

Resin infiltration을 시행한 법랑질 초기 우식 병소의 특성

김은영 · 권민석 · 김 신 · 정태성

부산대학교 치의학전문대학원 소아치과학교실

국문초록

본 연구는 infiltrant resin을 침투시킨 초기 우식 병소의 특성을 평가하기 위해 법랑질의 깊이에 따른 경도를 측정하고, 병소 내로의 레진 침투양상을 분석하며, 미세누출 정도를 관찰하여 다음의 결과를 얻었다.

진전 법랑질에 대한 초기 우식 법랑질의 경도 백분율은 표층(5~40 μm) 64.6%, 병소본체(60~350 μm) 24.6%였으며, infiltrant resin을 침투시킨 병소의 경도 백분율은 72.1%로 나타났다. 5~350 μm의 전 깊이에서, infiltrant resin을 침투시킨 병소는 비침투 우식 병소보다 경도가 유의하게 높았지만 정상 법랑질에 비해서는 경도가 유의하게 낮았다($p < 0.05$). FE-SEM 관찰 결과 탈회된 법랑질 내부로 비교적 균일하게 침투한 레진 태그가 관찰되었으며, 침투깊이는 433 μm(282-501)로 측정되었다. 열순환 처리 후 13개의 치아에서 미세누출이 관찰되지 않았고, 5개에서 병소 외측 절반, 2개에서 병소 내측 절반까지 미세누출이 관찰되었다.

주요어: Resin infiltration, 초기 우식 병소, 미세경도, 침투깊이, 미세누출

I. 서 론

최근 초기 우식 병소의 최소 침습적 치료를 위해 resin infiltration이라는 새로운 방법이 제안되었다. 이는 침투계수가 높은 저점도의 광중합 레진을 병소 본체 내로 침투시킴으로써 우식 병소의 진행을 정지시키는 방법이다. 법랑질 우식의 다공성은 산과 용해된 무기질의 확산 통로로 작용하므로, 레진을 침투시키면 이 통로가 봉쇄되어 우식 진행이 정지된다는 개념이다¹⁾. 그 동안 infiltrant resin의 항우식 효과에 대한 여러 연구가 진행되었고, 그 결과 탈회 환경 하에서 병소의 무기질 소실을 예방하고 탈회 진행을 유의하게 감소시킴이 확인되었다²⁻⁶⁾. 특히 재광화 치료가 비효과적인 법랑질 내층이나 상아질 외측 1/3까지 진행된 병소에서도 효과적이라고 알려져 있다^{7,8)}.

효과적인 병소 진행의 억제제를 위해서는 병소내로 레진의 깊고 균일한 침투가 중요하다⁹⁾. 레진의 침투 깊이는 침투 계수와 관련 있는데, 침투 계수가 증가함에 따라 우식 병소에 대한 레진의 침투 능력과 우식 억제 능력이 향상 된다²⁾. Infiltrant

resin은 병소 내로의 빠르고 깊은 침투를 위해 최적화된 레진으로 점도가 매우 낮고, 법랑질에 대한 접촉각이 낮으며 표면 장력이 높다⁹⁾. 이처럼 infiltrant resin의 침투계수를 높이는 성분은 TEGDMA (triethyleneglycol dimethacrylate)로, TEGDMA 함량이 증가할수록 레진의 점도와 접촉각은 감소한다. Infiltrant resin에는 이 TEGDMA가 다량 함유되어 있으며, 점도를 낮추기 위해 필러도 포함되어 있지 않다^{7,10)}. 그러나 필러가 함유되지 않으면 레진의 중합수축과 열팽창계수가 증가하고 경도와 강도가 감소한다¹¹⁾. 또 TEGDMA 함량이 증가하면 레진의 중합수축과 효소 가수분해가 증가하며 물성이 약해진다¹²⁾. 레진이 병소 내로 깊고 균일하게 침투 하더라도, 레진의 중합수축에 의한 응력이 레진과 치아 계면에 틈을 형성하고, 레진과 치아의 열팽창계수 차이가 치아와 레진 계면에서 접촉 실패를 야기해 미세누출이 일어날 수 있다^{13,14)}. Infiltrant resin의 중요한 기능은 우식 진행을 막기 위해 다공성 구조를 봉쇄하는 것이므로, 치아-레진 계면에서의 미세누출은 infiltrant resin의 우식 진행 방지 능력을 저해하는 주된 요소가 될 수 있

교신저자 : 김 신

경상남도 양산시 물금읍 범어리 / 부산대학교 치의학전문대학원 소아치과학교실 / 055-360-5180 / shinkim@pusan.ac.kr

원고접수일: 2011년 08월 20일 / 원고최종수정일: 2011년 12월 23일 / 원고채택일: 2012년 1월 10일

다^{1,15,16}). 단기간 연구에서는 infiltrant resin이 우식 진행을 정지시키는 데 있어 아주 효과적이라고 보고되고 있으나^{7,8}), 다량의 TEGDMA를 포함한 unfilled resin의 내구성과 미세누출 정도에 대해서는 의구심이 생긴다.

한편 상대적으로 다공성이 적은 병소 표층이 레진의 침투를 방해하므로 resin infiltration 술식에서는 표층을 제거해 다공성 병소 본체를 노출시키고 레진을 침투시킨다¹¹). 탈회 법랑질의 병소 본체는 그 물리적 특성이 정상 법랑질에 비해 매우 낮아, 성숙된 병소에서 경도는 정상 수치의 단 몇%에 불과한 것으로 알려져 있다⁹). 이렇게 노출된 취약한 병소 본체는 레진에 의해 기계적으로 강화됨에도 불구하고, 표층의 제거가 부가적으로 병소 구조를 약화시킨다는 논쟁이 있어 왔다¹⁷). Paris 등은 infiltrant resin이 소실된 무기질을 대체하고, 약한 법랑질 구조를 기계적으로 강화시킴으로써 비와동성 초기 법랑질 우식병소에 기계적인 지지를 제공하며 와동형성을 예방한다고 하였다¹¹). 하지만 지금까지 resin infiltration에 관한 연구는 대부분 침투 깊이가 개선과 항우식 효과 평가에 초점이 맞춰져 왔고²⁻⁸), infiltrant resin이 우식병소를 어느 정도로 강화시키는지에 대해서는 보고된 바가 없다. Infiltrant resin이 장기적인 항우식 효과를 가지기 위해서는 레진 침투에 의해 병소 본체가 견고해져야 하며, 레진이 병소 내로 깊고 균일하게 침투하고, 레진이 침투된 병소의 내구성이 좋아야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 방사선 사진 상 법랑질 내측까지 진행된 자연 우식 병소에 infiltrant resin을 침투시킨 후, 병소와 레진 복합체의 특성에 대해 검토할 목적으로 시도되었다. (1) Nanoindentation을 이용하여 법랑질의 깊이에 따른 경도를 측정함으로써 초기 우식 병소에 대한 infiltrant resin의 물리적 강화 효과를 평가하고, (2) 전계방사 주사전자현미경을 이용하여 탈회 병소 내로의 레진 침투양상을 분석하며, (3) 열순환 후 입체현미경을 이용하여 미세누출 정도를 관찰함으로써 레진이 침투된 병소의 접착 내구성과 안정성에 대해 평가하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 대상 치아의 선택

인접면에 비와동성 초기 우식 병소-ICDAS code 2⁽⁸⁾-를 보이는 교정 목적으로 발거된 소구치를 대상으로 하였다. 표준 방사선 사진을 촬영해 초기 우식 병소가 법랑질 내측 1/2까지 이환되어 있으며, 입체현미경($\times 20$, SZ-CTV, Olympus, Japan)으로 표면 관찰 시 와동이나 결함이 없는 치아 60개를 선택하였다. 발거 후 연조직을 조심스럽게 제거하고, 실험 전까지 0.1% thymol 용액에 보관하였다. 치아를 임의로 분류하여 20개의 치아는 경도 측정을 위해 사용하였고, 다른 20개의 치아는 레진 침투상 관찰, 나머지 20개는 미세누출 평가에 사용하였다. 실험에 사용한 치아들은 사전 동의를 구한 환자들로부터 수집된 것들이었다.

2. 경도 측정

1) 실험군 분류

60개의 치아 중 임의로 20개를 선택하였다. 주수 하에 저속의 다이아몬드 디스크(NTI-Kahla GmbH, Kahla, Germany)를 이용해 치근을 제거하고, 백반양 병소의 중심에서 치관의 근원심 방향으로 병소를 절단해 병소 단면이 드러나도록 하였다. 동일 치아에서 우식이 없는 인접 부위의 건전한 법랑질을 준비하였다. 절단된 두 병소 중 하나의 시편에서 절단면에 바니시를 도포한 후, 아래의 방법대로 백반양 병소 표면에 resin infiltration을 시행하고, 바니시를 제거한 것을 R(resin infiltrated)군으로 분류하였다. 절단된 병소 중 어떠한 처치도 하지 않은 나머지 하나의 시편을 W(white spot)군으로 분류하였다. 우식이 없는 인접 부위의 건전한 법랑질을 S(sound enamel)군으로 분류하였다(Fig. 1).

2) Resin infiltration

Infiltrant resin은 ICON[®](DMG, Hamburg, Germany)을 사용하였다. Resin infiltration 과정은 제조사의 지시대로 이행하였다. 15% 염산을 2분간 적용하여 표층 법랑질을 제거해 병소 본체의 다공성 구조를 노출시키고, 30초간 세척 후 압축 공기로 건조시켰다. 99% 에탄올을 30초간 적용하여 병소를 탈수시킨 후, 압축 공기로 건조시키고, infiltrant resin을 3분간 적용하여 병소 내부로 스며들게 하였다. 표면에 남아 있는 잉여 레진을 면구로 닦아내고, 40초간 광중합(G-lite, GC, Tokyo, Japan)을 시행하였다. 한 번 더 infiltrant resin을 1분간 적용하고, 잉여 레진 제거한 후, 40초간 광중합을 시행하였다.

3) 시편 제작

R군과 W군은 백반양 병소의 단면을 포함하도록 하여 모든 군의 시편을 2×2×3 mm 크기로 제작하였다. 6×6×3 mm의

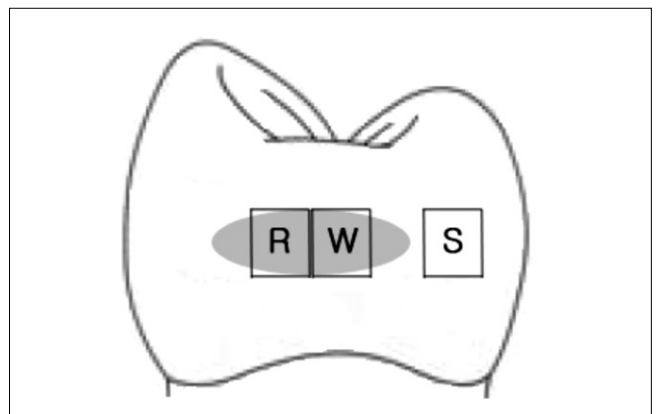


Fig. 1. Schematic illustration of specimen preparation for measurement of hardness. Greyish oval shape is white spot lesion(R: specimen for resin infiltration; W: untreated white spot; S: sound enamel).

몰드에 시편의 병소 절단면을 아래로 향하게 하고 에폭시 레진 (EpoFix, Strueres A/S, Ballerup, Denmark)으로 포매하였다. 400, 600, 1200 grit의 silicone carbide paper와 1/2, 1/4 μm 의 수용성 다이아몬드 연마제(MetaDi[®], Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA)를 이용해 병소 절단면을 순차적으로 연마하였다. 증류수를 이용하여 2분간 초음파 세척을 하고, 공기 중에 24시간 건조시켰다.

4) Nanoindentation

직경 5 μm 의 압입자를 부착한 원자력 현미경(AFM, XE-100, Park Systems Corp, Suwon, Korea)을 이용해 병소의 단면을 관찰하며 연마 과정에서 발생한 시편의 결함부를 피해 압입을 시행하였다. 법랑질 표면에서 상아질 방향으로 병소의 단면을 따라 5, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350 μm 지점에서 압입을 시행하였다. 이 때 R군은 산부식에 의해 표층이 제거되어 노출된 표면을 기준으로 하였다. 각 깊이 별로 5회 시행하였으며, 이 때 각 압흔이 서로 영향을 주지 않도록 15 μm 이상의 간격을 두고 시행하였다. 압입 시험 중에 측정하는 하중(P)과 그 때의 깊이(h)를 지속적으로 관찰하고 loading-displacement 곡선을 작성하였다.

5) 경도 값 산출

Nanoindentation을 통해 얻어진 load-displacement 자료를 바탕으로 Oliver and Pharr¹⁹⁾의 식(1)을 이용하여 경도 값을 계산하였다.

$$H = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

여기서 H는 경도, P_{max}는 최대압입하중, A는 접촉투영면적을 의미한다. 각 깊이별로 얻어진 다섯 개 값의 평균을 내어 각 깊이의 경도로 정하였다.

6) 경도 백분율 계산

다음 식(2)을 이용하여 S군에 대한 W군과 R군의 경도 백분율을 계산하였다.

$$\%H = \frac{H_R \text{ or } H_W}{H_S} \times 100 \quad (2)$$

여기서 %H는 경도 백분율, H_R는 R군의 경도, H_W는 W군의 경도, H_S는 S군의 경도를 의미한다.

3. 레진 침투상 관찰

1) 시편제작

남은 40개의 치아 중 임의로 20개를 선택하고, 병소 주변 1 mm를 제외한 전 치면을 바니시로 피개하였다. 노출된 백반양 병소에 resin infiltration을 시행하였다. 조작 편의성을 위해 레진을 침투시킨 병소 표면을 병소 주변 1 mm 부분까지 포함하여 3 mm 두께의 복합레진으로 피개하였다. 주수 하에 저속의 다이아몬드 디스크를 이용해 복합레진이 부착된 병소 부분

을 제외한 주변부 치질을 제거하고, 시편을 2N의 염산에 침지시켜 남은 치질이 모두 용해될 때까지 두었다. 증류수를 이용하여 2분간 초음파 세척을 시행하고 70, 80, 90, 100% 에탄올을 이용해 순차적으로 건조시켰다.

2) 전처리 및 전계방사 주사전자현미경 관찰

각 시편을 aluminium stub에 고정하고 osmium sputter(Pure Osmium Coater, Neoc-AN, Meiwa Shoji Co. Ltd., Kyoto, Japan) 이용해 osmium coating을 시행하였다. 전계방사 주사전자현미경(FE-SEM, field emission scanning electron microscope, S-4800 Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 침투 레진을 관찰하였다($\times 45 \sim 400$). 레진의 침투 양상을 평가하고, 표면에서부터 레진이 가장 깊이 침투한 부분까지의 길이를 측정하여 레진의 최대 침투 깊이로 하였다.

4. 미세누출의 평가

1) 열순환과 염색액 침투

남은 20개의 치아를 대상으로 ISO(TR11405) 규정²⁰⁾에 따라 미세누출 실험을 하였다. 병소에 resin infiltration 시행하고, 37 $^{\circ}\text{C}$ 증류수에 24시간동안 보관한 후, Thermocycling system(KD-TCS30, Kwang-duk F.A. Korea)을 이용하여 열순환 처리하였다. 5, 55 $^{\circ}\text{C}$ 증류수에서 15초간 계류시켜 500회 순환하였다.

시료 치아의 치근단을 글라스 아이오노머 시멘트로 밀폐하고, 백반양 병소 주변 1 mm의 치면을 제외한 모든 치면을 바니시로 2회 피개하였다. 1% 메틸렌 블루 용액에 24시간동안 침지시키고, 증류수로 세척한 후, 백반양 병소의 중양을 따라 근원심 방향으로 절단하였다.

2) 염색액의 침투상 평가

입체현미경으로($\times 63$) 병소 단면을 관찰하여 염색액 침투 정도를 평가하였다. 염색액의 최대 침투 깊이를 기준으로 다음의 scoring system을 이용해 분류하였다.

0: 색소 침투가 전혀 없는 경우

1: 색소가 백반양 병소 깊이의 절반 이내로 침투한 경우

2: 색소가 백반양 병소 깊이의 절반 이상 침투한 경우

두 명의 검사자가 절단된 한 쌍의 시편을 평가하여 각 시편은 4번 평가되었다. 그 중 가장 높은 점수를 각 시편의 점수로 정했다. 검사자내 신뢰도 검사를 위해 1주 후 미세누출을 재검사하였다.

5. 통계분석

SPSS 소프트웨어(SPSS for Windows 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계학적 분석을 시행하였다. 각 군의 병소 깊이별 경도 평균과 표준편차를 산출하였다.

One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 이용하여 각 군별로 법랑질 깊이에 따른 경도를 비교 분석하고, 법랑질 깊이별로 각 군 간의 경도를 비교 분석해 통계학적 유의성 여부를 검증하였다. 유의성 수준은 5%로 하였다. 미세누출 평가의 검사자내, 검사자간 신뢰도를 평가하기 위해 Cohen's Kappa 통계를 이용하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 횡단면 미세경도

1) 각 군별 법랑질 깊이에 따른 미세경도(Table 1, 2, Fig. 2)
 S군에서는 법랑질 깊이가 깊어짐에 따라 경도가 전반적으로 감소하는 경향을 보이나, 모든 깊이에서 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 전 깊이에서 경도는 3.53 ± 0.29 GPa로 나타났다. R군은 5~300 μm 깊이에서는 통계학적으로 유의한 차이가 없었으나, 350 μm 깊이에서 5~300 μm 깊이의 경도와 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). R군의 경도는 전 깊이에서 2.53 ± 0.46 GPa 였다. W군은 5~40 μm 깊이에서 통계학적으로 유사한 경도를 보였고, 80~350 μm 에서 통계학적으로 유사한 경도를 보였다. 60 μm 깊이에서는 다른 모든 깊이에서의 경도와 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). W군에서 경도는 5~40 μm 에서 2.29 ± 0.26 GPa, 60~350 μm 에서 0.87 ± 0.45 GPa 였다.

Table 1. Hardness values(GPa) at different depths in the enamel of different groups

Depth(μm)	Group S	Group W	Group R
5	$3.59 \pm 0.27^{\text{Aa}}$	$2.26 \pm 0.25^{\text{Bb}}$	$2.61 \pm 0.27^{\text{Cc}}$
20	$3.57 \pm 0.32^{\text{Aa}}$	$2.30 \pm 0.28^{\text{Bb}}$	$2.62 \pm 0.30^{\text{Cc}}$
40	$3.56 \pm 0.34^{\text{Aa}}$	$2.31 \pm 0.27^{\text{Bb}}$	$2.61 \pm 0.28^{\text{Cc}}$
60	$3.55 \pm 0.24^{\text{Aa}}$	$1.19 \pm 0.71^{\text{Bc}}$	$2.58 \pm 0.28^{\text{Cc}}$
80	$3.53 \pm 0.28^{\text{Aa}}$	$0.85 \pm 0.39^{\text{Bd}}$	$2.59 \pm 0.28^{\text{Cc}}$
100	$3.51 \pm 0.27^{\text{Aa}}$	$0.78 \pm 0.41^{\text{Bd}}$	$2.62 \pm 0.28^{\text{Cc}}$
150	$3.52 \pm 0.33^{\text{Aa}}$	$0.83 \pm 0.39^{\text{Bd}}$	$2.56 \pm 0.33^{\text{Cc}}$
200	$3.51 \pm 0.29^{\text{Aa}}$	$0.83 \pm 0.40^{\text{Bd}}$	$2.58 \pm 0.29^{\text{Cc}}$
250	$3.51 \pm 0.32^{\text{Aa}}$	$0.83 \pm 0.39^{\text{Bd}}$	$2.57 \pm 0.32^{\text{Cc}}$
300	$3.49 \pm 0.29^{\text{Aa}}$	$0.81 \pm 0.39^{\text{Bd}}$	$2.45 \pm 0.62^{\text{Cc}}$
350	$3.52 \pm 0.28^{\text{Aa}}$	$0.81 \pm 0.41^{\text{Bd}}$	$2.05 \pm 0.97^{\text{Cf}}$

Values denote means \pm SD. Different uppercase letters indicate significant differences among groups. Different lowercase letters indicate significant differences among the depths for each group.
 (By Duncan's test : $p < 0.05$)

Table 2. Hardness values(GPa) of the different groups and percent hardness(%) to sound enamel

Depth(μm)	Group S	Group W		Group R
		Surface layer	Body of lesion	
Depth(μm)	5~350	5~40	60~350	5~350
Hardness	3.53 ± 0.29	2.29 ± 0.26	0.87 ± 0.45	2.53 ± 0.46
%Hardness	100	64.6 ± 9.68	24.6 ± 12.9	72.1 ± 13.7

Values denote means \pm SD.

2) 각 군 간 법랑질 깊이 별 경도 비교(Table 1)

모든 깊이에서 각 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). W군은 S군에 비해 전 깊이에서 경도가 낮았다. R군은 W군에 비해 전 깊이에서 경도가 높았으나 S군에 비해서는 낮았다.

3) 건전 법랑질에 대한 경도 백분율(Table 2, Fig. 3)

S군에 대한 R군의 경도 백분율은 $72.1 \pm 13.7\%$, W군은 0~40 μm 깊이에서 $64.6 \pm 9.68\%$ 60~350 μm 깊이에서 $24.6 \pm 12.9\%$ 로 나타났다.

2. Infiltrant resin의 침투상 관찰(Fig. 4)

FE-SEM 관찰 결과 썩어 모양의 우식 병소를 따라 내부로 균일하게 침투한 infiltrant resin이 관찰되었다(Fig. 4(a)). 고배율에서 관찰했을 때, 전반적으로 곧고 규칙적인 원통형의 레진 테그가 관찰되었다(Fig. 4(b), (c)). 침투깊이의 평균(범위)은 433(282~501) μm 로 측정되었다.

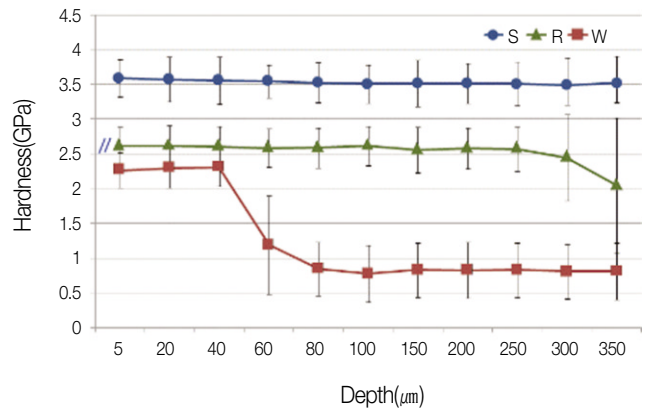


Fig. 2. Hardness values(means and SD) of different groups according to enamel depths.

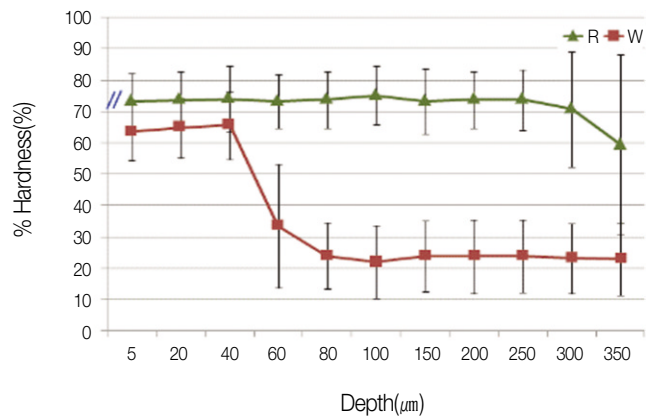


Fig. 3. Percent hardness(%) of group W and R to group S at each depth.

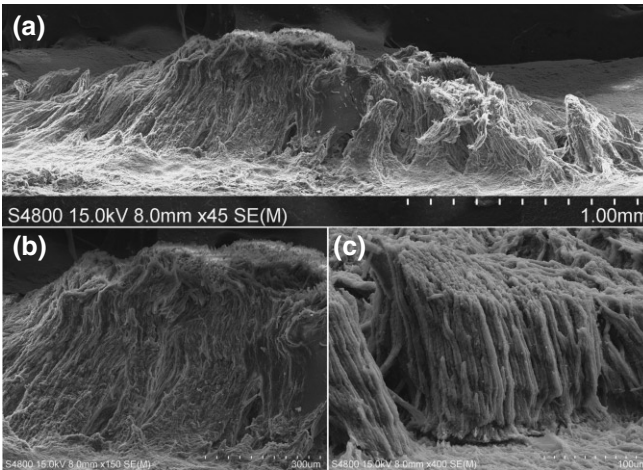


Fig. 4. FE-SEM images of infiltrated resin. (a) Wedge shape of infiltrated resins are shown($\times 45$), (b) segments of same specimen at increased magnification($\times 150$), (c) segments of same specimen at more increased magnification($\times 400$). Resin tags were showed a regular pattern with normal shape, reflecting that the enamel rod cores were mainly affected.

3. 미세누출 평가(Table 3, Fig. 5)

열순환 처리 후 미세누출 평가에서 색소가 전혀 침투하지 않은 병소는 13개, 병소 깊이 절반 이하로 침투한 병소는 5개, 병소 깊이 절반 이상 침투한 병소는 2개로 관찰되었다. 미세누출도 평가 시 score 2로 분류된 2개의 병소는 치아 선별 과정에서 방사선 사진 상 법랑질 내측 1/2까지 이환된 병소로 분류하였으나, 실제 단면 관찰 결과 법랑상아경계를 약간 넘어서까지 병소가 진행되어 있었다. Cohen's Kappa statistics를 이용해 검사자간 신뢰도를 평가한 결과 0.97로 높게 나왔고, 검사자 내 신뢰도는 완전한 일치율을 보였다($k=1$).

Table 3. The number and percentage of specimen according to microleakage score

Score	Number	Percentage
0	13	65%
1	5	25%
2	2	10%

IV. 총괄 및 고찰

최소침습치의학적 개념에 입각한 resin infiltration은 전통적인 재광화나 수복적 접근과는 달리 많은 장점을 가진다. 치질 삭제가 불필요하고, 환자의 협조도에 의존하지 않으며, 1회 치료로 완료되어 그 효과 또한 치료 후 즉시 나타나는 보다 합리적인 대응 방식이라 할 수 있다^{7,10}. 레진 기질이 법랑질 구조를 강화시킴으로써 비와동성 초기 법랑질 우식병소에 기계적인 지지도 제공한다^{1,21}. 특히, 적절한 치료 방법을 찾기 어려운 법랑질 내측이나 상아질 외측 1/3까지 진행된 병소에 대해서도 효과적이라고 알려져 있다⁵. 또한 부수적 효과로서 백반양 병소의 불투명한 색소가 사라지고 원래의 법랑질 색소가 회복되어 전치부 순면의 심미적 개선도 가능하다²².

하지만 infiltrant resin은 병소내로의 침투 능력을 향상시키기 위해 TEGDMA를 다량 함유한 unfilled resin이다. Infiltrant resin이 병소내로 깊고 균일하게 침투하더라도, 취약한 병소를 기계적으로 강화시키고, 미세누출 없이 장기적으로 유지되어야 infiltrant resin이 장기적인 항우식 효과를 가질 수 있다. 따라서 본 연구는 초기 우식 병소에 infiltrant resin을 침투시킨 후, 병소와 레진 복합체의 특성을 평가하였다.

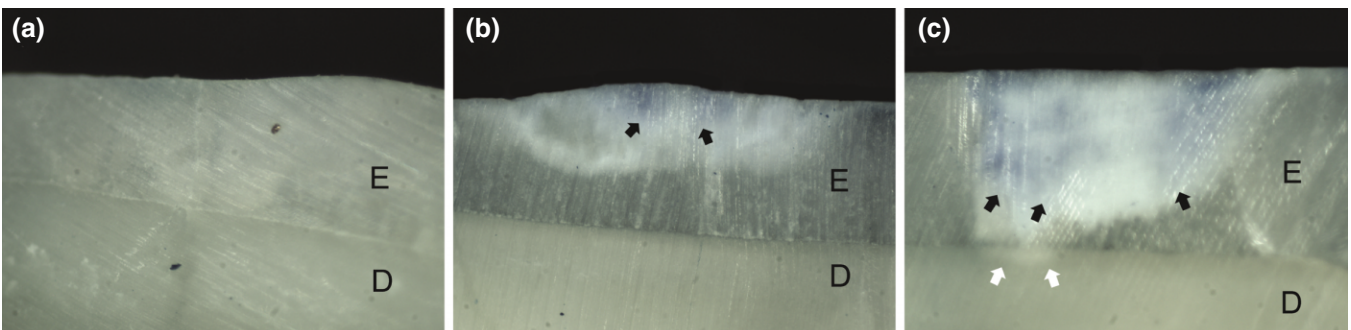


Fig. 5. Microleakage of infiltrated white spot lesions($\times 63$). (a) Section shows score 0; no dye penetration. (b) Section shows score 1; dye penetrate up to 1/2 of the depth of lesion(black arrows). (c) Section shows score 2 dye penetrate more than 1/2 of the depth of lesion(black arrows). Lesions are progressed into dentin(white arrows), (E: enamel, D: dentine).

1. 경도

경도 평가 결과, S군의 경도는 모든 깊이에서 통계학적으로 유의한 차이는 없었으나, 5 μm 깊이에서 가장 높은 값을 나타냈고, 법랑질 깊이가 깊어짐에 따라 경도가 전반적으로 감소하는 경향을 보였다.

W군에서 5~40 μm 깊이에서의 경도 값은 80~350 μm 깊이의 경우에 비교하여 통계학적으로 높게 나타났다. 이는 비교적 무기질 소실이 적은 표층과, 무기질 소실량이 많아 매우 약한 병소 본체로 구성되는 법랑질 초기 우식 병소의 특성에 의해 설명된다²³⁾. 표층의 두께는 평균 40 μm 정도로 보고되고 있는데²⁴⁾, 본 연구에서도 5~40 μm 의 깊이에서 유의하게 경도가 높았다. 60 μm 의 깊이에서는 양 층의 중간 수준 정도의 경도를 보이며, 양 층의 경도와 유의한 차이를 보였는데, 이것은 일부 시편의 경우 표층 두께가 두꺼워진 정지 병소가 포함되었기 때문으로 사료된다¹⁷⁾. 본 연구에서 사용된 치아는 각 병소의 개별적 임상 병력에 대한 지식이 없는 상태로 병소의 활성 상태는 평가할 수 없는 한계가 있었다.

W군은 5~40 μm 깊이의 표층과 60~350 μm 깊이의 병소 본체로 구분하였는데, 그 경도는 평균 2.29 ± 0.26 GPa과 0.87 ± 0.45 GPa로 측정되었다.

S군에 비해 W군에서 경도의 변이가 크게 나타났는데, 이는 각 병소마다 임상적 병력이 다양해 탈회의 정도에 차이가 있었기 때문이라고 생각 된다²⁵⁾. 또한 같은 시편 내에서도 부위에 따라 무기질 소실 정도에 차이가 있어 변이가 크게 나타났을 것으로 추정된다²⁶⁾.

R군의 평균 경도는 전 깊이에서 2.53 ± 0.46 GPa 이었다. R군은 5~300 μm 깊이에서 유사한 경도를 보였으나, 350 μm 깊이의 경도가 다른 깊이에서의 경도보다 유의하게 낮았다. 이는 일부 시편에서 350 μm 깊이까지 레진이 침투하지 못하였기 때문이라 생각된다. FE-SEM을 이용하여 레진 침투깊이를 측정 한 실험에서도 레진이 350 μm 깊이까지 침투하지 못한 병소가 관찰되어 경도 평가와 일치하는 결과를 보였다. 이처럼 레진이 병소 내로 완전하게 침투하지 못한 것은 불완전한 수분 제거(특히 병소 기저부), 병소의 하부에 갇힌 공기, 병소 내 탄수화물, 단백질 같은 유기질의 오염 등 다양한 요소가 작용한 결과로 추정된다^{7,15,27,28)}. 또한 표층이 두꺼워 불완전하게 제거된 경우에도 침투 깊이가 제한될 수 있다²⁹⁾.

법랑질 깊이 별로 각 군간 경도를 비교한 결과, 모든 깊이에서 각 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 즉, 우식 병소는 병소 본체 뿐 아니라, 상대적으로 강한 표층에서도 건전 법랑질에 비해 경도가 유의하게 낮았다. 레진을 침투시킨 병소는 전 깊이에서 경도가 우식 병소보다 유의하게 높았다. 특히 상대적으로 건전한 병소 표층과 비교하여도 레진이 침투한 병소의 경도가 유의하게 큰 것은 주목할 만하다. 이처럼 resin infiltration에 의해 우식 병소의 경도가 증가한 것은 결정이 용해되어 경도가 낮아진 우식 병소의 무기질 소실부와 다공성 구조를 레진이 채움으로써 병소를 강화시켰기 때문이라 생각된다.

TEGDMA를 다량 함유하고 있고, 필러도 없어 레진 자체의 경도는 높지 않을 것이라 예상되지만, 탈회된 법랑질 미세소공과 그 미세소공내로 침투해 들어간 레진의 복합체는 서로 지지를 제공해 경도가 높아졌을 것이라 사료된다. 그러나 레진을 병소에 침투시키더라도 건전 법랑질 만큼의 경도는 회복하지 못하였다. 건전 법랑질에 대한 레진 침투병소의 경도 백분율은 $72.1 \pm 13.7\%$ 이었다.

2. Infiltrant resin의 침투상 관찰

평활면 법랑질 초기 우식 병소는 횡단면상으로 법랑질 표면을 기저부로 하는 썩기모양으로 나타나며²³⁾, 병소 본체 내부는 무기질이 소실되어 다공성의 구조를 보인다. Infiltrant resin의 병소 진행 억제 능력은 레진의 침투깊이와 높은 연관성이 있으며²⁾, 또한 완전한 봉쇄를 위해서는 레진의 깊은 침투 뿐 아니라 본체 내의 균일한 레진층이 필수적이다³⁰⁾. 병소 내로 침투된 레진을 FE-SEM으로 관찰한 결과, infiltrant resin이 썩기 모양의 우식 병소를 따라 전반적으로 균일하게 침투함을 알 수 있었다. 더 고배율에서 관찰한 결과 병소 내로 비교적 곧고 균일하게 침투한 원통형의 레진 테그가 관찰되었다. 테그가 원통형으로 관찰되는 것은 주로 결정의 중심에서 탈회가 일어나기 때문이다. 법랑소주 간 부위는 유기질이 많기 때문에 이 유기질이 수산화인회석 결정을 산용해로부터 보호하고 또한 소주 중심부에서 탈회가 일어나는 동안 소주간 부위는 재광화되어 더 많은 무기질이 존재하게 되므로 주로 결정의 중심부에서 탈회가 일어난다²⁵⁾.

본 연구 결과, infiltrant resin의 침투깊이는 평균 433 (282~501) μm 로 측정되었다. 공초점 레이저 주사 현미경을 이용하여 레진의 침투깊이를 측정한 Meyer-Lueckel과 Paris³¹⁾의 연구에서는 500 μm 보다 깊은 초기 우식 병소에서 652(631~807) μm 로 보고하였다. 두 연구 간의 침투깊이에서 큰 차이를 보인 그 이유는 세 가지로 추측된다. 첫째, 본 실험에서 이용한 시편에 정지 병소가 많이 포함되어 두꺼운 표층이 불완전하게 제거되었기 때문일 수 있다²⁹⁾. 둘째, 두 실험에서 infiltrant resin의 적용 방법에 약간의 차이가 있었다. 레진의 침투 시간이 길수록 레진이 깊게 침투하므로 두 연구의 침투깊이에 차이가 있었을 것이다. 세 번째 이유는 측정 방법의 차이이다. Paris 등³²⁾은 SEM은 시편을 건조시켜야 하므로 shrinkage artifact가 생길 수 있어 침투 깊이가 얇게 측정될 수 있다고 하였다.

3. 미세누출 평가

레진이 병소 내로 깊고 균일하게 침투 하더라도, 치아와 레진 사이의 접착이 실패한다면 미세누출이 일어날 수 있다^{13,14)}. Infiltrant resin의 중요한 기능은 우식 진행을 막기 위해 다공성 구조를 봉쇄하는 것이므로, 치아-레진 계면에서의 미세누출은 infiltrant resin의 우식 진행 방지 능력을 저해하는 주된 요

소이다^{1,15,16}).

미세누출 평가 결과 13개(65%)의 병소에서 미세누출이 발생하지 않았고, 7개(35%)의 시편에서 미세누출이 발생하여, 비교적 우수한 물리적 안정성을 보이는 것으로 판단되었다. 미세누출이 발생한 시편의 수가 적었던 것은 레진을 두 번 적용했기 때문일 것이라 예상된다. 2회 적용법은 첫 번째 레진의 중합 수축으로 생긴 미세결손부나 틈에 두 번째 도포한 레진이 침투하여 변연의 온전성을 향상시킬 수 있는 방법이다²¹. 이전의 연구에서도 반복적인 레진의 적용이 이러한 다공성을 감소시켜 병소의 진행을 줄일 수 있음을 보고하였다²². 또한 우식 병소의 본체는 레진 접착에 적합하고 허용 가능한 기질이라 알려져 있다. Bjarnason 등³⁹의 연구 결과에서도 우식 병소에 대한 레진의 접착은 신뢰성 있고, 열순환에 저항성이 있었다.

미세누출도 평가에서 score 2로 분류된 2개의 병소는 방사선 사진 상에서는 법랑질 내측 1/2까지 이환된 것으로 평가되었으나, 실제 단면 관찰 결과 법랑상아경계를 약간 넘어 상아질까지 병소가 진행되어 있었다. 이는 초기 우식의 방사선학적 깊이가 실제 병소의 깊이보다 얇게 평가되는 경향이 있기 때문이다³⁴. 상아질까지 일부 진행된 두 병소에서 미세누출이 많았지만, 이 결과 만으로 단순히 병소가 깊어서 미세누출이 많이 일어났다고 결론내릴 수는 없다. 본 연구에서 사용한 시편의 수가 적었고, 또 많은 연구에서 resin infiltration은 상아질 외측 1/3까지 이환된 병소에서도 항우식 효과가 있음이 확인되었다. 따라서 깊은 우식 병소와 미세누출의 관계에 대해서는 추가적인 연구가 있어야 할 것이다.

본 연구에서는 자연 우식 병소를 대상으로 실험을 하였다. 이는 구강 내 환경에서 치태와 세균이 생성한 산의 공격으로 발생한 초기 자연 우식이 인공 우식 병소와는 조직학적으로 다르기 때문이다. 자연 우식 병소는 구강 내에서 탈회와 재광화의 순환을 반복하기 때문에 표층은 인공 우식 병소에 비해 더 균일하지 않고 두꺼우며, 무기질 함량이 높다. 병소 본체도 인공 우식과는 달리 자연 우식의 다공성 구조는 단백질, 탄수화물 같은 유기물질로 오염되어 있으며, 이 유기물질들은 레진의 침투를 방해 한다¹. 따라서 구강 내에서 자연 발생한 백반양 초기 우식 병소를 대상으로 실험하여, 조직학적으로 다른 양상을 보이는 인공 우식 병소로 실험하였을 때 발생할 수 있는 문제점들을 극복 하려고 노력하였다.

경도 측정 실험과 레진 침투상 평가에서 병소 깊이에 비해 상대적으로 레진이 불완전하게 침투한 시편이 다소 관찰되었는데, 이는 본 연구에서 사용한 치아에 표층이 두꺼운 병소가 다수 포함되어 있었기 때문일 것이라 추측된다. 상대적으로 다공성이 낮은 표층은 장애물로 작용하여 레진 침투과정을 방해하므로 성공적인 레진의 침투를 위해서는 표층을 제거하는 것이 필수적이다¹. 여러 연구 결과 15% 염산을 90~120초간 적용하는 것이 표층을 가장 효과적으로 제거한다고 알려져 있다¹⁷. 하지만 이렇게 전처리를 한 후에도 표층이 불완전하게 제거될 수 있어, Paris 등¹은 표층의 완전한 제거를 위해 염산 적용 시간을 증가시킬 것을 추천하였다. 그러나 임상에서 병소 내로의

완전한 레진 침투를 위해 얼마나 많은 표층을 제거해야 하는지 아는 것은 불가능하고, 2분 이상 염산을 적용하는 것은 최소침습치의학의 개념에 기반하여 개발된 resin infiltration 개념에 위배되는 것이다. 또한 레진이 완전하게 침투된 병소만 우식 진행을 효과적으로 억제한다는 것을 지지할 근거가 없고, 병소 표면에서 산의 공격으로부터 병소를 봉쇄하는 열구전색제도 우식 진행 예방에 성공적인 결과를 보인다²⁸. 따라서 표층의 완전한 제거를 위해 산부식 시간을 증가시키는 것에 대해서는 추가적인 연구 필요할 것이라 사료된다.

본 연구 결과 infiltrant resin은 법랑질 초기 우식 병소 내부로 비교적 깊고 균일하게 침투하여 우식 법랑질의 물성 향상에 기여하며 비교적 우수한 물리적 안정성을 보이는 것으로 판단되었다. 최소 침습 치의학의 개념에서, resin infiltration은 재광화가 부적절한 초기 우식의 후기 단계에서 와동 삭제의 대안이 될 수 있을 것이라 사료된다. 다른 모든 우식 치료와 마찬가지로 resin infiltration 역시 완벽한 방어벽으로서의 역할을 기대하기는 어렵다. 하지만 아직 와동이 형성되지 않은 초기 우식 병소에 resin infiltration을 시행하여 병소의 진행을 정지시키거나 수복치료의 시기를 최대한 연기하는 것은 의미 있는 치료라 할 수 있다. 특히 기대 수명이 긴 소아 청소년의 영구치에서 침습적 치료 시기를 연기하여 영구치를 오랜 기간 사용할 수 있도록 하는 것은 가치 있는 치료법이라고 할 수 있을 것이다. 그러나 보다 장기적인 infiltrant resin의 안정성에 대한 연구가 요구되며, 또한 미세누출을 최소화하기 위한 infiltrant resin의 물성 개선이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 법랑질 초기 우식 병소에 저점도의 광중합 레진을 침투시켜 병소의 진행을 차단할 목적으로 최근에 개발된 infiltrant resin을 이용하여, 이를 침투시킨 초기 우식 병소의 특성에 대해 평가할 목적으로 시도되었다. 방사선 사진 상 법랑질 내측까지 진행된 자연 우식 병소에 infiltrant resin을 침투시킨 후, nanoindentation을 이용하여 법랑질의 깊이에 따른 경도를 측정하고, FE-SEM을 이용하여 탈회 병소 내로의 레진 침투양상을 분석하며, 열순환 후 미세누출 정도를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건전 법랑질에 대한 초기 우식 법랑질의 경도 백분율은 표층(5~40 μm) 64.6%, 병소본체(60~350 μm) 24.6%였으며, infiltrant resin을 침투시킨 병소의 경도 백분율은 72.1%로 나타났다.
2. 5~350 μm 깊이에서, infiltrant resin을 침투시킨 병소의 경도는 비처치 우식 병소보다 유의하게 높았지만 정상 법랑질에 비해서는 유의하게 낮았다($p < 0.05$).
3. 탈회된 법랑질 내부로 비교적 균일하게 침투한 레진 테그가 관찰되었으며, 침투깊이는 433 μm(282-501)로 측정되었다.
4. 열순환 처리 후 13개의 치아에서 미세누출이 관찰되지 않

았고, 5개에서 병소 외측 절반, 2개에서 병소 내측 절반까지 미세누출이 관찰되었다.

결론적으로, infiltrant resin은 법랑질 초기 우식 병소 내부로 비교적 깊고 균일하게 침투하여 우식 법랑질의 물성 향상에 기여하며 비교적 우수한 물리적 안정성을 보이는 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Paris S, Meyer-Lueckel H, Kielbassa AM : Resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res*, 86:662-666, 2007.
2. Meyer-Lueckel H, Paris S : Progression of artificial enamel caries lesions after infiltration with experimental light curing resins. *Caries Res*, 42:117-124, 2008.
3. Ekstrand KR, Bakhshandeh A, Martignon S : Treatment of proximal superficial caries lesions on primary molar teeth with resin infiltration and fluoride varnish versus fluoride varnish only: efficacy after 1 year. *Caries Res*, 44:41-46, 2010.
4. 김민정, 이동수, 김신 등 : 초기 우식 병소의 표층 처리에 따른 Resin infiltration의 우식 저지 능력 평가. *대한소아치과학회지*, 37:412-421, 2010.
5. Paris S, Hopfenmuller W, Meyer-Lueckel H : Resin infiltration of caries lesions: an efficacy randomized trial. *J Dent Res*, 89:823-826, 2010.
6. Paris S, Meyer-Lueckel H : Inhibition of caries progression by resin infiltration in situ. *Caries Res*, 44:47-54, 2010.
7. Kielbassa AM, Muller J, Gernhardt CR : Closing the gap between oral hygiene and minimally invasive dentistry: a review on the resin infiltration technique of incipient (proximal) enamel lesions. *Quintessence Int*, 40:663-681, 2009.
8. Phark JH, Duarte S Jr, Meyer-Lueckel H, et al. : Caries infiltration with resins: a novel treatment option for interproximal caries. *Compend Contin Educ Dent*, 30:13-17, 2009.
9. Duckworth RM : *The Teeth and Their Environment*. Karger, Basel, 105-131, 2006.
10. Kugel G, Arsenault P, Papas A : Treatment modalities for caries management, including a new resin infiltration system. *Compend Contin Educ Dent*, 30:1-10, 2009.
11. Qvist V : Resin restorations: leakage, bacteria, pulp. *Endod Dent Traumatol*, 9:127-152 1993.
12. Wiegand A, Stawarczyk B, Kolakovic M, et al. : Adhesive performance of a caries infiltrant on sound and demineralised enamel. *J Dent*, 39:117-121, 2011.
13. Yoshikawa T, Burrow MF, Tagami J : A light curing method for improving marginal sealing and cavity wall adaptation of resin composite restorations. *Dent Mater*, 17:359-366, 2001.
14. Coy HD : Direct resin fillings. *J Am Dent Assoc*, 47:532-537, 1953.
15. Meyer-Lueckel H, Paris S : Improved resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res*, 87:1112-1116, 2008.
16. Chaitra TR, Subba Reddy VV, Devarasa GM, et al. : Flowable resin used as a sealant in molars using conventional, enameloplasty and fissurotomy techniques: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 28:145-150, 2010.
17. Meyer-Lueckel H, Paris S, Kielbassa AM : Surface layer erosion of natural caries lesions with phosphoric and hydrochloric acid gels in preparation for resin infiltration. *Caries Res*, 41:223-230, 2007.
18. Pitts N : "ICDAS"-an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Community Dent Health*, 21:193-198, 2004.
19. Oliver WC, Pharr GM : Improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *J Mater Res*, 7:1564-1583, 1992.
20. International Organization for Standardization : Dental materials: guidance on testing of adhesion to tooth structure. Technical Report ISO TR - 11405. International Organization for Standardization, Geneva, 1994.
21. Robinson C, Brookes SJ, Kirkham J, et al. : In vitro studies of the penetration of adhesive resins into artificial caries-like lesions. *Caries Res*, 35:136-141, 2001.
22. 김은영, 안울진, 김신 등 : 전치부의 발육 결함 및 교정 후 탈회 병소의 심미적 개선을 위한 resin infiltration. *대한소아치과학회지*, 37:218-224, 2010.
23. Fejerskov O, Kidd E : *Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management*. Blackwell Munksgaard, Oxford, 20-48, 2008.
24. Bergman G, Lind PO : A quantitative microradiographic study of incipient enamel caries. *J Dent Res*, 45:1477-1484, 1966.

25. Huang TT, He LH, Darendeliler MA, et al. : Correlation of mineral density and elastic modulus of natural enamel white spot lesions using X-ray microtomography and nanoindentation. *Acta Biomater*, 12:4553-4559, 2010.
26. Huang TT, He LH, Darendeliler MA, et al. : Nano-indentation characterisation of natural carious white spot lesions. *Caries Res*, 44:101-107, 2010.
27. Asmussen E : Penetration of restorative resins into acid etched enamel. II. Dissolution of entrapped air in restorative resin monomers. *Acta Odontol Scand*, 35:183-191, 1977.
28. Belli R, Rahiotis C, Schubert EW, et al. : Wear and morphology of infiltrated white spot lesions. *J Dent*, 39:376-385, 2011.
29. Paris S, Dörfer CE, Meyer-Lueckel H : Surface conditioning of natural enamel caries lesions in deciduous teeth in preparation for resin infiltration. *J Dent*, 38:65-71, 2010.
30. Paris S, Meyer-Lueckel H, Mueller J, et al. : Progression of sealed initial bovine enamel lesions under demineralizing conditions in vitro. *Caries Res*, 40:124-129, 2006.
31. Meyer-Lueckel H, Paris S : Infiltration of natural caries lesions with experimental resins differing in penetration coefficients and ethanol addition. *Caries Res*, 44:408-414, 2010.
32. Paris S, Bitter K, Renz H, et al. : Validation of two dual fluorescence techniques for confocal microscopic visualization of resin penetration into enamel caries lesions. *Microsc Res Tech*, 72:489-494, 2009.
33. Bjarnason S, Dietz W, Hoyer I, et al. : Bonded resin sealant on smooth surface dental enamel-an in vitro study. *Swed Dent J*, 27:167-174, 2003.
34. da Silva Neto JM, dos Santos RL, Sampaio MC, et al. : Radiographic diagnosis of incipient proximal caries: an ex-vivo study. *Braz Dent J*, 19:97-102, 2008.

Abstract

THE CHARACTERISTICS OF RESIN INFILTRATED INCIPIENT CARIOUS LESIONS

Eun-young Kim, Min-Seok Kwon, Shin Kim, Tae-sung Jeong

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University

The concept of resin infiltration which was born in an innovative philosophy to arrest the incipient caries. However, the structural changes of resin infiltrated lesions have not yet explained completely. The liquid resin might contribute not only to maximizing the penetration but to deteriorating physical stability. This study was performed to examine some physical and histological features of resin infiltrated incipient carious lesions.

With the specimen of resin infiltrated lesions, microhardness by nanoindentation in depth profile, morphology of resin tags were revealed after HCl dissolution, and degree of microleakage were assessed.

The percentage of microhardness of surface layer and lesion body of untreated specimen to sound enamel was 64.6% and 24.6% respectively, while that of resin-infiltrated lesions was 72.1%, showing significant difference ($p < 0.05$). The resin tags observed under SEM had relatively homogeneous length of 433(282~501) μm on the average. Among 20 specimens for microleakage assessment, 13 specimens showed no leakage while 5 and 2 showed leakage into outer and inner half of lesion respectively.

It was thought the infiltrant resin penetrates deeply and homogeneously into lesion body and improves its hardness with relatively good physical stability.

Key words : Resin infiltration, Incipient caries, Microhardness, Penetration depth, Microleakage