

유기산 완충용액의 포화도가 상아질의 탈회에 미치는 영향

강혜실 · 이찬영*

연세대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF SATURATION OF ACIDULATED BUFFER SOLUTIONS IN THE ROOT DENTIN DEMINERALIZATION

Hye-Sil Kang, Chan-Young Lee*

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University

The purpose of this study is to compare and to evaluate the effects of the degree of saturation on the progression of artificial root caries lesion.

A total of 8 human premolars without any defects and cracks selected and the cementum were removed and the teeth were cleaned with ultrasonic device and pumice without fluoride.

Each tooth was sectioned into 6 pieces and they were ground with #800 sandpaper until they had a thickness of 200 μ m. Specimens were applied with nail varnish except for the 2-3 mm window area after application of bonding agent. Under the constant pH, the specimens were divided into 6 groups (degree of saturation: 0.1415, 0.1503, 0.1597, 0.1676, 0.1771, 0.1977). Each group was immersed in acid buffer solution for 1, 2, 3, 5 days under controlled temperature (25 $^{\circ}$ C) and imbibed in water and examined using the polarizing microscope.

The results were as follows

1. Although the degree of saturation of demineralization solution decreased, the depth of penetration in the dentin was constant.
2. Erosion was observed on the surface of all the teeth in the group I, II. In the group III, IV, V, surfaces were not changed. The teeth in the group VI showed the more mineralized surface but not the shape of the dentinal tubules distinctively.
3. In all groups, the lesion progressed rapidly at the first day of the experiment, but increased gradually as time elapsed. [J Kor Acad Cons Dent 29(5):454-461, 2004]

Key words : Dentin demineralization, Degree of saturation, Acid buffer solution

I. 서 론

* Corresponding author: Chan-Young Lee

Department of Conservative Dentistry,
College of Dentistry, Yonsei University
Sinchon-dong 134, Seodaemun-gu, Seoul, Korea, 120-752
Tel : 82-2-361-8700
E-mail: chanyoungl@yumc.yonsei.ac.kr

치아 우식증은 구강 질환 중 가장 흔한 만성 질환의 하나로써, 이를 예방하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 일반적으로 치아 우식증은 대개 유소년기에 호발하지만, 사회, 경제적 발전과 인구의 고령화로 인해 치은이 퇴축되고, 치조골이 소실되며, 치근이 노출되면서 치근 우식증이 증가추

※ 이 연구는 1997년 연세대학교 치과대학 연구비의 지원을 받아 이루어진 논문임.

세에 있다^{1,2)}. Kayz 등³⁾은 치근 우식이 21.7%에서 55.9%의 범위를 나타낸다고 하였고, 환자의 연령에 따라 더욱 우식이 증가됨이 보고되고 있다⁴⁾. 치근 우식증은 치근면의 치주 조직 부착이 소실되고 구강 환경에 노출된 연화되고 진행중인 병소⁵⁾, 또는 명확하게 구별되고 변색된 부위로 explorer가 쉽게 삽입되나 제거 시 약간의 저항을 느끼는 것⁶⁾이라고 정의되고 있다.

법랑질과 상아질은 조직학적, 화학적으로 많은 차이를 보인다. 법랑질은 무게의 95~98%가 무기질이고, 1~2%만이 유기질이나, 상아질의 경우에는 무기질이 45~50%이고, 유기질이 30%를 차지하고 있으며, 상아세관이라는 특징적인 구조가 있어 유기물이 특정부위 밀집되어 있다고 생각할 수 있다⁷⁾. 그러므로 상아질, 혹은 치근 우식의 양상은 법랑질과 비교해볼 때 병소 형성시간, 조직학적 형태, 화학적 조성에 차이가 있을 것으로 예상된다.

치근 우식증을 연구하는 방법으로는 법랑질 우식을 연구하는 방법과 유사한 방법으로 조직현미경, 편광현미경, microradiograph, 전자현미경을 이용하는 방법이나, 화학적 성분 분석을 하는 방법 등이 있다. 편광현미경을 이용하는 경우에는 탈회된 각 층의 입자의 성질에 따라 복굴절의 변화를 나타내 병소의 진행에 따른 층의 구별이 가능하고, microradiograph에서 나타나는 상아질 교원 섬유의 수축에 의한 영향을 줄일 수 있고, 혹시 남아있을 백악질에 대한 구별이 용이하다^{8,9)}. 그러나 편광현미경을 사용하는 경우에는 병소의 깊이를 측정할 수는 있으나 실제 무기질의 소실 여부를 정량적으로 비교하는 것은 불가능하다는 단점이 있다.

치근 우식증을 유발시키는 방법으로는 탈회에 필요한 산을 형성하는 bacterial system (치태)을 이용하는 방법^{10,11)}, acidified gel system을 사용하는 방법^{12,13)}, partially saturated buffer system을 이용하는 방법¹⁴⁾ 등이 있다. Wefel 등⁸⁾은 치근 우식증을 유발하는 방법들을 비교하였는데 acidified gel system을 사용하는 방법과 partially saturated buffer system을 이용하는 방법에서 유사한 결과를 얻었다고 보고하였으며, 이중 partially saturated buffer system을 이용하는 방법의 경우 용액에 의한 변화가 빨리 나타나 빠른 시간 내에 결과를 관찰할 수 있고, 다양한 조건을 손쉽게 변화시킬 수 있다는 장점이 있다고 하였다.

지금까지 초기 법랑질 우식 병소에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나 조직학적, 화학적으로 차이가 있는 치근면 우식에 대한 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 유기산 완충용액에서 상아질에 대한 포화도에 따라 인공 우식 형성의 특성과 시간에 따른 탈회의 변화를 관찰하는데 있다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시편제작

발거한 영구치중 우식이 없고 탈회되지 않은 소구치를 선택하여 치근의 연조직 및 백악질을 curette으로 제거하고, 불소가 함유되지 않은 pumice로 치근면을 연마한 다음 초음파세척기로 세정 후 증류수로 세척, 건조하였다. 건조된 치아는 치관 부위를 자가중합형 아크릴릭 레진을 이용하여 치관 부위만 매몰하고, 경화 후 low speed diamond wheel (South Bay Technology, U.S.A.)를 이용하여 치아 장축에 수직이 되도록 400~500 μ m 두께의 절편을 만든 다음 #800사포를 이용하여 200 μ m두께로 연마하였다. 이때 가능한 한 같은 치아에서 제작된 시편이 각 군에 골고루 분배되어 치아로 인한 오차를 줄이고자 노력하였다.

연마된 앞, 뒷면에는 탈회용액과의 접촉을 차단할 수 있도록 bonding resin (Scotchbond MP, 3M Dental product, U.S.A.)을 도포한 다음 질소가스 하에서 광중합하였다. 그 후 연마된 시편을 입체 현미경하에서 검사하여 우식이나 결손부가 없고, 또한 금이 가지 않은 부분을 확인하여 여기에 폭 2~3mm의 window를 형성하였고, 이 부위를 제외한 나머지 부위에는 nail vanish를 도포하였다. 시편의 앞, 뒷면은 name pen을 이용하여 표기하여 구분하였다.

2. 실험용액의 제작

1) Stock 용액의 제조

30% lactic acid (Sigma Co., U.S.A., 분자량 90.08, 밀도 1.080)로부터 1M의 lactic acid를, 염화칼슘분말 (Sigma Co., U.S.A., 분자량 147.0)로부터 0.1M의 용액을, 인산칼륨분말 (Sigma Co., U.S.A., 분자량 136.1)로



Figure 1. Tooth specimen

Table 1. Composition of initial demineralized solution (mM)

Solution	1	2	3	4	5	6
Ca	13.56	13.43	15.35	16.51	17.26	20.68
P	8.55	10.27	9.94	10.25	11.34	11.88
Lactic acid	100	100	100	100	100	100
Sodium azide	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08
pH	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
Degree of Saturation	0.1425	0.15027	0.15969	0.16761	0.17716	0.19774

**Figure 2.** Position of tooth specimen**Figure 3.** Demineralization

부터 0.1M의 용액을 제조하여 용액의 농도가 각각 1.040M, 0.0973M, 0.1028M임을 분석하였다.

2) 탈회 완충용액의 제조

Stock 용액 (칼슘, 인, lactic acid) 으로부터 실험 용액을 만들기 위해 각각의 군에 맞도록 정확한 양을 취하고, bacteriostatic하게 하기 위해 0.0308M의 sodium azide를 추가하고, 8M KOH 표준용액을 이용하여 pH meter (Advanced Ion Selective Meter 920, Orion Reserch, U.S.A.) 계측 하에 pH 4.3이 되도록 조절하였다. 이를 다시 정량분석하기 위하여 위의 용액을 자동분석기 (790 PersonalIC, Metrohm, Ion analysis., Switzerland) 로 분석하여 탈회 완충 용액을 제조하였다 (Table 1).

3) 인공 우식의 형성과 관찰

치아의 시편을 50cc 플라스틱 용기에 30cc의 탈회 완충 용액을 채우고 용액에 시편이 잠기도록 한 후 25℃의 항온 수조에 보관하였다. 0일, 1일, 2일, 3일, 5일 경과 후 탈회가 일어난 것을 물과 공기를 침윤시켜 편광 현미경 (I221, 동원정밀, 한국) 으로 확인하고 (배율 : *40, *100) 이 상태

를 디지털카메라 (Coolpix 950 Nikon corporation, Japan) 로 촬영하였다. 디지털카메라로 촬영할 때에는 매 시편마다 동일한 위치를 채득하기 위하여, 시편의 앞, 뒷면에 name pen으로 이용하여 표기하여 구분하였고, 실험 용액에 담그기 전에 찍은 사진과 비교하여 동일한 부위가 기록되도록 하였다.

4) 실험 자료의 분석

편광 현미경을 이용하여 관찰하고 디지털카메라를 이용하여 얻은 결과는 각 군간 평균값과 표준편차를 계산하고 One-Way ANOVA를 이용하여 통계 분석하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 편광 현미경 관찰

병소의 모양은 모든 시편 관찰 시 대부분의 병소에서 깊이가 일정하고, 비교적 경계가 명확하였다. 병소 본체는 건전 상아질에 비해 양성 복굴절의 양상이 나타났고, 상아질의 구조인 상아세관은 비교적 더욱 분명하게 나타났다. 병소

본체 하방에는 띠 모양의 음성복굴절 양상인 병소전면이 관찰되었다.

병소 본체의 표면은 포화도의 변화에 따라 다른 양상을 관찰 할 수 있었다. 포화도가 비교적 낮은 0.15027 이하 (Ⅰ, Ⅱ 군) 에서는 모든 치아에서 표면에 erosion이 나타나는 것을 관찰할 수 있었으며, 이때 표층은 단일한 띠 모양이 아닌 여러 겹으로 형성되고 상아세관의 형태도 부분적으로는 소실됨을 관찰 할 수 있었다. 이것은 동역학적인 균형이 여러 차례 반복되며, 무기물 소실이 발생하면서 표층이 점차 병소 하방으로 진행됨을 알 수 있었다 (Figure 4).

0.15969에서 0.17716사이 (Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ 군) 에서는 표면에서부터 큰 변화를 보이지 않으면서 바로 병소 본체로 진행되는 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 병소 전면에서도 음성복굴절이 비교적 얇은 층으로 형성되면서 좀 더 깊은 층에서도 탈회가 일어나기는 하나 보다 양성 복굴절 양상으로 나타남을 관찰 할 수 있었다 (Figure 5).

포화도가 가장 높은 군이었던 0.19774 (Ⅵ군) 에서는 법랑질에서와 같은 표면층 (surface lesion) 을 확인할 수 있었고, 표면이 Ⅰ, Ⅱ 군처럼 여러 겹으로 형성되며 상아세관의 형태도 부분적으로 소실됨을 관찰 할 수 있었다. 그러나 이 경우에는 Ⅰ, Ⅱ 군과 반대로 동역학적인 균형이 여러 차

레 반복되며, 무기물의 침착이 발생하면서 점차 병소 하방으로 진행됨을 관찰 할 수 있었다 (Figure 6). 본 실험 영역 내의 포화도에서는 cavitation이나 no lesion의 양상은 관찰할 수 없었다.

포화도의 변화에 따라 상아세관부위가 워낙 좁은 영역에서 관찰되어 명확한 차이를 보기는 어려우나, 상아세관에서도 표층에서와 같은 비슷한 경향의 반응이 나타나는 것으로 생각되며, 같은 군내에서는 시간이 경과함에 따라 병소전면은 비교적 더 얇아지고 덜 분명해지는 것을 확인할 수 있었다.

2. 우식 병소의 깊이 측정

pH와 산의 농도를 일정하게 유지시키고 포화도를 변화시켰을 때, 포화도의 변화에 따른 우식 병소의 깊이에는 차이가 없었고, 이는 1, 2, 3, 5일을 각각 비교하였을 때에도 차이가 없음을 확인 할 수 있었고, 통계적으로도 유의차가 없었다 (Figure 7, Table 2). 시간이 1, 2, 3, 5일로 진행됨에 따라 병소 본체의 깊이는 점차 깊어졌으나, 초기 1일의 진행정도를 5일과 비교해보면 초기 1일에 병소의 깊이가 급격히 증가하며 시간이 지남에 따라 점차 진행속도가 감소됨을 알 수 있었다 (Figure 8).



Figure 4. Group I, II



Figure 5. Group III, IV

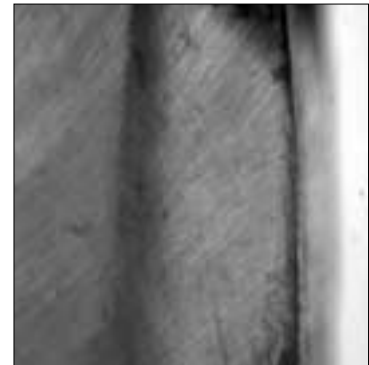


Figure 6. Group VI

Table 2. Mean depth of demineralization (μm)

	Goup I	Goup II	Goup III	Goup IV	Goup V	Goup VI
1day	80.34 \pm 13.07	81.17 \pm 12.28	78.59 \pm 14.88	77.69 \pm 14.14	98.81 \pm 17.08	95.52 \pm 13.58
2day	124.35 \pm 16.49	122.55 \pm 17.73	130.89 \pm 10.14	118.72 \pm 15.51	140.37 \pm 21.72	142.81 \pm 21.69
3day	167.24 \pm 25.35	167.07 \pm 22.41	168.75 \pm 14.70	156.41 \pm 13.71	188.81 \pm 17.75	195.04 \pm 8.66
5day	235.49 \pm 25.09	219.64 \pm 21.28	242.96 \pm 18.77	219.78 \pm 32.45	244.63 \pm 25.25	255.98 \pm 19.05

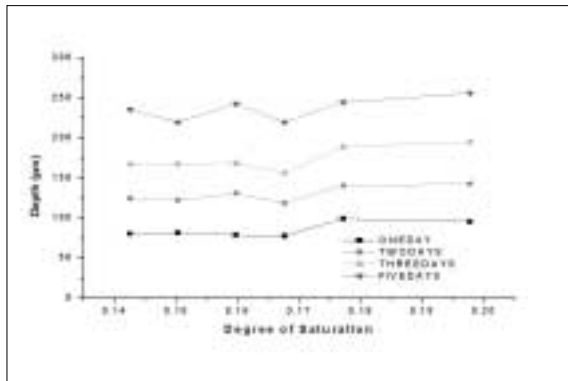


Figure 7. Mean depth of demineralization (μm) - Days

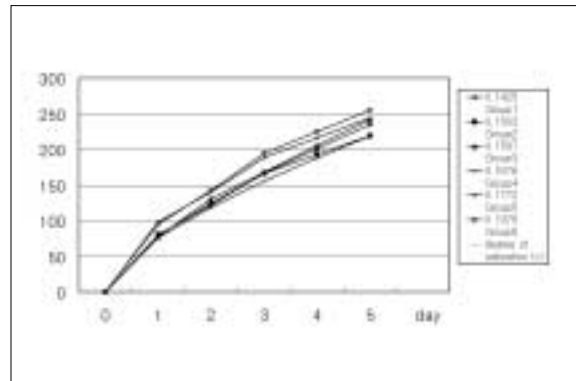


Figure 8. Mean depth of demineralization (μm) - Groups

IV. 총괄 및 고찰

치아 우식은 섭취된 음식이 구강 내 세균 (plaque bacteria) 에 의해 분해되면서 유기산이 형성되어, 치아 경조직의 무기물을 용해시키면서 나타나는 현상이다. 법랑질의 경우에는 다공성이 비교적 많은 enamel prism이 이온 확산에 중요한 역할을 하게 되고^{15,16)} 상아질의 경우에는 상아세관이 그 역할을 감당한다고 볼 수 있다. 따라서 산은 이러한 다공성이 많은 곳을 따라 침투하게 된다. 또한 일반적으로 상아질과 법랑질은 조직학적 구조와 화학적 조성에 차이가 있으며, 상아질이 우식에 더 취약하다. Hoppenbrouwers 등¹⁷⁾은 높은 carbonate와 magnesium 함량으로 인하여 법랑질에 비해 상아질의 무기질 용해도가 높을 것이라고 주장하였고, 상아세관의 존재로 인해 상아질의 투과성이 법랑질에 비해 더 클 것이라고 하였다. Kayz 등¹⁸⁾도 상아질의 무기질 함량이 낮아 법랑질에 비해 산 용해에 대한 저항성이 더 낮을 것이라고 하였고, 우식이 형성되기 위한 임계 pH 또한 법랑질에서는 pH 5.5인데 비해 상아질에서는 pH 6.7로서 더 높다고 보고하였다^{14,17)}.

법랑질의 경우에는 용액의 pH, 완충농도, 이온강도, 포화도, 용해속도상수, enamel matrix의 다공성 등이 용해의 속도와 형태에 직, 간접적인 영향을 주게 되는데¹⁹⁾, 탈회의 driving force는 탈회 용액의 포화도와 관련이 깊다고 할 수 있겠다. Margolis와 Moreno^{20,21)}는 동역학적인 기전에 입각한 우식 형성 가설에서 완충용액의 포화도는 열역학적 용해도에 대한 칼슘, 인 등의 ionic activity로 정의하였으며, 이것에 의해 법랑질의 탈회율이 결정된다고 하였고, 이는 상아질에서도 마찬가지일 것이라고 생각된다.

상아질에서의 탈회에 관한 본 실험을 포함한 대부분의 연구는 인공 우식 병소를 대상으로 하였다. 이는 일반적으로 구강내 환경에서는 어떠한 일정한 조건을 만족시킬 수 없

고, 여러 가지 인자가 함께 작용하기 때문에 본 연구처럼 각각의 요인이 상아질의 탈회에 어떤 영향을 미칠지를 따로 떼어서 관찰 할 수 없기 때문이며, 탈회가 일어나는 부위도 우리가 계획한대로 어느 정도 넓은 영역에 한정하여 실험을 진행할 수 있다는 장점도 있다. 또한 서론에서 언급한 바와 같이 여러 가지 실험 방법 중에서 Moreno 등²⁹⁾이나 Zahrandnik가 제안한 acid buffer system을 이용함으로써 초기 1일에도 이미 탈회의 변화를 확실하게 관찰 할 수 있어 단기간 내에 탈회에 관한 실험을 진행할 수 있었으며, 용액의 포화도를 달리한 본 실험에서처럼 병소의 형성에 관계하는 인자만 분리할 수 있었다. 또한 추후에도 pH나 lactic acid의 농도 등 다른 요인을 변화시킴으로써 상아질 우식에 관한 이해를 높일 수 있을 것이다. 그러나 우식이 빨리 진행되기 때문에 자연 우식 병소와 그 양상이 일치하지 않는다는 단점이 있으므로, 우식 형성을 조금 더 느리게 진행시킬 수 있는 방법도 의미가 있을 것이라고 생각된다.

치아 우식의 진행을 관찰하는 방법도 정량적, 정성적 분석으로 나누어 생각해 볼 수 있는데, 정량적 분석 방법에는 microradiography³⁰⁾나 calcium, fluoride 등의 화학적 성분을 분석하는 방법, electron probe microanalysis³⁰⁾ 등이 있고, 정성적 분석 방법에는 편광현미경, 전자현미경, 조직현미경 등을 이용하는 방법 등이 있다. 본 실험에서는 정성적 분석 방법인 편광 현미경을 이용하여 상아질 탈회를 관찰하였고, Wefel 등³¹⁾이나 오 등²³⁾이 편광현미경에 물을 침윤시켜 관찰했을 때처럼 병소 본체와 건전 상아질간에 구분이 있고, 복굴절의 특징으로 인하여 각 부분에서 어떤 변화가 있는지를 알 수 있었다.

우선 백악질이 남아 있는 시편의 경우에는 초기 탈회용액에 담그기 전에 편광현미경으로 관찰하여 실험 시편에서 제외시킬 수 있었다. 그리고 치근 우식이 진행되면 편광현미경 관찰 시 병소 본체 하방에 음성 복굴절을 나타내는 띠 모

양이 관찰되는데, 이들은 병소의 전방부에서 탈회가 일어나며 무기질이 유리되면서 보다 상부에서 탈회된 collagen matrix에 느슨하게 재침착하게 되어 무기질이 감소된 부위의 재광화를 일으키게 된다고 하였고^{12,22)}, 자연적으로 형성된 우식에 존재하는 병소 전면 (zone of penetration) 과 일치한다고 할 수 있다¹²⁾.

본 실험에서 진행된 우식 병소의 양상은 대부분의 병소에서 깊이가 일정하고, 비교적 경계가 명확하며, 병소 본체는 건전 상아질에 비해 양성 복굴절의 양상이 나타났다. 우선 이 결과에서 주목할 점은 용액의 포화도가 다른 경우에도 우식의 깊이가 비교적 일정했다는 점이며 군 간의 통계적 유의차가 없었다. 물론 동일한 실험조건 하에서도 각각의 시편에 따른 깊이의 차이가 존재하게 되는데, 이러한 현상은 치령, 구강내 존재시 환경의 차이나 식이습관, 법랑질 조성 등의 차이 등 치아 시편 자체의 차이에 의한 것이라고 생각할 수 있으며, 이러한 실험상의 오차를 줄이기 위해서 1 치아 당 6개의 시편을 제작하여 6개 군에 골고루 분배하여 실험하였다. 결과적으로 전체 병소 깊이에는 용액의 포화도가 영향을 미치지 않는다는 사실을 알 수 있었다.

결론적으로 본 실험에서는 탈회를 결정하는 요인이 되는 pH와 유기산의 농도, 포화도 중에서 포화도를 변화시켰는데, 오 등²³⁾의 실험에서 pH를 변화시킨 결과와 비교 시 pH가 4.3에서 5.0, 5.5, 6.0으로 증가함에 따라 병소의 진행 속도가 현저히 느리게 나타났다 하였으며, 금과 이²⁴⁾는 유기산의 종류와 그 농도에 따라 병소의 진행속도가 달랐다 하였다. 반면에 본 실험에서 용액의 포화도는 pH나, 유기산과 비교했을 때, 병소의 진행 속도와는 무관함을 알 수 있었다.

그러나 용액의 포화도의 차이에 따른 변화는 병소의 표면에서는 뚜렷히 관찰 할 수 있었다. 포화도가 비교적 낮은 0.15027 이하 (Ⅰ, Ⅱ 군)에서는 모든 치아에서 erosion이 표면에 나타나는 것을 관찰할 수 있었으며, 이때 표층은 단일한 띠 모양이 아닌 여러 겹으로 형성되고 상아세관의 형태도 부분적으로는 불완전함을 관찰하였다. 이렇게 여러 겹으로 형성되는 이유는 동역학적인 균형이 여러 차례 반복되며 용액의 포화도가 낮기 때문에 점차 무기물 소실이 발생하면서 표층이 점차 병소 하방으로 진행되고 이것이 여러 차례 반복되어 축적된 결과라고 생각할 수 있다.

포화도가 0.15969에서 0.17716사이 (Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ 군)에서는 표면에서부터 큰 변화를 보이지 않으면서 바로 병소 본체로 진행되는 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 병소 전면에서도 음성 복굴절이 비교적 얇은 층으로 형성되었고 좀더 깊은 층에서도 탈회가 일어나며 보다 양성 복굴절 양상으로 나타남을 관찰 할 수 있었다.

포화도가 가장 높은 군이었던 0.19774 (Ⅵ 군)에서는 법랑질에서와 같은 표면층 (surface lesion) 을 확인할 수 있었고, 표면이 Ⅰ, Ⅱ 군처럼 여러 겹으로 형성되며 상아세관

의 형태도 부분적으로 불완전함을 관찰 할 수 있으며, 이렇게 여러겹으로 형성되는 이유는 앞에서 말한 동역학적인 균형이 여러 차례 반복되는 점은 Ⅰ, Ⅱ 군과 유사하지만 용액의 포화도가 높기 때문에 점차 무기물 침착이 발생하면서 표층이 점차 병소 하방으로 진행되고 이것이 여러 차례 반복되어 축적된 결과라고 생각할 수 있다.

상아세관을 관찰해보면 위낙 좁은 영역이어서 명확한 차이를 보기는 어려우나 포화도에 따라 표층에서와 같은 비슷한 경향의 반응이 나타나는 것으로 생각되며, 같은 군내에서는 시간이 경과함에 따라 병소전면은 비교적 더 얇아지고 덜 분명해지는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 법랑질에서 용액의 포화도를 달리하며 실험했던 이²⁵⁾의 결과와 비교해보면, 이²⁵⁾의 실험의 경우 포화도가 0.103이하 (본 실험에서는 비교할 군 없음)에서는 모두 cavitation이 형성되었고, 0.130-0.144에서 (본 실험의 Ⅰ 군에 해당)는 sub-surface lesion이나 erosion이, 0.154-0.159에서 (본 실험의 Ⅱ, Ⅲ 군에 해당)는 subsurface lesion이나 no lesion이, 0.193 (본 실험의 Ⅵ 군에 해당)에서는 no lesion이 형성되었다. 즉 cavitation이 일어났던 포화도는 본 실험과 비교할만한 군이 없으나, erosion이나 subsurface lesion을 보였던 군에서는 본 실험에서는 erosion을 관찰할 수 있었고, subsurface lesion과 no lesion의 사이에서는 표면부터 병소 본체가 균일하게 진행되는 것을, no lesion에서는 subsurface lesion이 형성되는 것을 알 수 있었다. 이상의 비교를 통해서 법랑질과 상아질에서의 용액의 포화도를 달리하여 탈회를 일으켰을 때, 법랑질과는 다르게 상아질의 경우 상아세관이 산의 급속한 이동 통로가 되기 때문에 더 높은 포화도에서도 병소가 형성될 수 있으며, 본 실험 영역 내의 degree of saturation에서는 cavitation이나 no lesion의 양상은 관찰할 수 없었다고 생각된다. 그러나 상아질도 법랑질과 마찬가지로 용액의 포화도에 따라 병소 표면에서 일어나는 변화는 다름을 알 수 있었다.

본 실험에서는 용액의 포화도의 차이에 따른 변화를 편광 현미경으로 관찰했는데, 표층의 변화는 비교적 명확하게 관찰할 수 있지만, 병소 전면이나 상아세관의 경우에는 차이를 명확하게 구분하기 어려웠다. 그러므로 표층과 dentinal tubule, intertubular dentin, peritubular dentin 등 상아질 내에서도 무기질의 조성의 차이를 보이는 각 구조에서 어떤 변화가 일어나는지를 보다 자세히 연구할 필요가 있을 것이라고 생각된다. 이를 위해서는 SEM²⁷⁾, TEM²⁸⁾, AFM (atomic force microscope) 등을 이용하여 관찰할 수 있을 것이며, 특히 AFM이 유리할 것이라고 생각되는데, SEM이나 TEM의 경우에는 치아가 탈회되는 동안 나타나는 미세 구조의 변화를 알 수는 있으나, 이런 경우 시편의 물리적, 화학적 처리과정과 diamond-cutting knife를 이용한 절단 과정 등을 거쳐야하며 그 과정에 따른 오차가 일어날

수 있다. 그러나 AFM의 경우에는 원하는 측정 영역을 지정하면 probe tip이 표면에 힘을 가하면서 표면을 laser로 scannig하고 이 결과를 detector가 받아들여 상을 나타내므로²⁶⁾ 사용상의 편리한 점이 있고, 시편 처리과정에 따른 error를 줄일 수 있는 점, 하나의 시편에서 탈회 전후, 시간에 따라 관찰이 가능하기 때문에 입자 사이의 공간에 어떠한 변화가 있는지를 시간에 따라 알 수 있다는 장점이 있다. 그러나 위낙 고배율이어서 편광현미경에서는 동일부위를 관찰하는 것이 가능하지만 AFM의 경우에는 동일 부위 관찰이 어렵다는 단점도 있다.

이 실험의 경우 5일까지의 결과를 비교해 보면, 초기 1일의 진행속도가 나중 5일째보다는 더 빠름을 알 수 있는데, 더 이상의 기간 동안 관찰했다면 더 명확한 결과를 볼 수 있었겠으나 오 등²³⁾의 실험에서처럼 병소의 진행 양상이 실험 초기에 급속히 진행되다가 시간이 경과함에 따라 속도 자체는 비교적 감소하는 것이라고 생각할 수 있겠다. 이것은 추정하건데 용액의 포화도에 의한 영향이 탈회의 초기에 보다 많고 점차 탈회가 일어나면서 표면에서부터 심부까지 도달하는 용액의 포화도가 탈회에 미치는 영향력이 보다 줄어드는 것이 아닐까 생각된다.

앞으로 본 연구를 비롯하여 상아질의 탈회에 관한 연구가 더욱 활발하게 진행되어 우식 진행 과정에 대한 이해와 우식의 진행을 예방 혹은 늦출 수 있는 약제의 개발에 기여할 수 있기를 기대한다.

V. 결 론

본 연구에서는 pH, lactic acid의 농도는 일정하면서 calcium과 phosphate의 농도에 변화를 주어 포화도를 달리한 유기산 완충 용액을 이용하여 1, 2, 3, 5일간 인공 우식 병소를 형성하고, 형성된 치근 우식 병소의 양상을 편광 현미경을 이용하여 관찰한 후 각 군 간의 통계적 유의성을 One-Way ANOVA를 이용하여 분석하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 용액의 포화도의 차이에 따른 탈회 용액의 침투 깊이에는 차이가 없었다.
2. 용액의 포화도가 비교적 낮은 0.15027 이하 (1, 2군)에서는 모든 치아에서 표면에 erosion이 나타나는 것을 관찰할 수 있었고, 0.15969에서 0.17716 사이 (3, 4, 5군)에서는 intact한 표면을 관찰할 수 있었고, 포화도가 가장 높은 군이었던 0.19774 (6군)에서는 보다 광화된 surface가 형성되었으며 surface에서 상아세관의 형태를 뚜렷히 관찰할 수는 없었다.
3. 전 군에서 병소의 진행 양상은 초기 1일에 급격히 진행되며 시간이 경과함에 따라 점차 비례적으로 증가되었다.

이상의 결과 유기산 완충용액의 포화도는 인공 치근 우식 병소 형성의 깊이에는 영향을 미치지 않으나, 유기산 완충용액의 포화도를 조절함으로써 인공 우식 병소의 형태에 변화를 줄 수 있었다.

참고문헌

1. Christensen GJ. A new challenge-root caries in mature people. *J Am Dent Assoc* 127:379-380, 1996.
2. Shay K. Root caries in the older patient. *Dent Clin North Am* 41:763-793, 1997.
3. Kays RV, Hazen SP, Chilton NW, Mumma RD. Prevalence and intraoral distribution of root caries in an adult population. *Caries Res* 16:265-271, 1982.
4. Joshi A, Papas AS, Giunta J. Root caries incidence and associated risk factors in middle-aged and older adults. *Gerodontology* 10:83-89, 1993.
5. Hazen SP, Chilton NW, Mumma JR RD. The problem of root caries I : Literature review and clinical description. *JADA* 86:137-144, 1973.
6. Banting DW, Ellen RP, Fillery ED. Prevalence of root caries among institutionalized older persons. *Community Dent Oral Epidemiol* 8:84-88, 1980.
7. Sturdevant CM, Roberson TM, Heymann HO, Sturdevant JR. The art and science of operative dentistry 3rd Ed St Louis, Mosby, pp. 60-128, 1995.
8. Wefel JS, Heilman JR, Jordan TH. Comparisons of in vitro root caries models. *Caries Res* 29:204-209, 1995.
9. Nyvad b, Ten Cate, Fejerskov, O. Microradiography of experimental rot surface caries in man. *Caries Res* 23: 218-224, 1989.
10. Clarkson BH, Wefel JS, Mille I. A model for producing caries-like lesions in enamel and dentin using oral bacteria in vitro. *J Dent Res* 63:1186-1189, 1984.
11. Clarkson BH, Krell D, Wefel JS, Crall J, Feagin FF. In vitro caries-like lesion produced by Streptococcus mutans and Actinomyces viscosus using sucrose and starch. *J Dent Res* 66:795-798, 1987.
12. Phankosol P, Ettinger RL, Hicks MJ, Wefel JS. Histopathology of the initial lesion of the root surface: an in vitro study. *J Dent Res* 64(5):804-809, 1985.
13. Phankosol P, Ettinge, RL, Hicks MJ, Wefel JS. Depth of penetration of in vitro root surface lesions. *J Dent Res* 64(6):897-899, 1985.
14. Hoppenbrouwers PMM, Driessens FCM, Borggreven JMPM. The mineral solubility of human dentin roots. *Arch Oral Biol.* 32(5):319-322, 1987.
15. Hamilton WJ, Judd G, Ansell GS. Ultrastructure of human enamel specimens prepared by ion micromilling. *J Dent Res* 52:703-710, 1973.
16. Dibdin GH. Surface areas of dental enamel : comparison of experimental values with values calculated for its structural components. *J Den Res* 51:1254-1257, 1972.
17. Hoppenbrouwers PMN, Driessens FCM, Borggreven JMPM. The vulnerability of unexposed human dentin root to demineralization. *J Den Res* 65(7):955-958, 1986.
18. Katz S, Park KK, Palenik CJ. In vitro root surface caries studies. *J Oral Med* 42(1):40-48, 1987.
19. Patel MV, Fox JL, Higuchi WI. The effect of acid type on kinetics and mechanism of dental enamel demineralization.

- alization. *J Dent Res* 66:1425-1430, 1987.
20. Margolis HC, Moreno EC. Physiochemical perspectives on the cariostatic mechanisms of systemic and topical fluoride. *J Dent Res* 69:606-613, 1990.
21. Margolis HC, Moreno EC. Kinetics of hydroxyapatite dissolution. *J Dent Res Abstr* #1546, 1990.
22. Furseth R, Johansen E. The mineral phase of sound and carious human dental cementum studied by electron microscopy. *Acta Odontol Scand* 28:305-322, 1970.
23. 오현석, 금기연, 노병덕, 이찬영. 산 완충용액의 pH가 인공치근 우식의 형성에 미치는 영향. *대한치과보존학회지* 24:495-502, 1999.
24. 금기연, 이찬영. 수종의 유기산이 법랑질 인공 우식의 형성에 미치는 영향. *대한치과보존학회지* 21:470-488, 1996.
25. 이찬영. 산 완충용액을 이용한 인공치아우식 형성. *연세치대 논문*, 7:34-41, 1992.
26. Marshal, GW, Jr Balooch M, Tench RJ, Kinney JH, Marshall SJ. Atomic force microscopy of acid effects on dentin. *Dent Mater* 9:265-268, 1993.
27. Arends J, Jongebloed W, Ogaard B, Rolla G. SEM and microradiographic investigation of initial enamel caries. *Scand J Dent Res* 95:193-201, 1987.
28. Warshawsky H, Nancy A. Stereo electron microscopy of enamel crystallites. *J Dent Res* 61:1504-1514, 1982.
29. Moreno EC, Zahrandnik RT. Chemistry of enamel sub-surface demineralization in vitro. *J Dent Res* 53(2):226-235, 1974.
30. Groeneveld A, Jongebloed W, Arends J. The mineral content of decalcified surface enamel. A combined microprobe-quantitative microradiography study. *Caries Res* 8(3):267-274, 1974.
31. Wefel JS, Clarkson BH, Heilman JR. Natural caries : a histologic and microradiographic evaluation. *J Oral Pathol* 14(8):615-623, 1985.