

탄산음료 유발 법랑질 침식에 대한 항우식 제품의 예방 효과

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

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치학연구소

국문초록

본 연구는 항우식 제품인 Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP)를 포함하는 치아크림, 불소 바니쉬, 저농도 불소 양치액을 치아에 도포하는 것이 단시간 탄산음료에 의한 법랑질의 침식을 예방할 수 있는지 살펴보기 위해 계획되었다. 법랑질 시편에 다음과 같은 항우식 제품을 도포하였고, 인공타액에 24시간 보관한 후, 콜라에 1분 증류수에 1분씩 5회 번갈아 처리하였다.

- 1군: 대조군(무처리)
- 2군: CPP-ACP 치아크림군
- 3군: 불소 바니쉬군(1,000 ppm F)
- 4군: 저농도 불소 양치액군(227 ppm F)
- 5군: 불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군
- 6군: 저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군

미세경도와 침식깊이를 측정하였고, Quantitative light-induced fluorescence(QLF)를 이용하여 안정된 형광 격자에 대한 부피 형광 변화인 ΔQ 를 측정하여 무기질 감소량을 평가하였다. 6일 동안 실험을 반복하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 미세경도는 1군 \leq 2군 \leq 4군 \leq 6군 \leq 3군 \approx 5군 순이었다.
2. 평균 침식깊이는 5군 \approx 3군 \leq 6군 \leq 4군 \approx 2군 \approx 1군 순이었다.
3. ΔQ 는 1군 \approx 2군 \leq 4군 \leq 6군 \leq 3군 \approx 5군 순이었다. ΔQ 의 감소율은 1군과 2군, 4군과 6군, 3군과 5군이 각각 유사하였다.
4. ΔQ 는 미세경도와 강한 양의 상관관계를 나타냈고($r=0.96$, $p<0.05$), 침식깊이와는 강한 음의 상관관계를 보였다($r=-0.96$, $p<0.05$).

주요어: 치아크림, 불소 바니쉬, 불소 양치액, 미세경도, 침식깊이, 부피 형광 변화(ΔQ)

I. 서 론

치아 침식증은 미생물의 개입 없이 화학적 작용에 의해 치아의 경조직이 비가역적으로 소실되는 것을 의미한다¹⁾. 치아 침식증은 두 개의 특징적인 영역으로 구별되는데, 첫 번째 층은 치아 표면이 실질적으로 소실되어 형성된 분화구(crater)이고, 두 번째 층은 분화구 하방의 연화되고 탈회된 치질층으로 계속적인 침식 자극이나 마모, 교모에 의해 쉽게 상실되어 분화구를 형성하기 쉬운 부위이다²⁾. 연화층은 가역적인 상태여서 남아있는 무기물 골격은 타액에 의해 재광화될 수 있으나, 공격적인 탈회가 지속된다면 치질이 대량 소실되어 비가역적인 상태가

된다³⁾.

최근 선진국에서 치아 우식증은 감소하고 산성 음식물 섭취에 의한 치아 침식의 위험은 증가하고 있는 추세로⁴⁾, 산성 음료, 과일주스 및 스포츠 음료의 소비 증가에 기인한 치아 침식증에 대한 관심도 서서히 고조되고 있다. 장⁵⁾은 국내에 시판되는 탄산음료와 이온음료, 과일주스류 등의 pH가 2.5~3.5이고, 낮은 pH는 침식을 일으키기에 충분하며, 산성음료수에 의해 우치의 법랑질과 상아질의 표면미세경도가 감소했음을 보고하였다.

산성 음료에 의한 치아 침식을 예방하는 방법으로 접촉시간을 줄이고, 침식작용이 적은 대체음료를 개발하거나 재광화를

교신저자 : 이 상 훈

서울특별시 종로구 연건동 28 / 서울대학교 대학원 치의학과 소아치과학교실 / 02-2072-3819 / musso@snu.ac.kr

원고접수일: 2009년 02월 11일 / 원고최종수정일: 2009년 11월 03일 / 원고채택일: 2009년 11월 18일

돕는 약제를 사용하는 것 등이 있다⁴⁾. 현재 시판되는 재광화에도움을 주는 약제로는 불소, 치아크림과 치약 등이 있다⁶⁾. Wiegand와 Attin⁷⁾, Sorvari 등⁸⁾은 주기적인 불소 도포는 치아의 침식 저항성을 높이고, 탈회된 치아 표면에 침착하여 재광화를 돕는다고 하였다. Jeremy 등⁹⁾은 범랑질을 산성 음료에 노출시키기 전에 치아크림으로 처리한 경우 범랑질의 침식량이 반으로 감소했음을 보고하였다. 그런데 대부분의 재광화 연구들은 1회에 장시간 산성음료에 치아를 노출시키고 재광화를 유도한 후, 변화를 살펴본 것이었다⁹⁻¹¹⁾. 장시간 산성음료에 치아를 노출시키는 것은 실제 음료를 소비할 때의 구강환경을 반영하지 못한다. 구강 내에서는 치아와 음료가 자주 그리고 짧은 시간 동안 접촉하게 되며, 시간이 지남에 따라 타액 내 무기질이 치아 표면에 침착되어 초기의 구조적 표면 손상이 치유되고, 획득피막에 의한 보호작용은 치아와 음료의 직접적인 접촉을 막는다.

본 연구에서는 시판되는 항우식 제품인 CPP-ACP(Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate)치아크림, 불소 바니쉬, 저농도 불소 양치액을 단독으로 치아에 도포하는 것이 단시간 탄산음료 접촉에 의한 범랑질 침식을 예방하고, 불소 바니쉬와 CPP-ACP 치아크림, 저농도 불소 양치액과 CPP-ACP 치아크림을 혼합 도포하는 것이 침식에 부가적인 예방 효과를 보인다는 가정하에 범랑질 시편의 미세경도, 침식깊이, QLF(Quantitative light-induced fluorescence) 측정단위인 ΔQ를 측정 비교하였고, 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM)으로 범랑질 표면을 관찰하였다. 또한 초기 침식 측정법으로 QLF가 적합한지 살펴 보고자 미세경도, 침식깊이와 ΔQ의 상관관계를 확인하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

협측 범랑질에 치아 우식이 없고 마모가 적은 제3대구치를 대상으로 하였다. 이 연구에 사용한 항우식 제제는 Tooth Mousse(GC Dental., Japan), Fluor protector(Ivoclar Vivadent., Liechtenstein), 치카치카(삼일제약, 한국)로, Tooth Mousse는 CPP-ACP(Casein phosphopeptid-amorphous calcium phosphate)를 포함하는 치아크림이며, Fluor protector는 1,000 ppm의 불소를 포함하는 고농도 불소 제제이고, 치카치카는 0.05% NaF(227 ppm F)를 포함하는 불소 양치액이다. 사용한 인공타액의 조성은 100 ml 인공 타액 내 1 g Carboxymethyl-cellulose, 84 mg NaCl, 120 mg KCl, 15 mg CaCl₂, 5 mg MgCl₂, 34 mg K₂HPO₄이 포함되어 있고, pH는 7.0으로 조제하였다. 이 실험에 사용한 콜라(Coca-Cola Co., 한국)의 주된 산은 인산이며 평균 pH는 2.30이었다.

2. 연구방법

1) 시편 제작

제3대구치 협면을 협측 사면에 평행하게 두께가 2.5 mm정도 되도록 절단하여, 범랑질측 치질을 시편으로 사용하였다. 시편을 아크릴릭 주형에 매몰한 후, 범랑질 표면이 평면이 되고 광택이 나도록 주수하에 400, 600, 1000, 2000 grit의 Sic 연마지로 연마하여 범랑질 시편을 제작하였다. 시편의 편평한 면이 최소 가로 4 mm, 세로 3 mm가 되도록 하였다.

2) 시편의 처리

범랑질 시편에 X축과 Y축을 그어 기준선으로 잡고, X축으로 0~1 mm, 3~4 mm, Y축으로 0~3 mm 영역을 nail-varnish로 가리고 각 군의 20개 시편을 다음과 같이 처리하였다.

- 1군(대조군): 시편을 37℃ 인공타액에 24시간 담겼다.
- 2군(CPP-ACP 치아크림군): Tooth mousse를 시편에 1 mm 두께로 바르고 3분 후에 37℃ 인공타액 15 ml에 30분간 담겼다. 이 후 시편을 증류수로 씻어내고, 37℃ 인공타액에 24시간 담겼다.
- 3군(불소 바니쉬군): Fluor protector를 시편에 바르고 1분간 건조시킨 후, 37℃ 인공타액 15 ml에 30분간 담겼다. 이 후 시편을 증류수로 씻어내고, 다시 37℃ 인공타액에 24시간 담겼다.
- 4군(저농도 불소 양치액군): 시편을 치카치카 불소양치액 10 ml에 1분간 담근 후, 인공타액 15 ml에 30분간 담겼다. 이 후 시편을 증류수로 씻어내고, 37℃ 인공타액에 24시간 담겼다.
- 5군(불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군): 시편 표면에 Fluor protector를 바르고 1분간 건조시킨 후, Tooth Mousse를 시편에 1 mm 두께로 바르고 3분 후에 37℃ 인공타액 15 ml에 30분간 담겼다. 이 후 시편을 증류수로 씻어내고, 37℃ 인공타액에 24시간 담겼다.
- 6군(저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군): 시편을 치카치카 불소양치액 10 ml에 1분간 담겼다. 이 후 시편을 증류수로 씻어내고, 37℃ 인공타액에 24시간 담겼다.

24시간 인공타액에 보관한 범랑질 시편을 500 ml 콜라에 1분간 시편을 담갔다 증류수에 1분간 담겼다. 이 과정을 5회 반복한 후 미세경도와 QLF를 측정하였다. 측정 전 시편은 100% 습도에 보관하였다. Fluor protector는 처음 1회 도포하였고 Tooth Mousse와 치카치카는 매일 1회 도포하였으며, 인공 타액에 24시간 저장하고 콜라에 담그는 과정을 6일 동안 반복하여 시행하였다. 범랑질 시편에서 미세경도와 침식깊이, QLF 측정 영역은 Fig. 1과 같다.

3) 미세경도 측정

미세경도는 Microhardness Tester(Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 범랑질에 100 g의 load를 10초간 가하는 조건으로 Vicker's Hardness Number(VHN)를 측정하였다. Fig. 1의 c영역 중앙에서 각 시편당 4회 측정하였고, 평균값을 각 시편의 미세경도로 하였다. 측정 평균값이 타 표본에 비해 크게 벗어나는 것은 제외시킨 120개의 범랑질 시편을 각 군의 평균값이 유사하도록 6군으로 배분하였다.

4) 침식깊이 측정

시편 처리 전, 시편의 기준선에서 X축으로 4 mm, Y축으로 2 mm의 영역을 100 μ m간격으로 3D-Profilometer(MTS, USA)를 이용하여 표면 프로파일링을 시행하였다. 대조군의 시편과 항우식 제품에 처리한 시편을 인공타액에 24시간 저장한 후 콜라에 담그는 것을 6일 동안 반복한 후에 nail-varnish를 제거하고 X축으로 4 mm, Y축으로 2 mm의 영역을 다시 프로파일링하여 3차원 상을 얻었다. Ansur3D(MTS, USA)를 이용하여 침식되지 않은 X축 0~1, 3~4 mm, Y축 0~2 mm영역을 기준 평면으로 하여 평균 침식깊이를 측정하였다.

5) QLF 측정

특히 고안된 안정된 형광 격자에 QLF(Inspektor, Netherlands)를 보정한 후, 범랑질 시편의 QLF 영상을 얻었다. 대조군의 시편과 항우식 제품에 처리한 시편을 24시간 인공 타액에 저장한 뒤 콜라에 담그고, 치아를 10초간 건조시킨 후 다시 QLF 영상을 얻었다. 이 후 Inspektor™ Pro(Inspektor, Netherlands)를 이용하여, 범랑질 시편 X축으로 4 mm, Y축으로 2 mm 영역의 Δ Q(QLF의 측정 단위)를 측정

하였다. Δ Q는 안정된 형광 격자에 대한 분석 영역의 부피 형광 변화를 의미한다.

6) 전계방사형 주사전자현미경 관찰

시편 표면의 유기물질을 제거하기 위해 3.5% sodium hypochlorite 용액에서 30초간 초음파 세척한 후 증류수로 세척한 뒤 건조시키고, 백금 코팅한 시편을 FE-SEM(가속전압 = 15.0kV)으로 시편 표면을 관찰하였다.

7) 통계 분석

시편 처리 전 미세경도, Δ Q와 매 회 처리후의 미세경도, Δ Q, 각 군간의 미세경도와 Δ Q, 침식깊이 비교를 위해, SPSS 12.0K를 이용하여 일원배치분산분석과 사후검정으로 Scheffe test를 시행하였다. 미세경도, 침식깊이, QLF의 상관 관계를 평가하기 위해 Pearson 상관분석을 시행하였다. 통계적 유의성은 유의수준 0.05에서 평가하였다.

III. 연구 결과

1. 미세경도

범랑질 시편의 초기 미세경도는 344~347로 군간 유의차를 보이지 않았다(p>0.05). 모든 군의 미세경도는 점차 감소하였고 값은 Table 1와 같으며, 6일 동안 미세경도(VHN)의 변화는 Fig. 2와 같다. 미세경도 값은 대조군(1군)≤CPP-ACP 치아크림군(2군)≤저농도 불소 양치액군(4군)<저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군(6군)<불소 바니쉬군(3군)≒불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군(5군) 순이었다. 1군과 2군은 6일에만 유의차를 보였고, 1군과 3군은 1~6일 모두 유의차를 보였으며, 1군과 4군은 3~6일, 1군과 5군은 1~6일, 1군과 6군은 2~6일에 유의차를 보였다(p<0.05). 2군과 3군은 1~6일, 2군과 4군은 4일, 2군과 5군은 1~6일, 2군과 6군은 2~6일, 3군과 4군은 1~6일, 3군과 6군은 2~6일, 4군과 5군은 1~6일, 4군과 6군은 3~6일, 5군과 6군은 2~6일에서 유의차를 보였다. 3군과 5군은 유의차가 없었다(Table 2).

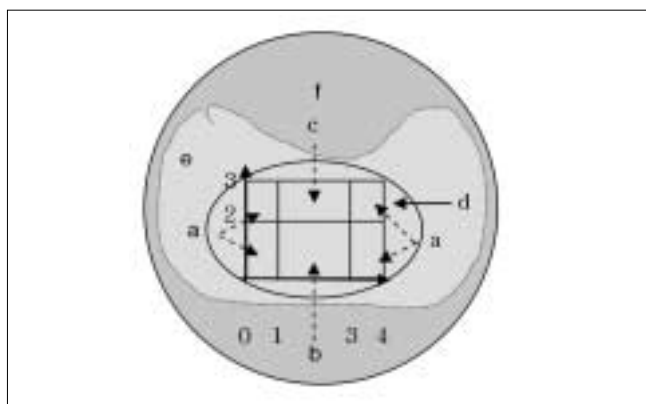


Fig. 1. Enamel samples were designed like a schematic.
 a. nail-varnish covered enamel.
 b. areas exposed during erosion to evaluate erosion depth of enamel and Δ Q.
 c. areas exposed during erosion to evaluate surface microhardness.
 d. polished enamel surface.
 e. unpolished enamel surface.
 f. third molar embedded in acrylic resin.

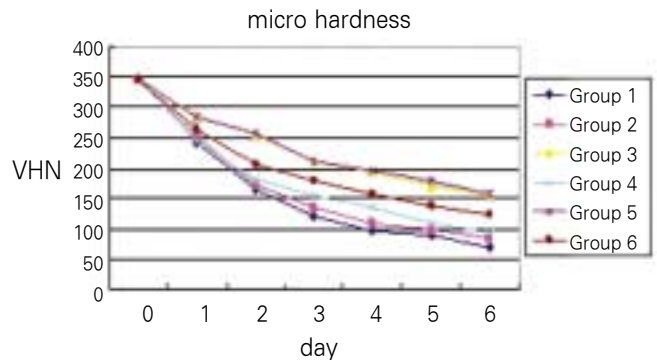


Fig. 2. The change of the microhardness in six groups.

Table 1. Microhardness(VHN) of each group according to the processing duration

	Before treatment	After 1 day	After 2 day	After 3 day	After 4 day	After 5 day	After 6 day
Group 1	347.65 ±26.63	241.86 ±24.08	163.93 ±24.74	120.33 ±16.75	96.34 ±8.95	88.73 ±8.88	69.23 ±6.55
Group 2	344.1 ±25.15	252.51 ±18.37	172.8 ±12.35	135.33 ±11.28	110.3 ±8.72	100.6 ±9.43	85.62 ±6.35
Group 3	344.11 ±14.68	285.79 ±12.64	254.71 ±17.91	210.36 ±24.84	193.11 ±17.05	171.67 ±12.01	156.06 ±14.44
Group 4	346.5 ±18.45	242.19 ±19.94	182.56 ±14.87	154.9 ±20.97	136.36 ±15.89	109.94 ±7.96	94.21 ±5.76
Group 5	346.14 ±25.59	284.46 ±13.44	257.66 ±18.65	211.81 ±17.73	197.11 ±17.73	180.43 ±21.33	158.15 ±16.87
Group 6	344.06 ±22.26	265.38 ±12.00	206.54 ±13.93	178.54 ±15.06	156.45 ±14.01	139.23 ±12.69	123.36 ±13.8

Values represent the mean ± SD.

Table 2. Comparison of microhardness(VHN) between groups(1/2/3/4/5/6day)

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
Group 1		-/-/-/-/+	+/+/+/+/+	-/-/+/+/+	+/+/+/+/+	-/+/+/+/+
Group 2			+/+/+/+/+	-/-/+/-/-	+/+/+/+/+	-/+/+/+/+
Group 3				+/+/+/+/+	-/-/-/-/-	-/+/+/+/+
Group 4					+/+/+/+/+	-/+/+/+/+
Group 5						-/+/+/+/+
Group 6						

* - : Not statistically significant(p>0.05)

+ : Statistically significant(p<0.05).

Table 3. Erosion depth(μm) of each group after 6 days

Group	1	2	3	4	5	6
Erosion depth	4.61 ± .80	3.95 ± .70	1.12 ± .29	3.28 ± .63	0.98 ± .15	2.71 ± .40

Values represent the mean ± SD.

2. 침식깊이

각 군의 평균 침식깊이는 불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군(5군)≒불소 바니쉬군(3군)<저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군(6군)<저농도 불소 양치액군(4군)≒CPP-ACP 치아크림군(2군)≒대조군(1군) 순으로 Table 3와 같다. 1군의 마모도는 2군과 유의차가 없었으며, 2군은 4군과, 3군은 5군과 유의차가 없었다(p>0.05).

3. QLF

시편 처리 전 각 군의 법랑질 시편의 ΔQ는 군 간 유의차가 없었다(p>0.05).

각 군의 시간에 따른 ΔQ의 변화는 Table 4와 Fig. 3와 같다. 모든 군의 ΔQ는 점차 감소하였고, 대조군(1군)≒CPP-ACP 치아크림군(2군)≒저농도 불소 양치액군(4군)≒저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군(6군)≒불소 바니쉬군(3

군)≒불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군(5군) 순이었다. ΔQ의 감소율은 1군과 2군, 4군과 6군, 3군과 5군이 각각 유사하였다.

1군과 2군은 1~6일 모든 기간에서 유의차가 없었으며, 1군과 3군은 1~6일에서 유의차가 있었고, 1군과 4군은 2~6일에

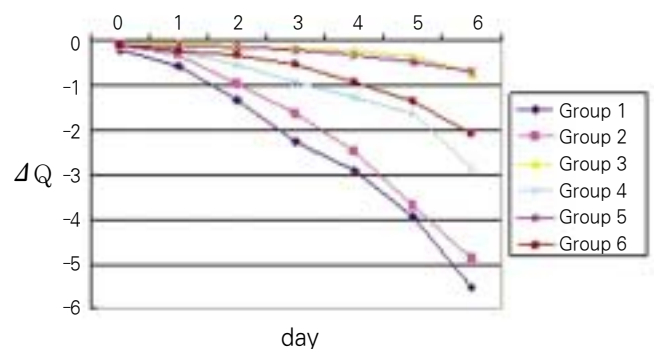


Fig. 3. The change of the ΔQ in six groups.

Table 4. Q(mm² · %) of each group according to the processing duration

	Before treatment	After 1 day	After 2 day	After 3 day	After 4 day	After 5 day	After 6 day
Group 1	-0.21 ±0.27	-0.58 ±0.64	-1.33 ±0.94	-2.26 ±1.28	-2.92 ±1.50	-3.95 ±1.59	-5.53 ±1.63
Group 2	-0.09 ±0.19	-0.34 ±0.31	-0.96 ±0.59	-1.63 ±0.94	-2.48 ±1.23	-3.69 ±1.31	-4.88 ±1.20
Group 3	-0.11 ±0.13	-0.07 ±0.10	-0.12 ±0.17	-0.17 ±0.23	-0.24 ±0.32	-0.36 ±0.45	-0.74 ±0.83
Group 4	-0.1 ±0.12	-0.27 ±0.25	-0.54 ±0.39	-0.93 ±0.80	-1.26 ±0.99	-1.64 ±1.03	-2.84 ±1.26
Group 5	-0.11 ±0.17	-0.11 ±2.94	-0.16 ±0.22	-0.22 ±0.28	-0.33 ±0.39	-0.49 ±0.48	-0.69 ±0.55
Group 6	-0.12 ±0.28	-0.23 ±0.33	-0.32 ±0.35	-0.56 ±0.49	-0.94 ±0.69	-1.36 ±0.82	-2.1 ±1.00

Values represent the mean ± SD.

Table 5. Comparison of Q(mm² · %) between groups(1/2/3/4/5/6day)

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
Group 1		-/-/-/-/-	+/+/+/+/+	-/+/+/+/+	+/+/+/+/+	-/+/+/+/+
Group 2			-/+/+/+/+	-/-/-/+/+	+/+/+/+/+	-/+/+/+/+
Group 3				-/-/-/+/+	-/-/-/-/-	-/-/-/-/+
Group 4					-/-/-/+/+	-/-/-/-/-
Group 5						-/-/-/-/+
Group 6						

* - : Not statistically significant(p>0.05)

+ : Statistically significant(p<0.05).

서 유의차가 있었다. 1군과 5군은 1~6일에서 유의차가 있었고, 1군과 6군은 2~6일에서 유의차가 있었다. 2군과 3군은 2~6일에서 유의차가 있었으며, 2군과 4군은 4~6일에서, 2군과 5군은 2~6일에서, 2군과 6군은 2~6일에서 유의차가 있었다. 3군과 4군은 5, 6일에서 유의차가 있었으나, 3군과 5군은 1~6일에서 유의차가 없었고, 3군과 6군은 6일에서만 유의차가 있었다. 4군과 5군은 5, 6일에서 유의차가 있었고, 4군과 6

군은 유의차가 없었으며, 5군과 6군은 6일에만 유의차가 있었다(Table 5).

QLF 상에서 보라색 영역은 법랑질의 무기질 소실을 의미한다. 불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군, 불소 바니쉬군, 저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군, 저농도 불소 양치액군, CPP-ACP 치아크림군, 대조군 순으로 보라색 영역이 증가하였다(Fig. 4).

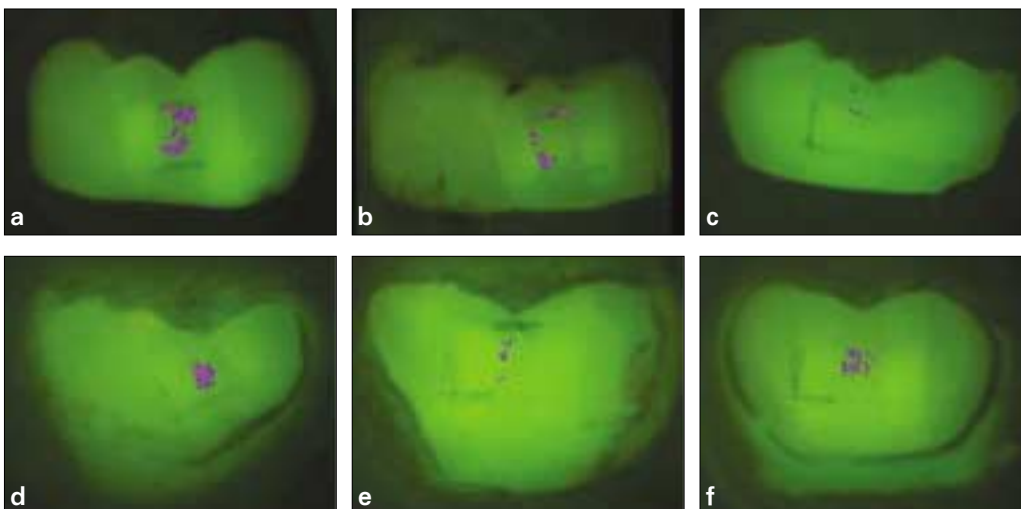


Fig. 4. QLF images of six groups (a) control group (b) tooth cream with CPP-ACP group (c) fluoride varnish group (d) low-level fluoride mouthrinse group (e) fluoride varnish + tooth cream with CPP-ACP group (f) low-level fluoride mouthrinse + tooth cream with CPP-ACP group.

미세경도와 ΔQ 는 강한 양의 상관관계를 보였고($r=0.96$), 침식깊이는 ΔQ 와 미세경도 모두와 강한 음의 상관 관계를 보였다($r=-0.96, -0.98$).

4. 전계방사형 주사전자현미경 관찰

1군 대조군 시편을 콜라에 담그기 전에는 법랑질 표면이 매우 매끄러웠으나, 하루가 지난 후에는 소와와 같은 불규칙한 표면을 보이며 침식 양상을 나타내었다(Fig. 5-a). 2일 후 시편은 법랑소주 중심부가 먼저 용해되기 시작됐음을 보여주었다(Fig. 5-b). 6일 후 시편에서도 법랑소주 중심부의 용해가 일어났음을 알 수 있었다(Fig. 5-c).

2군 CPP-ACP 치아크림군에서는 4일 후 시편에서 법랑소주 중심부가 먼저 용해되어 남은 법랑질 주간공극이 명확하게 보였고(Fig. 6-a), 5일 후 시편에서는 법랑질 주간공극이 더욱 명확해졌으나(Fig. 6-b), 이 부위도 결국 침식되어 대조군 6일과 유사한 표면을 보였다(Fig. 6-c). 2군 시편 표면에 무정형 무기물 결정이 침착된 것을 발견할 수 있었다(Fig. 6).

3군 불소 바니쉬군은 1일 후 시편의 극히 일부분에서 바니쉬가 탈락했고 대부분의 바니쉬는 시편에 붙어 있었으며, 바니쉬가 탈락한 부분은 여전히 대부분 매끄러웠다(Fig. 7-a). 2일 후 시편에서는 바니쉬의 도료가 비교적 균일하게 용해되어 불규칙한 표면을 보였고(Fig. 7-b), 6일 후 시편에서는 바니쉬의 도료가 불균일하게 탈락된 것을 볼 수 있었다(Fig. 7-c).

4군 저농도 불소 양치액군의 4일 후 시편에서는 법랑소주 중심의 용해가 왕성하여 법랑질 주간공극이 매우 분명히 나타났으나(Fig. 8-a), 5일과 6일 후 시편에서는 반복된 침식으로 결국 법랑질 주간공극도 용해되어 법랑질 주간공극의 양이 감소되었다(Fig. 8-b,c).

5군 불소 바니쉬 + CPP-ACP 치아크림군 시편의 상은 3군 불소 바니쉬군과 유사하였다. 1일 후 바니쉬가 탈락한 대부분의 표면이 매끄러웠으며(Fig. 9-a), 2일 후 시편에서는 바니쉬가 불균일하게 탈락했지만 법랑질 표면이 노출되지는 않았다(Fig. 9-b). 6일 후 시편에서 바니쉬가 완전히 탈락한 부위는 표면이 매끄러웠으나, 법랑소주 중심의 용해가 미약하게 나타났다(Fig. 9-c).

6군 저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군 시편의 상은 4군 저농도 불소 양치액 군과 유사하였다. 4일 후 법랑소주 중심의 용해가 뚜렷이 나타나 법랑질 주간공극이 명확하게 보였고(Fig. 10-a), 5일, 6일 후에는 법랑소주 중심의 용해가 계속 진행되었고 법랑질 주간 공극은 계속된 침식에도 보존되고 있음을 볼 수 있었다(Fig. 10-b,c).

3군과 5군을 제외한 모든 군에서 공통적으로 법랑소주의 중심 부위가 먼저 용해되었고, 법랑질 주간공극은 남아있어 법랑질 표면이 벌집 같은 구조를 보였다.

IV. 총괄 및 고안

치아 침식증을 평가하는 방법은 표면미세경도(surface microhardness)^{12,13}, 형상측정법(profilometry)¹⁴, 횡단 미세방사선(transverse microradiography, TMR)^{8,15}, quantitative light-induced fluorescence(QLF)⁷, 임상 인덱스(clinical indices)^{14,16}, 순차적인 치아연구모형분석(analysis of sequential dental study casts)¹⁷, 화학적 분석법¹⁶, 초음파(ultrasonification)¹⁸, 주사전자현미경(SEM)¹⁹ 등이 있다. 표면미세경도 측정법은 치질 표층에서 50 μm 이내의 깊이에 국한된 변화 관찰에 유용하나^{2,20}, 분화구층을 탐지하고 정량화할 수 없다는 한계를 지닌다¹⁸. 형상측정법은 침식의 실제 깊이를 측정할 수 있으나, 하방의 연화층에 대한 정보는 얻을 수 없다는 한계가 있다⁷. 민감도와 특이도가 뛰어난 TMR은 얇고 평행하고 편평한 연마 법랑질 시편이 필요한데, 이 때 시간과 노력이 들고 시편을 파괴하는 단점이 있어 치아 침식을 장기간 감시하기에는 부적합하다. 따라서 침식 병소 두 구역 모두를 인지할 수 있고, 침식과정을 장기적으로 관찰할 수 있으며 비파괴적이고 객관적인 감시방법이 필요하게 되었다. 전체적인 법랑질 무기질 변화를 예측할 수 있는 QLF의 비파괴적 특성은 장기간의 침식 평가에 적합하며, TMR에 비해 시간과 노력이 적게 들어 임상에서도 이용 가능한 도구이다²¹. 이는 QLF의 ΔQ 가 침식 증 관찰의 황금기준인 TMR의 ΔZ 와 양의 관계가 성립하기 때문이다^{7,17}.

이번 연구에서 침식 연화층은 표면미세경도로 측정하였고, 침식 분화구층은 형상분석기를 이용하여 관찰하였으며, 분화구층과 연화층을 동시에 관찰하기 위하여 QLF를 사용하였다. ΔQ 는 미세경도와는 강한 양의 상관관계를 보였고, 침식깊이와는 강한 음의 상관 관계를 보여, 침식이 진행됨에 따라 침식 연화층과 분화구층을 모두 관찰하기에 QLF가 적합함을 알 수 있었다. 또한 시편을 단시간 콜라에 노출시켜 침식량이 매우 적었는데, 초기 침식 관찰에 주로 이용하는 미세경도와 ΔQ 가 강한 양의 상관 관계를 보였음을 고려했을 때, QLF는 적은 양의 초기 침식을 관찰하는 데에도 유용함을 알 수 있었다. 그런데 QLF의 ΔQ 의 절대값이 매우 작을 때에는 오차범위가 컸고, 미세경도에서 유의차를 보였던 군들이 일부 기간의 ΔQ 에서는 군 간 유의차를 보이지 않는 것으로 볼 때, 군 간 ΔQ 의 차이가 작을 때에는 QLF가 침식 관찰에 한계가 있음을 알 수 있었다. 한편, 미세경도와 침식깊이를 측정하기 위해서는 편평한 면이 필요한데, 연마한 법랑질 시편은 자연치보다 침식이 과도하게 나타난다²². 이는 자연치의 법랑질 하방은 carbonate 함량은 높고 불소 함량이 적어 산에 민감하여 침식에 취약하기 때문이다²³. 따라서 QLF를 이용한다면 장기간의 침식 연구에 자연치를 그대로 이용할 수 있을 것이다.

이번 연구에서 법랑질 시편을 1분간 콜라에 담그고 1분간 증류수에 담그는 행동을 5회 반복하여 총 5분간 콜라에 접촉하도록 하였다. 이는 Maupomé 등²⁴의 연구에서 저소비군의 콜라

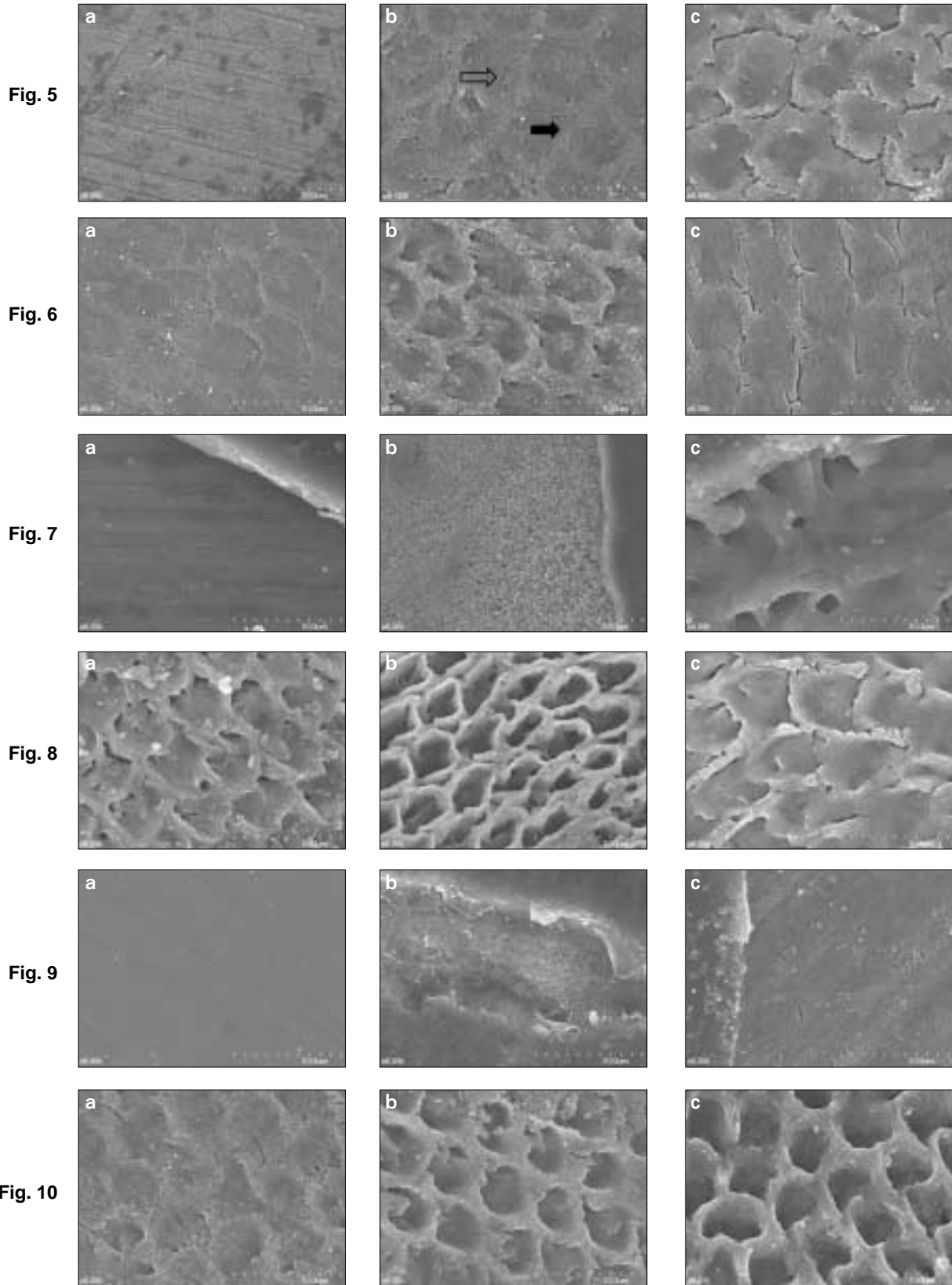


Fig. 5-10. FE-SEM images of six groups (magnification X5000) (5-a) Control group: after 1 day (5-b) after 2 days: enamel prism core (open arrow), interprismatic area (black arrow). (5-c) after 6 days. (6-a) Tooth cream with CPP-ACP group: after 4 days (6-b) after 5 days (6-c) after 6 days. (7-a) Fluoride varnish group: after 1 day (7-b) after 2 days (7-c) after 6 days. (8-a) Low-level fluoride mouthrinse group: after 4 days (8-b,c) after 5 days and 6 days. (9-a) Fluoride varnish + tooth cream with CPP-ACP group: after 1 day (9-b) after 2 days (9-c) after 6 days. (10-a) Low-level fluoride mouthrinse + tooth cream with CPP-ACP group: after 4 days (10-b,c) after 5 and 6 days.

접촉시간에 해당하며, 콜라를 여러 회 나누어 마시는 실제 상황을 재현코자 함이었다. 그런데, Amaechi 등²⁵⁾은 구강 외에서 치아 침식증을 유발하기 위해 산성 음료와 인공타액에 번갈아 순환시키는 것이 실제 구강환경과 유사하며, 산성 음료와 물에 번갈아 순환시키는 것은 실제 구강 내 상황보다 침식이 과장되게 나타난다고 하였다.

시편의 군 배정 시, 연마된 시편의 법랑질 두께에 따른 ΔQ 의 차이를 제거하고 법랑질 시편이 침식에 반응하는 차이를 제거하기 위해, QLF의 ΔQ 와 미세경도 평균이 유의차가 없도록 시편을 배분하였다. 한편, 준비조사에서 대조군의 미세경도 측정 시, 법랑질에 형성된 다이아몬드 압입 경계가 7일부터는 불명확하여 6일 동안 미세경도를 측정하기로 하였다.

Lussi 등²⁶⁾은 산성음료에 침식 시간이 증가할수록 표면경도 값도 비례적으로 감소한다고 하였다. 그러나 Maupomé 등²⁴⁾은 처음 노출시 표면경도가 가장 많이 감소했다고 하였다. 이번 실험에서도 표면 미세경도 값은 처음 노출시 가장 많이 감소하였다. 미세경도의 감소 정도는 Wongkhantee 등²⁷⁾의 연구와 유사하였고, Maupomé 등²⁴⁾의 연구에서 저소비군보다는 적었다.

구강 내에서 자연치는 타액에 잠겨있으며, 타액은 산성 음료에 의해 구강 내 산도가 낮아지는 것을 효과적으로 상쇄시킨다²⁰⁾. 이번 연구에서는 모든 시편을 인공 타액에 보관하였는데, 침식 초기 단계에 인공타액의 피막에 둘러싸인 법랑질 표면은 칼슘과 인산염에 대해 포화되거나 과포화된 인공타액-산성음료 혼합물과 접촉할 것이고, 콜라에는 인산 이온이 충분히 존재하기 때문에 실제 구강 내 환경처럼 화학 평형은 법랑질 용해를 감소시키는 방향으로 이끌어 침식 효과를 감소시킬 수 있다²⁸⁾. 또한 인공타액의 피막은 낮은 산도와 높은 인산 함량에 대해 완충능을 가지고 있어 산성 음료와 타액의 혼합물이 법랑질에 접촉했을 때, 먼저 피막의 완충능이 낮아지므로 결과적으로 구강 내 환경과 유사하게 시편의 침식을 지연시키는 효과를 나타냈을 것이다²⁸⁾. 이번 연구에 사용한 인공타액에는 점도를 증가시키기 위해 carboxymethyl cellulose를 첨가하였다. 그런데 구강 내에서 형성되는 획득피막의 기저층에는 칼슘과 친화성이 있는 단백질, 즉 프롤린이 풍부한 단백질과 statherin 등이 존재하고, 효소 작용에 의해 성숙된 획득피막이 형성된다. 따라서, 실제 구강 내에서 형성된 획득피막의 산에 대한 보호작용을 구강 외에서 형성된 획득 피막에서 기대하기는 어렵다²⁹⁾.

칼슘과 인산에 대해 과포화된 인공타액에 장시간 치아를 저장하면 침식 법랑질 표면에 칼슘인산 결정이 침착되어 재광화 효과를 보인다^{19,25)}. 김³⁰⁾은 5분간 콜라에 담긴 우치 법랑질을 구강 내에 24시간 보관했을 때 미세경도가 유의한 증가를 보였다고 하였고, Eisenburger 등¹⁹⁾도 24시간 인공타액에서 재광화를 보인다고 하였다. 그러나 Collys 등³¹⁾과 Lippert 등³²⁾은 침식에 대한 타액의 재광화 효과는 유의하지 않았다고 하였다. 이는 타액으로부터 침전할 수 있는 광물질의 절대량이 매우 적기 때문이라고 하였다. 한편 Ingram과 Edgar³³⁾에 따르면, 재광화 시에 형성된 무기물은 원래 치질보다 용해도가 낮다고 한다. 따라서 대조군 시편의 재광화로 형성된 칼슘인산 결정이 탄산 음

료에 먼저 용해되어 어느 정도 침식을 감소시키는 효과가 있었을 것이나, 미세경도 값이 6일 동안 계속 유의하게 감소했음을 볼 때, 칼슘과 인산이 과포화된 인공타액에 24시간 시편을 보관하는 것으로는 5분간의 탄산음료에 의한 침식을 예방하기에 역부족임을 알 수 있었다.

대조군(1군), CPP-ACP 치아크림군(2군), 저농도 불소 양치액군(4군), 저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림군(6군)의 FE-SEM 상은 Eisenburger 등¹⁹⁾과 Munoz 등²⁰⁾의 보고처럼 Type I 산부식 형태와 같은 벌집모양을 보였다. 법랑 소주 중심부가 먼저 용해되었고, 법랑질 주간공극이 명확하게 보였다. Maupomé과 Frank¹⁰⁾는 prismatic enamel의 경우, 초기에는 prism sheath부위에서 침식이 일어나지만, 산과 더 오래 접촉하면 core의 용해가 일어나며 시간이 지나면 interprismatic area의 용해도 일어난다고 하였다. 이 같은 현상은 prism sheath의 결정간 공간이 커서 많은 양의 유기물이 존재하고 이 부위에 산이 가장 먼저 침투되기 때문이며, 법랑소주의 중심과 경계부분의 법랑질 결정의 배열과 유기물 양이 서로 달라 산에 대한 용해도 차이로 interprismatic area의 용해가 가장 나중에 나타나기 때문이다²⁹⁾. FE-SEM 상에서 Type 1의 산부식 형태 위에 결정구조가 불명확한 무정형 침착물이 존재했는데, 이는 산에 노출된 법랑질 시편을 증류수에 넣었을 때, 법랑질 연화층 내에 칼슘과 인산이 풍부한 용액의 pH가 갑자기 증가하기 때문에 나타나는 현상이다¹⁸⁾.

2군 CPP-ACP 치아크림군의 미세경도는 대조군과 비교시 1~5일에는 유의차를 보이지 않았고, 6일에만 유의차를 보였다. 침식깊이 또한 대조군과 유의차를 보이지 않았고, ΔQ 역시 유의차가 없었다. FE-SEM 상도 1군과 가장 유사했다. 결과적으로 CPP-ACP 치아크림은 치아 침식에 효과가 없었다. Lennon 등²⁾도 법랑질 시편에 casein/calcium phosphate를 포함하는 치아크림을 처리한 군은 무처리군과 유의차가 없다고 하였다. 그러나 Jeremy 등⁸⁾은 치아크림군이 대조군에 비해 법랑질 침식 예방 효과가 있다고 하였다. Casein phosphopeptide는 우유의 casein을 분해시켜 만든 multiphosphorylated peptides로 한 분자 내 여러 개의 인산세린 잔기(-Ser(P)-Ser(P)-Ser(P)-Glu-Glu-)를 가지고 있어, 용액 내의 칼슘과 인산이온을 무정형의 칼슘인산형태로 안정화시킬 수 있다. CPP는 25개의 칼슘이온과 15개의 인산이온과 부착하여 준안정 상태의 용액을 만들어 자체적으로 결정핵이 형성되는 것을 막고, 산 공격시 칼슘과 인산이온을 방출하여 치아표면을 칼슘과 인산이온으로 과포화시켜 탈회를 억제하고 재광화를 촉진시킨다고 알려져 있다⁶⁾.

4군 저농도 불소 양치액군은 2군 CPP-ACP 치아크림군과 비교시, ΔQ 는 4~6일에서 유의차가 있었지만 미세경도 값은 4일을 제외하고는 유의차가 없었고, 침식깊이 또한 유의차가 없었다. 이를 통해 저농도의 불소와 CPP-ACP 치아크림은 침식 예방에 유의차가 적음을 알 수 있었다. 그러나 대조군과 비교시, 2군의 미세경도, 침식깊이, ΔQ 는 유의차가 없음에 반해 4군의 미세경도 값은 4~6일에서 유의차를 보였고, 침식깊이와

ΔQ도 유의차를 보였다. 그리고 저농도 불소 양치액과 CPP-ACP 치아크림을 모두 사용한 6군의 ΔQ가 4군과는 유의차가 없었고 2군과 유의차를 보였다. 또한 FE-SEM 상에서 4군은 2군에 비해 법랑질 주간공극이 보존되었고 무기질 소실량이 2군이 더 컸음을 볼 때, CPP-ACP 치아크림군은 연화층이 쉽게 침식되어 분화구가 빠르게 형성되고 저농도 불소 양치액군은 연화층의 법랑질 주간공극의 침식 지연으로 분화구 형성을 지연시키고 있음을 유추할 수 있었다. 이는 법랑질 주간 공극의 침식을 지연시키는데 저농도 불소의 효과가 CPP-ACP 치아크림보다 우세함을 의미한다. 이는 침식으로 연화된 표면에 저농도 불소는 FHAP(Fluorhydroxyapatite) 또는 FAP(Fluorapatite)와 CaF₂으로 침착되고^{34,35}, CPP-ACP는 HAP(Hydroxyapatite)로 침착되는데⁶, 산에 대한 용해도는 HAP가 FHAP, FAP, CaF₂보다 높기 때문이다³⁶.

이번 연구에서는 법랑질 시편에 불소 양치액을 1회 1분간 처리하였는데, 구강 내 환경처럼 획득피막이 없어 불소를 저장할 장소가 충분하지 않아 법랑질 내부로 병합되거나 표면에 침착된 불소양이 충분하지 않았을 것이고, 결과적으로 불소 양치액의 침식 예방 효과가 감소했을 것이다. CPP-ACP 치아크림 또한 이와 같은 이유로 효과가 상쇄되었을 것으로 생각된다.

저농도의 불소 양치액과 CPP-ACP 치아크림을 동시에 사용한 6군은 CPP-ACP 치아크림만을 사용한 2군과는 2~6일, 저농도 불소 양치액을 사용한 4군과는 3~6일에 미세경도에 유의차를 보였다. 침식깊이도 2군, 4군과 각각 유의차를 보였고 ΔQ는 2군과 2~6일에 유의차를 보였음을 볼 때, 저농도의 불소 양치액과 CPP-ACP 치아크림을 동시에 사용하는 것이 단독 사용하는 것보다는 침식 예방에 효과적임을 알 수 있었다. 이는 탈회된 법랑질의 재광화에 저농도 불소와 CPP-ACP를 동시에 사용하는 것이 부가적인 효과를 보였던 것과 같은 결과다^{6,34}. 그러나 Lennon 등²은 두 제품을 모두 사용한 군에서도 대조군과 유의차가 없다고 하였다.

3군 불소 바니쉬군의 미세경도, 침식깊이, ΔQ는 불소 바니쉬와 CPP-ACP 치아크림을 동시에 사용한 5군을 제외한 나머지 군들과 유의차가 있었다. 이를 통해 불소 바니쉬의 침식 예방효과가 인공타액, CPP-ACP 치아크림, 저농도 불소 양치액, 저농도 불소 양치액 + CPP-ACP 치아크림보다 탁월함을 알 수 있었다. Vieira 등³⁷과 Imfeld³⁸, Sorvari 등⁸도 같은 결과를 보고하였다. 이는 불소 바니쉬가 첫째, 치아 조직과 불소 약제사이의 접촉시간을 증가시켜 불소 흡수와 불화칼슘 형성을 증가시켜 불소 저장소의 역할을 하고⁴, 둘째, 치아 표면에 균일하고 단단하게 침착된 불화칼슘은 pH 하강시 칼슘, 인산, 불소가 용출되어 타액과 치면에 칼슘과 인산을 공급하며⁸, 셋째, 도료 자체가 산 용해도를 감소시키고 기계적 마모에도 보호작용을 나타내기 때문이다⁸. FE-SEM 상에서도 불소 바니쉬는 6일 동안의 침식에도 대부분 남아 있었고, 도료가 탈락한 부위에서 일부 침식이 일어났지만 시편 표면의 대부분은 매끄러웠다.

침식은 재광화에 필요한 표면 하방의 병소가 없기 때문에 불화칼슘 같은 결정층이 유일한 침식 예방법이다. 불화칼슘의 용

해도는 불화인회석보다 낮기 때문에 산공격 동안, 하방의 법랑질이 공격받기 전 불화칼슘 같은 물질이 먼저 용해된다¹³. 불소의 보호 작용은 결정화된 불화칼슘염의 두께와 주로 연관이 있어 구강 외 실험에서 불소는 침식 진행을 감소시키는 데 제한된 효과를 갖는다¹³. 그러나 타액 내에서는 물이나 인산 완충용액보다 불화칼슘이 덜 용해된다. 또한 불화칼슘 같은 층은 인산염과 단백질에 흡수되어 더욱 안정되므로, 초기에 충분히 결정이 형성되었다면 몇 주 후에도 구강 내에서 불화칼슘 결정이 발견될 수 있다^{13,39}. Arends와 Schuthof⁴⁰은 불소 바니쉬 도포 후 법랑질 50 μm까지 많은 양의 불소가 지속적으로 부착되어 있다고 보고하였다. 따라서 정신적인 선호도나 직업적 이유로 산 노출을 피할 수 없는 침식 고위험군에 속한 이들에게는 고농도 불소 바니쉬가 침식 예방에 더욱 효과적이라 하였다⁴⁰.

이 연구에서는 불소 바니쉬의 도료를 제거하지 않았다. 실제 구강에서는 바니쉬를 바른 후에 도료를 제거하지 않기 때문이었고, 또 Vieira 등³⁹은 무처리한 법랑질 시편과 불소를 제거한 바니쉬를 도포한 군에서 침식량이 많았고 불소 바니쉬를 처리한 군과 유의한 차이를 보이므로, 도료 자체보다는 고농도의 불소가 침식 예방에 주로 기여한다고 보고했기 때문이었다. 그런데 FE-SEM에서 1일 후에 극히 일부의 바니쉬가 탈락했고, 6일 후에도 많은 양의 바니쉬가 남아있음을 볼 때, 도료 자체의 침식 예방능을 무시할 수는 없을 것이다. 이번 연구는 6일간의 단기간 예방효과를 살펴 본 것이어서, 도료가 모두 자연 탈락한 이후에도 남아있는 불화칼슘층이 얼마나 침식 예방 효과가 있는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

3군 불소 바니쉬군과 불소 바니쉬와 CPP-ACP 치아크림을 동시에 사용한 5군의 침식깊이는 유의차가 없었고, 미세경도와 ΔQ도 유의차가 없었음을 볼 때, 고농도의 불소를 도포한 후에 CPP-ACP 치아크림을 도포하는 것은 부가적인 효과가 없음을 알 수 있었다. 이는 6일 동안 불소 바니쉬의 도료가 상당부분 남아있어 CPP-ACP 치아크림이 법랑질과 직접 접촉할 기회가 적었기 때문으로 생각된다. 따라서 고농도 불소와 CPP-ACP 치아크림을 동시에 사용했을 때의 효과를 보기 위해서는 도료가 모두 탈락한 이후까지 추가적인 연구가 필요하다. 다른 군에 비해 3군과 5군의 효과가 탁월했으나, 3군과 5군도 매일의 ΔQ는 감소했다. 따라서 불화칼슘층은 초기 침식 공격으로부터 법랑질을 보호하지만¹³, 반복적으로 산에 노출되면 보호효과가 감소함을 알 수 있었다⁴¹. 불소 바니쉬를 도포한 표면에는 polyurethane이 경화되면서 발생한 기포로 인해 좁은 골짜기 같은 불규칙한 면이 생기는데⁴², 이처럼 불규칙한 부위의 바니쉬는 쉽게 탈락할 수 있고, 산 공격시 이 부위에서 먼저 법랑질 침식이 일어난다고 한다³⁷. 3군과 5군의 FE-SEM 상에서도 도료가 불규칙적으로 움푹 패어나간 부분을 확인할 수 있었다. 바니쉬는 산이나 칫솔질에 의해 떨어져 나갈 수 있기 때문에, 산 공격으로부터 치아를 보호하기 위해서는 바니쉬를 여러 번 바르거나 정기적으로 바니쉬를 도포해야 할 것이다.

치아 침식증은 pH, 적정산도, pK, 온도, 산의 종류 및 특성, 타액과 획득 피막의 존재, 불소 등과 같은 다양한 요소의 영향

을 받는 복잡한 과정이다⁴³⁾. 따라서 구강 외 실험에서 이러한 변수들을 모두 만족시키기는 어려우며 구강 외 실험 결과를 실제 구강환경에서와 같이 추정하는 데는 한계가 있다. Hall 등⁴⁴⁾은 구강 외와 구강 내 환경에서 법랑질 침식은 약한 양의 상관관계 ($r=0.64$)를 보였으나, 구강 외 환경에서 침식에 대한 반응성이 더 컸다고 하였다. 따라서 구강 외 실험의 무기물 소실량이 과대평가될 수 있음을 고려하고 자료를 평가해야 한다.

V. 결 론

대표적인 항우식 제품인 CPP-ACP 치아크림, 불소 바니쉬, 저농도 불소 양치액을 치아에 도포하는 것이 단시간 탄산음료 접촉에 의한 법랑질의 침식을 예방할 수 있는지 살펴보고자, 연마한 법랑질 시편을 6군 즉, 인공타액에만 담근 대조군(1군), CPP-ACP 치아크림을 도포한 군(2군), 불소 바니쉬를 처리한 군(3군), 저농도의 불소 양치액을 처리한 군(4군), 불소 바니쉬와 CPP-ACP 치아크림을 처리한 군(5군), 저농도 불소 양치액과 CPP-ACP 치아크림을 처리한 군(6군)으로 나누어 항우식 제품을 바르고 24시간 인공타액에 보관한 후 콜라에 1분 증류수에 1분씩 5회 번갈아 처리하였다. 침식 정도를 관찰하기 위해 미세경도와 침식깊이를 측정하였고, QLF를 이용하여 무기질 감소량을 평가하기 위해 안정된 형광 격자에 대한 부피 형광 변화(ΔQ)를 측정하였으며, 6일간 실험을 반복하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 미세경도 값은 1군 \leq 2군 \leq 4군 $<$ 6군 $<$ 3군 \approx 5군 순이었다.
2. 평균 침식깊이는 5군 \approx 3군 $<$ 6군 $<$ 4군 \approx 2군 \approx 1군 순이었다.
3. ΔQ 는 1군 \approx 2군 \leq 4군 \leq 6군 \leq 3군 \approx 5군 순이었다. ΔQ 의 감소율은 1군과 2군, 4군과 6군, 3군과 5군이 각각 유사하였다.
4. ΔQ 는 미세경도와 강한 양의 상관관계를 나타냈고 ($r=0.96$, $p<0.05$), 침식깊이와는 강한 음의 상관관계를 보였다($r=-0.96$, $p<0.05$).

참고문헌

1. Imfeld T : Dental erosion. Definition, classification and links. Eur J Oral Sci, 104:151-155, 1996.
2. Lennon AM, Pfeffer M, Buchalla W, et al. : Effect of a casein/calcium phosphate containing tooth cream and fluoride on enamel erosion in vitro. Caries Res, 40:154-157, 2006.
3. Fowler C, Willson R, Rees GD : In vitro microhardness studies on a new anti-erosion desensitizing toothpaste. J Clin Dent, 17:100-105, 2006.
4. Amaechi BT, Higham SM : Dental erosion: possible approaches to prevention and control. J Dent, 33:243-252, 2005.
5. 장기택 : 수증 음료수의 법랑질과 상아질 침식에 관한 연

- 구. 대한소아치과학회지, 24:719-726, 1997.
6. Reynolds EC, Black CL, Cai F, et al. : Advances in enamel remineralization: casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. J Clin Dent, 2:86-88, 1999.
7. Wiegand A, Attin T : Influence of fluoride on the prevention of erosive lesion- a review. Oral Health Prev Dent, 4:245-253, 2003.
8. Sorvari R, Meurman JH, Alakuijala, et al. : Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. Caries Res, 28:227-232, 1994.
9. Jeremy R, Theresa L, Barbara C : Pronamel and tooth mousse: an initial assessment of erosion prevention in vitro. J Dent, 35:355-357, 2007.
10. Meurman JH, Frank RM : Scanning electron microscopy study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion. Caries Res, 25:1-6, 1996.
11. Gao XJ, Elliott JC, Anderson P : Scanning and contact microradiographic study of the effect of degree of saturation on the rate of enamel demineralization. J Dent Res, 70:1332-1337, 1991.
12. Meurman JH, Frank RM : Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. Caries Res, 25:81-87, 1991.
13. Ganss C, Klimek J, Schaffer U, et al. : Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro. Caries Res, 35:325-330, 2001.
14. Bruun C, Givskov H : Formation of CaF₂ on sound enamel and caries-like enamel lesions after different forms of fluoride applications in vitro. Caries Res, 25:96-100, 1991.
15. Larsen MJ : Prevention by means of fluoride of enamel erosion as caused by soft drinks and orange juice. Caries Res, 35:229-234, 2001.
16. Grenby TH : Methods of assessing erosion and erosive potential. Eur J Oral Sci, 104:207-214, 1996.
17. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : The validation of quantitative light-induced fluorescence to quantify acid erosion of human enamel. Arch Oral Biol, 49:285-294, 2004.
18. Shen P, Cai F, Nowicki A, et al. : Remineralization of enamel subsurface lesions by sugar-free chewing gum containing casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. J Dent Res, 80:2066-2070, 2001.
19. Eisenburger M, Addy M, Hughes JA, et al. : Effect

- of time on the remineralization of enamel by synthetic saliva after citric acid erosion. *Caries Res*, 35:211-215, 2001.
20. Munoz CA, Feller R, Haglund A, et al. : Strengthening of tooth enamel by a remineralizing toothpaste after exposure to an acidic soft drink. *J Clin Dent*, 10(Spec No 1):17-21, 1999.
 21. Kuhnisch J, Heinrich-Weltzien R, Rohrig A, et al. : Monitoring of erosive lesions with quantitative light-induced fluorescence. *Caries Res*, 35:295-299, 2001.
 22. Ganss C, Klimek J, Schwarz N : A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralization. *Arch Oral Biol*, 45:897-902, 2000.
 23. Hall AF, Sadler JP, Strang R, et al. : Application of transverse microradiography for measurement of mineral loss by acid erosion. *Adv Dent Res*, 11:420-425, 1997.
 24. Maupomé G, Aguilar AM, Medrano UH, et al. : In vitro quantitative microhardness assessment of enamel with early salivary pellicles after exposure to an eroding cola drink. *Caries Res*, 33:140-147, 1999.
 25. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM : Techniques for the production of dental eroded lesions in vitro. *J Oral Rehabil*, 26:97-102, 1999.
 26. Lussi A, Jaggi T, Scharer S : The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res*, 27:387-393, 1993.
 27. Wongkhantee S, Patanapiradej V, Maneenut C, et al. : Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. *J Dent*, 34:214-220, 2006.
 28. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM : Use of transverse microradiography to quantify mineral loss by erosion in bovine enamel. *Caries Res*, 32:351-356, 1998.
 29. Nekrashevych Y, Stosser L : Protective influence of experimentally formed salivary pellicle on enamel erosion. An in vitro study. *Caries Res*, 37:225-231, 2003.
 30. 김정옥 : 산성 음료수에 의한 법랑질 침식과 구강 내 재경화에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 25:312-322, 1998.
 31. Collys K, Cleymaet R, Coomans D, et al. : Rehardening of surface softened and surface etched enamel in vitro and by intra-oral exposure. *Caries Res*, 27:15-20, 1993.
 32. Lippert F, Parker DM, Jandt KD : In situ remineralization of surface softened human enamel studied with AFM nanoindentation. *Surf Sci*, 533:105-114, 2004.
 33. Ingram GS, Edgar WM : Interactions of fluoride and non-fluoride agents with caries process. *Adv Dent Res*, 8:158-165, 1994.
 34. 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*, 28:119-124, 2004.
 35. LeGeros RZ : Calcium phosphates in demineralization/ remineralization processes. *J Clin Dent*, 10:65-73, 1999.
 36. Featherstone JD : Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. *Community Dent Oral Epidemiol*, 27:31-40, 1999.
 37. Vieira A, Jager DH, Ruben JL, et al. : Inhibition of erosive wear by fluoride varnish. *Caries Res*, 41:61-67, 2007.
 38. Imfeld T : Prevention of progression of dental erosion by professional and prophylactic measures. *Eur J Oral Sci*, 104:215-220, 1996.
 39. Vieira A, Ruben JL, Huysmans MC : Effect of titanium tetrafluoride, amine fluoride and fluoride varnish on enamel erosion in vitro. *Caries Res*, 39:371-379, 2005.
 40. Arends J, Schuthof J : Fluoride content in human enamel after fluoride application and washing- an in vitro study. *Caries Res*, 9:363-372, 1975.
 41. Arends J, Chirstoffersen J : Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries. *J Dent Res*, 69(Spec Iss):601-605, 1990.
 42. Nelson DGA, Jongbloed WL, Arends J : Crystallographic structure of enamel surfaces treated with topical fluoride agents: TEM and XRD considerations. *J Dent Res*, 63:6-12, 1984.
 43. West NX, Maxwell A, Hughes JA, et al. : A method to measure clinical erosion: the effect of orange juice consumption on erosion of enamel. *J Dent*, 26:329-335, 1998.
 44. Hall AF, Buchanan CA, Millett DT, et al. : The effect of saliva on enamel and dentine erosion. *J Dent*, 27:333-339, 1999.

Abstract

THE PREVENTIVE EFFECT OF COMMERCIALY AVAILABLE ANTICARIOGENIC PRODUCTS ON ENAMEL EROSION INDUCED BY CARBONATED BEVERAGE *IN VITRO*

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, Graduate School, Seoul National University & Dental Research Institute

The aim of this study was to evaluate the preventive effect of commercially available anticariogenic products, specifically, the tooth cream containing Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate(CPP-ACP), fluoride varnish and low-level fluoride mouthrinse on enamel erosion induced by carbonated beverage in a short period of time. Enamel specimens were treated as follows and were then kept in artificial saliva for 24 hours followed by further processing by alternately soaking them in Cola beverage and in distilled water for 1 minute each five times.

Group 1: control group (no treatment)

Group 2: tooth cream with CPP-ACP

Group 3: fluoride varnish (1,000 ppm F)

Group 4: low-level fluoride mouthrinse (227 ppm F)

Group 5: fluoride varnish + tooth cream with CPP-ACP

Group 6: low-level fluoride mouthrinse + tooth cream with CPP-ACP

Microhardness and erosion depth were measured and the mineral loss of each specimen was evaluated by measuring the volumetric fluorescence change(ΔQ) against the stable fluorescent grid using quantitative light-induced fluorescence(QLF). The experiment lasted for 6 days repeated each day. The results were as follows:

1. The microhardness was increased as follows: Group 1 \leq 2 \leq 4 \leq 6 \leq 3 \leq 5.
2. The mean erosion depth was increased as follows: Group 5 \leq 3 \leq 6 \leq 4 \leq 2 \leq 1.
3. The ΔQ was increased as follows: Group 1 \leq 2 \leq 4 \leq 6 \leq 3 \leq 5. The decrement of ΔQ was similar between group 1 and 2, group 4 and 6 and group 3 and 5.
4. The ΔQ showed positive correlation with microhardness ($r=0.96$, $p<0.05$), while it was negatively correlated to erosion depth ($r=-0.96$, $p<0.05$).

Key words : Tooth cream, Fluoride varnish, Fluoride mouthrinse, Microhardness, Erosion depth, Volumetric fluorescence change(ΔQ)