜 법랑질을 FAP로 재광화 시키기 때문에³¹⁾, 두 제품을 모두 사용했을 때 부가적인 상승 효과를 보인 것으로 생각된다. 한편 LeGeros 등은 산용액에 불소, 인산, 칼슘을 첨가했을 때, 합성 또는 법랑질 결정의 용해 억제능을 비교한 실험에서 Ca+P+F) Ca+P, Ca+F, P+F) F) Ca, P이라 하였다²²⁾. 따라서 Tooth Mousse[®]와 치카치카[®]를 사용한 4군에서 탈회로 인한 법랑질 결정의 용해 억제능 또한 가장 컸을 것이다. 2군과 3군은 14일부터 유의한 차이를 보인데 반해, 두 제품을 모두 사용한 군은 처리전에 비해 7일부터 유의한 차이를 보였는데, 이 또한 불소와 CPP-ACP의 부가적인 효과때문으로 해석된다.

각 군의 재광화 속도는 시간이 지날수록 급격히 감소했다. 이러한 재광화 속도 경향은 Al-Khateeb 등과 Øgaard와 ten Bosch 등의 결과와 유사했다. 이들의 연구에서 재광화 속도는 지수 함수 패턴을 보인다고 하였다. 그 이유로 병소 표층에 무기질 축적이 가속화 되어 시간이 경과할수록 병소 내부로 침투하는 무기 이온의 확산이 줄기 때문이라 하였다^{37,38)}. 그런데 Reynolds 등과 Shen 등은 CPP-ACP에 의한 재광화는 불소와 비교했을 때, 병소 깊숙한 곳까지 재광화가 일어난다고 하였으므로^{5,30,33,39)}, 이를 확인하기 위해서는 TMR으로 시편의 추가적인 관찰이 필요하리라 생각된다.

이번 연구에서 실제 구강내 상황과 유사한 환경을 재현하기 위해 pH 순환 시스템을 적용하였다. ten Cate는 무기물이 계속 침착하기 위해서는 부분 탈회된 결정이 존재해야 하므로, 재광화 제품의 성능을 평가할 때, pH 순환 시스템을 도입해야 함을 주장하였고⁴⁰⁾, 1980년대 이후의 대다수 재광화 실험에는 pH 순환 시스템을 사용하였다⁶⁾. 그러나 생체내 실험과의 차이를 줄이기 위한 pH 순환 시스템도 실제 구강내 환경과는 차이가 존재한다. 실험에 사용된 타액은 단지 무기 이온만을 포함하므로, 타액 단백질의 효과, 치태와 획득피막의 확산에 대한 영향, 효소의 영향 등은 고려되지 않았다^{7,40)}. 또한 타액에 의한 자정 효과와 타액 조성, 식이 등 생물학적 요인도 배제되어 있으므로⁷⁾, 이러한 한계를 인지하고 연구 결과를 해석해야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 대표적인 항우식 제품인 저농도의 불소 양치액 치카치카와 CPP-ACP를 포함하는 Tooth Mousse[®], 그리고 이 두 제품을 같이 사용했을 경우의 인공 우식 병소의 재광화 효과를 알아보고자 하였다. QLF를 이용하여 재광화의 장기적인 변

화인 변화를 관찰하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. ΔQ는 대조군에서 감소하다가 증가하는 경향을 보였으나, 28일동안 통계적 유의차를 보이지 않았고, Tooth Mousse[®]군과 치카치카[®]군에서는 처리전에 비해 14일부터 유의성 있는 증가를 보였으며, 두 제품 모두 사용한 군에서는 7일부터 유의성 있는 증가를 보였다.
2. ΔQ는 대조군< Tooth Mousse[®]군, 치카치카[®]군< Tooth Mousse[®]+ 치카치카[®]군 순이었다.
3. ΔQ는 대조군과 비교시, Tooth Mousse[®]군은 7일, 치카치카[®]군과 두 제품 모두 사용한 군은 3일부터 유의성 있는 증가를 보였다. Tooth Mousse[®]군은 치카치카[®]군과 전 기간 동안 유의차가 없었으며, 두 제품 모두 사용한 군은 Tooth Mousse[®]군과 치카치카[®]군에 비해 28일에 유의성 있는 증가를 보였다.
4. 모든 군에서 재광화 속도는 점차 감소하였다.

참고문헌

1. Meller C, Heyduck C, Tran[®]us S, et al. : A new in vivo method for measuring caries activity using Quantitative light-induced fluorescence. Caries Res, 40:90-96, 2006.
2. Ismail AI, Brodeur JM, Gagnon P, et al. : Prevalence of non-cavitated and cavitated carious lesions in a random sample of 7-9-year school children in Montreal Quebec. Community Dent Oral Epidemiol, 20:250-255, 1992.
3. Lijima Y, Takagi O, Ruben J, et al. : In vitro remineralization of in vivo and in vitro formed enamel lesions. Caries Res, 33:206-213, 1999.
4. Hicks J, Garcia-Godoy F, Flaitz C : Biological factors in dental caries enamel structure and the caries process in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 2). J Clin Pediatr Dent, 28:119-24, 2004.
5. Mount GJ : Defining, classifying, and placing incipient caries lesions in perspective. Dent Clin North Am, 49:701-23, 2005.
6. Kashket S : Historical review of remineralization research. J Clin Dent, 10: 56-64, 1999.
7. Zero DT : Application of clinical models in remineralization research. J Clin Dent, 10:74-85, 1999.
8. Pretty IA, Pender N, Edgar WM, et al. : The in vitro detection of early enamel de- and re-mineralization adjacent to bonded orthodontic cleats using quantitative light-induced fluorescence. Eur J Orthod, 25:217-23, 2003.

9. Higham SM, Pretty IA, Edgar WM, et al. : The use of in situ models and QLF for the study of coronal caries. *J Dent*, 33:235-41, 2005.
10. Stookey GK : Quantitative light fluorescence: a technology for early monitoring of the caries process. *Dent Clin North Am*, 49:753-70, 2005.
11. Takagi S, Liao H, Chow LC : Effect of a low-fluoride-content, two-component rinse on fluoride uptake and on de- and remineralization of enamel lesions: an in vitro study. *Caries Res*, 35:223-228, 2001.
12. 문성권, 이재천, 김영재, 등. : Fluoride varnish와 acidulated phosphate gel이 인공우식 병소에 미치는 영향에 대한 미세전산화 단층 촬영을 이용한 연구. *대한소아치과학회지*, 31:212-22, 2004.
13. Silverstone LM : Structure of carious enamel, including the early lesion. *Oral Sci Rev*, 3:100-160, 1973.
14. 이창근, 김종수, 유승훈 : Quantitative light-induced fluorescence를 이용한 법랑질 탈회 속도에 관한 비교 연구. *대한소아치과학회지*, 31:506-515, 2004.
15. Benson PE, Pender N, Higham SM : An in situ caries model to study demineralization during fixed orthodontics. *Clin Orthod Res*, 2:143-153, 1999.
16. Øgaard B, Rølla G : The in vivo orthodontic banding model for vital teeth and the in situ orthodontic banding model for hard tissue slabs. *J Dent Res*, 71(special issue):832-35, 1992.
17. Featherstone JD, ten Cate JM, Shariati M, et al. : Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. *Caries Res*, 17:385-391, 1983.
18. Arends J, ten Bosch JJ : Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res*, 71(special issue):924-928, 1992.
19. 황규선, 김종수, 유승훈 : Digital imaging fiber-optic trans-illumination과 laser fluorescence를 이용한 평활면 초기우식증의 재광화에 관한 비교 연구. *대한소아치과학회지*, 34:183-191, 2007.
20. Yamaguchi K, Miyazaki M, Takamizawa T, et al. : Effect of CPP-ACP paste on mechanical properties of bovine enamel as determined by an ultrasonic device. *J Dent*, 34:230-6, 2006.
21. Aljehani A, Tranæus S, Forsberg CM, et al. : In vitro quantification of white spot enamel lesions adjacent to fixed orthodontic appliances using quantitative light-induced fluorescence and DIAGNOdent. *Acta Odontol Scand*, 62:313-318, 2004.
22. LeGeros RZ : Calcium phosphates in demineralization/remineralization processes. *J Clin Dent*, 10:65-73, 1999.
23. Featherstone JD : Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. *Community Dent Oral Epidemiol*, 27:31-40, 1999.
24. Hicks J, Garcia-Godoy F, Flaitz C : Biological factors in dental caries: role of remineralization and fluoride in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 3). *J Clin Pediatr Dent*, 28:203-14, 2004.
25. Ingram GS, Morgan SN : The effect of low levels of fluoride on seeded hydroxyapatite crystal growth. *J Dent Res*, 64:676, 1895.
26. Gibbs CD, Atherton SE, Huntington E, et al. : Effect of low levels of fluoride on calcium uptake by demineralized human enamel. *Arch Oral Biol*, 40:879-81, 1995.
27. Zero DT, Raubertas RF, Pedersen AM, et al. : Fluoride concentrations in plaque, whole saliva and ductal saliva after applications of home-use fluoride agents. *J Dent Res*, 71:1768-75, 1992.
28. Arends J, Chirstoffersen J : Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries. *J Dent Res*, 69(Spec Iss):601-605, 1990.
29. ten Cate JM, van Loveren C : Fluoride mechanisms. *Dent Clin North Am*, 43:713-42, 1999.
30. Reynolds EC, Black CL, Cai F, et al. : Advances in enamel remineralization: casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. *J Clin Dent*, 10:86-88, 1999.
31. Reynolds EC : Anticariogenic complexes of amorphous calcium phosphate stabilized by casein phosphopeptides: a review. *Spec Care Dentist*, 18:8-16, 1998.
32. Tung MS, Eichmiller FC : Dental applications of amorphous calcium phosphates. *J Clin Dent*, 10:1-6, 1999.
33. Shen P, Cai F, Nowicki A, Vincent J, et al. : Remineralization of enamel subsurface lesions by sugar-free chewing gum containing phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. *J Dent Res*, 80:2066-2070, 2001.
34. Takagi S, Liao H, Chow LC : Effect of tooth-bound fluoride on enamel demineralization/ remineralization in vitro. *Caries Res*, 34:281-8, 2000.

35. Silverstone LM : Effect of oral fluid and synthetic calcifying fluids in vitro on remineralization of enamel lesion. *Clin Prev Dent*, 4:13-22, 1981.
36. Hicks MJ, Flaitz CM, Silverstone LM : Initiation and progression of caries-like lesions of enamel: effect of periodic treatment with synthetic saliva and sodium fluoride. *Caries Res*, 19:481-9, 1985.
37. Al-Khateeb S, Oliveby A, de Josselin JE, et al. : Laser fluorescence quantification of remineralization in situ of incipient enamel lesions: influence of fluoride supplements. *Caries Res*, 31:132-40, 1997.
38. Øgaard B, ten Bosch JJ : Regression of white spot enamel lesions: a new optical method for quantitative longitudinal evaluation in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 106:238-42, 1994.
39. Reynolds EC : Remineralization of enamel subsurface lesions by casein phosphopeptide-stabilized calcium phosphate solutions. *J Dent Res*, 76:1587-95, 1997.
40. ten Cate JM : In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *J Dent Res*, 69:614-9, 1990.

Abstract

REMINERALIZATION EFFECT OF COMMERCIALY AVAILABLE ANTICARIOGENIC PRODUCTS ON ARTIFICIAL CARIES LESION USING QLF

Ju-Hyun Song, Young-Jae Kim, Jung-Wook Kim, Ki-Taeg Jang,
Chong-Chul Kim, Se-Hyun Hahn, Sang-Hoon Lee

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University

The purpose of this in vitro study was to compare the remineralization effect of commercially available anticariogenic products, exactly low level fluoride mouthrinse(500 ppm NaF), tooth cream with Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP) and fluoride mouthrinse plus tooth cream on artificial caries lesion. Artificial caries lesion was induced at the buccal surface of permanent third molar and the specimens were then divided(16 specimens/group) into four group. Twice a day during 28 days specimens of each group were treated with a commercially anticariogenic product as follows and applied to the pH cycling system.

Group 1: control group (No treatment)

Group 2: Tooth Mousse[®] (GC Co. Japan)

Group 3: chikachika[®] (Samil Co. Korea)

Group 4: chikachika[®]+ Tooth Mousse[®]

The long-term change of mineral loss(ΔQ) was evaluated by quantitative light-induced fluorescence (QLF) and the following results were obtained:

1. ΔQ of Group 1 was not noticed statistically significant during 28 days comparing that prior to treatment. There was a statistically significant increase in ΔQ of Group 2 and 3 since 14 days. So was in ΔQ of Group 4 since 7 days.
2. ΔQ was increased as follows: Group 1 < Group 2, 3 < Group 4.
3. Comparing with Group 1, Group 2 was a statistically significant increase since 7 days and Group 3 and 4 were since 3 days. Comparing Group 2 with 3, there was not noticed statistically significant during whole duration. Group 4 was significantly higher than Group 2 and 3 after 28 days.
4. All groups demonstrated a decrease in the rate of remineralization as time goes on.

Key words : Fluoride mouthrinse, Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP), remineralization, pH cycling system, Quantitative light-induced fluorescence(QLF)