Research article

ISSN 2234-7658 (print) / ISSN 2234-7666 (online)
http://dx.doi.org/10.5395/rde.2012.37.2.90

RDE
Restorative Dentistry & Endodontics

레진 침투법 후 인공 법랑질 백색 병소의 색과 경도 변화 비교

김지훈[1], 손호현[2], 장주혜[3]*

[1]서울대학교 치의학대학원 치의학과, [2]치과보존학교실, [3]서울대학교치과병원 장애인구강진료실

Color and hardness changes in artificial white spot lesions after resin infiltration

Ji-Hoon Kim[1], Ho-Hyun Son[2], Juhea Chang[3]*

[1]Department of Dentistry, Seoul National University School of Dentistry, Seoul, Korea
[2]Department of Conservative Dentistry, Seoul National University School of Dentistry, Seoul, Korea
[3]Clinic for Persons with Disabilities, Seoul National University Dental Hospital, Seoul, Korea

Objectives: The purpose of this study was to determine the effect of resin infiltration technique on color and surface hardness of white spot lesion (WSL) with various degrees of demineralization. ***Materials and Methods:*** Ten human upper premolars were cut and divided into quarters with a 3 x 4 mm window on the enamel surface. Each specimens were separated into four groups (n = 10) and immersed in demineralization solution to create WSL: control, no treatment (baseline); 12 h, 12 hr demineralization; 24 h, 24 hr demineralization; 48 h, 48 hr demineralization. Resin infiltration was performed to the specimens using Icon (DMG). CIE$L^*a^*b^*$ color parameters of the enamel-dentin complex were determined using a spectroradiometer at baseline, after caries formation and after resin infiltration. Surface hardness was measured by Vickers Micro Hardness Tester (Shimadzu, HMV-2). The differences in color and hardness among the groups were analyzed with ANOVA followed by Tukey test. ***Results:*** Resin infiltration induced color changes and increased the hardness of demineralized enamel. After resin infiltration, there was no difference in color change (ΔE^*) or microhardness among the groups (p < 0.05). ***Conclusion:*** There was no difference in the effect of resin infiltration on color and hardness among groups with different extents of demineralization. (*Restor Dent Endod* 2012;37(2):90-95)

Key words: Color measurement; Microhardness; Resin infiltration; White spot lesion

Received December 30, 2011;
Revised February 24, 2012;
Accepted February 24, 2012.

[1]Kim JH, *MS student,* Department of Dentistry, Seoul National University School of Dentistry, Seoul, Korea
[2]Son HH, *DDS, PhD, Professor,* Department of Conservative Dentistry, Seoul National University School of Dentistry, Seoul, Korea
[3]Chang JH, *DDS, MSD, PhD, Clinical assistant professor,* Clinic for Persons with Disabilities, Seoul National University Dental Hospital, Seoul, Korea
***Correspondence to**
Juhea Chang, DDS, MSD, PhD.
Clinical assistant professor, Clinic for Persons with Disabilities, Seoul National University Dental Hospital, 101 Daehag-ro, Jongro-gu, Seoul, Korea
TEL, +82-2-2072-3831; FAX, +82-2-2072-2854; E-mail, juhchang@snu.ac.kr

서론

법랑질 백색 병소(WSL, white spot lesion)는 치아 우식에 의한 탈회화 과정으로 생성되는 유백색의 초기 우식 병소를 지칭한다.[1] WSL은 방사선 사진상에서 관찰되기 이전의 초기 병소로서, 생리적 보상 기전이나 예방 치료를 통해 재광화가 우세하게 되면 우식의 진행이 정지하게 되지만,[2,3] 이미 탈광화가 일어난 법랑질 표층 하 영역은 그대로 다공화 상태로 남아있게 된다.[4] 건전한 법랑질의 경우 가시광선의 굴절률(refractive index)은 1.62, 물의 굴절률은 1.33, 공기의 굴절률은 1.00 이다.[5] 이러한 다공화 조직에서 빈 공간은 타액(수분)으로 채워져 있으며, 건조될 경우에는 공기로 메워지게 된다. 일반적으로 진료실에서 초기 우식을 확인하기 위하여 치면을 5초간 공기 분사를 한 뒤 관찰하는 진단방법을 사용한다. 이 때 탈회된 법랑질의 빈 공간을 점유하던 수분이 증발하며 공기가 채워지면 법랑질의 굴절률

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

©Copyrights 2012. The Korean Academy of Conservative Dentistry.

과 더 큰 차이가 나는 계면이 형성된다. 이에 따라 우식 부위가 하얗게 드러나는 것을 감지하게 된다.

WSL은 일반적인 치아 우식 발생 위험도가 높아서 다발성 병소를 나타내는 환자들에게서 흔히 발견하게 된다. 특히 교정치료를 받는 환자에게서 치아 표면에 부착한 브라켓 주위에 축적된 치태로 인해 WSL이 발생하는 경우는 종종 볼 수 있는 일이다.[6,7] 대부분 교정환자에게 있어서 교정치료의 중요한 목적이 심미성의 증진에 있다고 볼 때 교정치료로 인해 야기되는 초기 우식 병소인 WSL은 오히려 심미성을 해치는 결과를 나타내게 된다. 우식을 야기하는 구강 환경 및 생활 습관을 개선하여 병인을 차단하는 것이 일차적인 예방 술식이라면, 이미 손상된 조직을 수복하여 biofilm형성을 차단할 수 있는 평활한 치아 표면을 회복하는 것은 이차, 삼차적인 예방 술식으로서 주목해야 할 부분이다.[3]

최근에 도입된 레진 침투법(resin infiltration technique)은 치질의 삭제를 통하지 않고 초기 우식 병소를 처치 함으로써, 최소량의 치질 삭제를 통한 최소 침습적(minimally invasive) 수복보다도 더욱 보존적인 미세 침습적(micro-invasive) 수복 방법으로서 각광을 받고 있다.[1,8] ICON (DMG, Hamburg, Germany)으로 상품화 되고 있는 레진 침투법 제재는 법랑질의 투과력을 높이기 위하여 기존의 인산(phosphoric acid)을 대체하여 염산(hydrochloric acid)을 장시간(120초)동안 적용하게 되어 있다. 이에 따라 비교적 건전하게 유지되어 있는 법랑질의 표층을 지나 표층 하 탈회층의 다공성 병소까지 레진을 깊숙이 도달시키도록 하고있다.[9] 사용되는 투과용 레진(infiltrant resin)은 점도가 낮으며 침습성이 좋은 단량체인 tetraethyleneglycol dimethacrylate (TEGDMA)로 이루어져 있다. 탈회된 법랑질의intercrystalline space로 레진이 침투한 뒤 중합되면서 공극을 메우게 되면 이후 산의 침투를 막게 되어 우식 병소의 진행을 억제할 수 있다. 또한 다공화된 병소 부위의 치질을 채워서 물리적으로 보강할 수 있다는 효용성을 제공한다. 이와 함께 공기나 수분으로 채워져 있던 빈 공간이 레진으로 대체되면 높은 수준으로 발생하는 빛의 산란을 감소시킴으로써 우식 전의 건전한 치질에 가까운 색조로 회복 되는 것을 기대할 수도 있다.

보통 WSL의 초기 상태로서 약간 희끗한 소견이 보여지며 표면의 거칠 거칠한 느낌이 크지 않을 경우에는 레진 침투법으로 어느 정도의 심미적인 개선을 이루기도 한다. 하지만, 우식 와동(cavitation)이 형성된 것 까지는 아니지만 탈회현상이 조금 더 진행되고 거칠어진 듯한 소견이 두드러질 때에 레진 침투법을 시행했을 경우, 표면 자체는 매끈해질 수 있으나 희끗해진 색조의 변화를 되돌리는 효과는 그리 크지 않음을 임상적으로 경험할 때가 있다. 이런 경우 침투된 레진이 물리적으로 결손 조직을 어느 정도 대체하였으리라 기대할 수는 있지만 심미적인 문제는 해결하지 못하였기에 완전한 치료가 되었다고 보기 어렵다.

본 실험에서는 발거 된 치아에 acidic challenge의 시간 차를 통해 각각 다른 정도의 표면 하 탈회 병소를 형성하여 육안으로 확인할 만한 WSL 을 재현하였다. 이후 레진 침투법을 적용하여 탈회 정도가 각각 다른 실험군에 따른 효과를 비교 분석하였다. 분석 요인으로 색상 측정을 통한 심미적인 회복과 미세경도의 변화에 따른 물리적인 성질의 회복을 상정했다. 본 실험의 귀무 가설은 다음과 같다. 첫째, 탈회 정도를 다르게 한 그룹 간 비교 시 레진 침투법 후 회복된 색조에 있어 차이가 없을 것이다. 두 번째, 탈회 정도가 다른 그룹 간에 레진 침투법 후 변화한 표면 경도에 있어 차이가 없을 것이다.

연구 재료 및 방법

시편의 준비

교정치료 목적으로 발치를 하는 환자의 술 전 동의 하에 수집된 상악 소구치 10개의 치아가 본 실험에 사용되었다. 치아들을 일주일 간 0.5% chloramine-T에 담가 둔 후 4℃의 증류수에 담가 보관하였다. 저속 주행 절단기를 사용하여 백악법랑경계(cementoenamel junction) 부근에서 치근부를 절단한 뒤 치관부를 협설, 근원심 방향으로 4등분하였다. 법랑질을 지지하는 2 mm두께의 상아질을 남기도록 다이아몬드 디스크로 다듬어서 치아1개당 3 × 4 mm의 법랑질 표면을 가지는 시편 4개를 만들었다. 이러한 시편들을 15 × 15 mm의 아크릴 블록에 교정용 자가 중합 레진을 이용하여 법랑질 표면만 드러나도록 식립 하였다.

서로 다른 탈회 정도를 가진 인공적인 WSL을 형성하기 위하여 같은 치아에서 나온 4개의 시편들은 다음과 같은 그룹으로 나누었다(n = 10).

Control group (대조군): no demineralization
12 h group: 12 hours demineralization
24 h group: 24 hours demineralization
48 h group: 48 hours demineralization

실험 군에 따라 각각 12시간, 24시간, 48시간 동안 탈회용액 (1.5 mM $CaCl_2$, 0.9 mM KH_2PO_4, 50 mM acetate buffer, pH 4.8) 2.5 mL에 시편을 침지시켰다.[10] 각 실험 군 별로 탈회 작용이 끝난 시편은 재광화 용액(1.5 mM $CaCl_2$, 0.9 mM KH_2PO_4, 20 mM HEPES (4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid), pH 7.0)에 1시간씩 침지 시킨 후 다시 증류수에 보관하였다.

각각의 그룹은 레진 침투법 용 제품(Icon)을 이용하여 수복을 실시하였다. 수복 과정은 제조회사의 지침에 따라 다음과 같이 진행되었다. 치아 표면에2분간 Icon-Etch (젤 형태의 15% 염산 제재)을 적용시킨 후, 각 시편을 30초간 물로 헹구고 건조 시켰다. 건조시킨 시편에 Icon-Dry (알코올 성분의 탈수 제재)를 30초간 적용시킨 뒤 다시 건조시켰다. Icon-Infiltrant (침투용 레진 제재)을 3분간 적용시킨 후 40초간 광중합을 시켰다. 그리고 다시 Icon-Infiltrant를 1분간 적용시킨 후 40초간 광중합을 실시하였다. 광중합이 끝난 시편을 aluminum oxide abrasive paper (1,200 grit)를 이용하여 20초간 연마하였다.

색조 측정

법랑질 표면의 색조 측정을 대조군 시편에서 시행하여 baseline으로 삼았다. 실험군 치아에서는 탈회 병소를 형성한 후와 레진 침투를 시킨 후 2회에 걸쳐 측정을 시행하여 대조군의 baseline 측정값과 비교하였다. Macro-Spectar MS-75 lens (Photo Research, Chatsworth, CA, USA)가 장착된 spectroradiometer (PR-670, SpectraScan, Photo Research)를 사용하여 외부의 빛이 차단된 암막 공간 내에서 측정을 시행하였다.[11] 색 온도 6,500 K의 자체광원이 조사되어 380 nm에서 780 nm 사이의 파장의 빛이 2 nm 간격으로 분석되었고(Spectrawin 2.0, Photo Research), CIE$L^*a^*b^*$ 값으로 변환된 측정값을 얻었다. L^* 값은 인간의 시감에서 인지하는 것과 같은 명도를 나타내며, 0 - 100까지의 단계로 소수점 이하 단위도 표현할 수 있다. a^* 값은 색도 다

이어그램으로 $+a^*$ 는 적색, $-a^*$ 는 녹색 방향을 나타낸다. b^* 값은 색도 다이어그램으로 $+b^*$ 는 황색, $-b^*$ 는 청색 방향을 나타낸다. Color difference (ΔE^*)는 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$(\Delta E^*) = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

경도 측정

경도 측정을 위해 Vickers Micro Hardness Tester (Shimadzu, HMV-2, Kyoto, Japan)를 이용하였다. 사각뿔 형태의 diamond indenter로 시편 표면에 일정한 힘을 가해 시편의 표면에 마름모 형태의 압흔을 형성한 뒤 마름모의 가로, 세로축의 길이를 현미경을 통해 측정하여 마름모의 넓이를 계산하였다. 가해진 힘을 계산된 마름모의 넓이로 나누어 시편의 경도를 산출해 내었다(비커스 경도, Hv). Indenter에 가해진 힘은 4.903 N 이었고 힘이 가해지는 시간은 10초로 설정하였다.

통계 분석

그룹 간 혹은 레진 침투법 전후 간 측정된 수치들은 각각 ANOVA (Tukey사후검정)와 paired t-test를 이용하여 유의수준 0.05에서 비교 관찰하였다.

결과

색의 변화

(1) WSL 형성 후와 레진 침투법 적용 후 시점에서 실험 군 간 비교

Baseline과 탈회처리로 인한 WSL형성 후의 색 차이인 $\Delta E_{ab}{}^*_{(BL - CA)}$을 그룹 간에 비교하였을 때, 대조군과 실험군 사이에는 유의한 차이가 있었지만($p < 0.05$), 실험군 간에서는 유의한 차이가 없었다(Table 1). Baseline과 레진 침투법 시행 후의 색 차이인 $\Delta E_{ab}{}^*_{(BL - RI)}$을 그룹 간 비교하였을 때에도 대조군과 실험군 사이에는 유의한 차이가 있었지만($p < 0.05$), 실험 군 간에서는 유의한 차이가 없었다. WSL 형성 후의 명도를 나타내는 $L^*_{(CA)}$ 값을 그룹 간에 비교하였을 때, 48 h 그룹이 대조군이나 12 h 그룹 과는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 레진 침투법을 실시한 이후의 명도를 나타내는 $L^*_{(RI)}$ 값은 실험 군 사이에서는 유의한 차이가 없었다. WSL 형성 이후 적색-녹색 척도인 $a^*_{(CA)}$ 값을 그룹 간에 비교하였을 때, 48 h 그룹만이 control 그룹과 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 레진 침투법 이후 $a^*_{(RI)}$값을 그룹간 비교하였을 때는 어떤 그룹도 유의한 차이가 없었다. WSL형성 이후 황색-청색 척도인 $b^*_{(CA)}$ 값을 그룹 간에 비교하였을 때, 48 h 그룹만이 다른 그룹과 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 레진 침투법 이후 $b^*_{(RI)}$ 값을 그룹간 비교하였을 때는 48 h과 24 h 그룹이 나머지 그룹과 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

(2) WSL 형성 후와 레진 침투법 적용 후 시점에서 실험 군 내 비교

Baseline과 WSL형성 후의 색 차이인 $\Delta E_{ab}{}^*_{(BL - CA)}$와 baseline과 레진 침투법 적용 후의 색 차이인 $\Delta E_{ab}{}^*_{(BL - RI)}$와 비교 시 모든 그룹에서 레진 침투법 적용 후의 색 차이가 감소한 것으로 나타났다($p < 0.05$, Table 1 and Figure 1). 통계적으로 유의할 만한 감소를 나타낸 것은 48 h 그룹으로($p < 0.05$) WSL형성 후 11.31 $\pm$ 4.50, 레진 침투법 적용 후 7.33 $\pm$ 2.37의 수치를 보였다. L^* 값은 12 h 그룹과 24 h 그룹에서 레진 침투법 적용 후 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). a^* 값은 48 h 그룹에서 유의한 감소를 보였다($p < 0.05$). b^* 값은 모든 그룹에서 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

경도의 변화

탈회처리로 WSL을 형성하였을 때 표면 경도는12 h, 24 h, 48 h 그룹 모두 유의한 수준의 감소를 보였으며 12 h그룹과 48 h그룹간에서 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$, Table 2). 레진 침투법을 적용했을 때 세 그룹 모두 baseline에 비해 유의한 정도의 경도 증가를 보였으며($p < 0.05$), 세 그룹 간의 유의한 차이는 없었다.

Table 1. The difference in the mean values (SD) of CIE L^*, a^*, b^*, and ΔE^* among the control and the experimental groups after caries formation for three different demineralization times and corresponding resin infiltration

Group (N = 10/group)	Caries formation (CA)				Resin Infiltration (RI)			
	L^*	a^*	b^*	$\Delta E_{ab}{}^*_{(BL-CA)}$	L^*	a^*	b^*	$\Delta E_{ab}{}^*_{(BL-RI)}$
Control (Baseline, BL)	76.24 (1.90)^a	-1.37 (0.47)^a	9.65 (3.17)^a	0.00^a	76.24 (1.90)^a	-1.37 (0.47)^a	9.65 (3.17)^a	0.00^a
12 h	75.55 (4.45)^a	-1.03 (0.25)^{ab}	5.84 (3.64)^a	7.67 (4.03)^b	78.17 (2.60)^b	-0.92 (0.36)^a	10.27 (3.42)^{ab}	6.43 (3.23)^b
24 h	78.16 (3.27)^{ab}	-1.13 (0.55)^{ab}	6.73 (3.77)^a	7.53 (2.71)^b	80.43 (2.62)^b	-0.99 (0.72)^a	12.63 (2.99)^b	7.13 (2.22)^b
48 h	81.74 (3.36)^b	-0.66 (0.41)^b	1.17 (3.24)^b	11.31 (4.50)^b	80.99 (1.39)^b	-1.13 (0.45)^a	7.78 (3.04)^a	7.33 (2.37)^b

Different superscript letters denote the values that are significantly different from one another in each column ($p < 0.05$).

http://dx.doi.org/10.5395/rde.2012.37.2.90

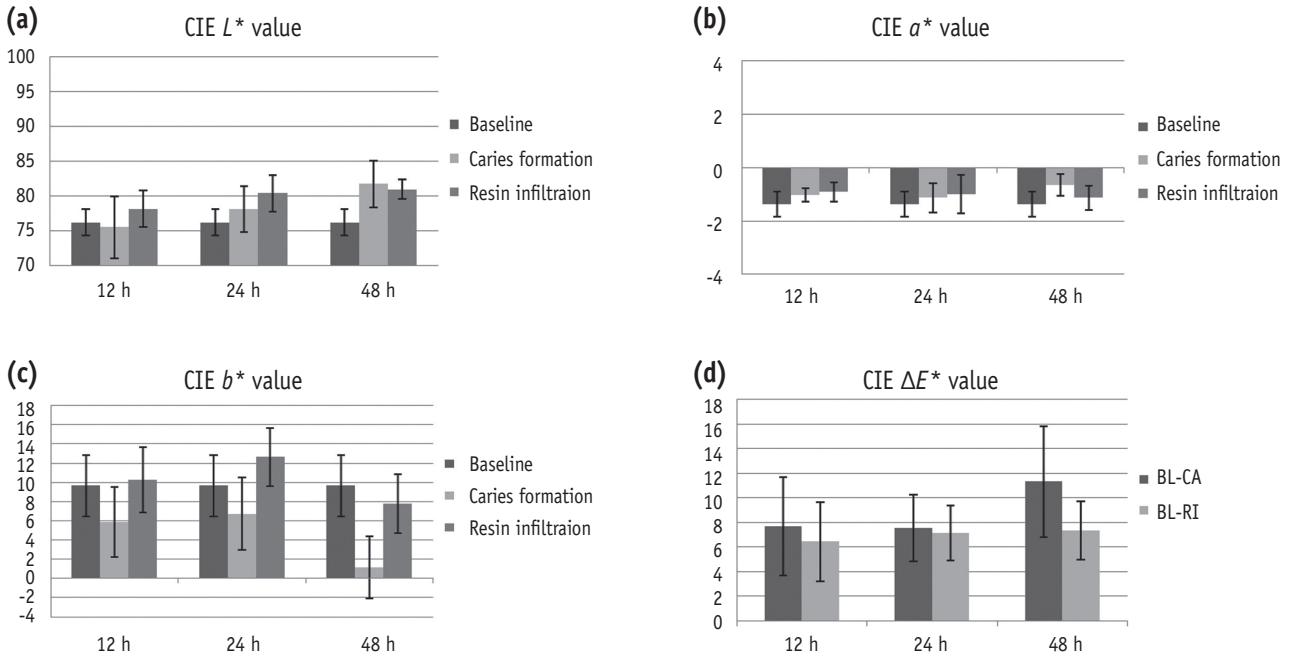

Figure 1. (a) Mean values of CIE *L** for three groups (12 h, 24 h, and 48 h demineralization time) measured at baseline, after careis formation, and after resin infiltration; (b) Mean values of CIE *a** for three groups; (c) Mean values of CIE *b** for three groups; (d) Mean values of color change (CIE Δ*E**) after caries formation (BL-CA) and after resin infiltration (BL-RI) for three groups.

Table 2. The mean values (SD) of Vickers hardness after caries formation for three different demineralization times and corresponding resin infiltration

Group	Caries formation (CA)	Resin infiltration (RI)
Control	270.8 (31.6)[a]	270.8 (31.6)[a]
12 h	197.9 (41.5)[b]	366.0 (13.1)[b]
24 h	156.6 (44.5)[b,c]	352.4 (14.4)[b]
48 h	127.7 (71.0)[c]	362.1 (12.6)[b]

Different superscript letters denote the values that are significantly different from one another in each column ($p < 0.05$).

총괄 및 고찰

WSL을 진단하는 방법으로 clinical examination, photographic examination, optical non-fluorescent method, optical fluorescent method등이 있다. 초기 우식의 경우 동통이나 민감성과 같이 환자가 자각하는 증상이 없기 때문에 주로 표면의 색상이나 질감을 측정하는 방법이 사용된다.[12] WSL에 대한 치료는 불소나 광물질을 이용한 재광화 방법, 치아 미백술, 미세 연마술 등과 같은 비침습적 수복 방법이 사용될 수 있으며 이와 같은 방법으로도 치료되지 않는 광범위한 병소에 대해서는 복합레진 수복이나, porcelain veneer등과 같은 수복 치료를 시행하기도 한다.[13] 불소나 광물질을 이용한 재광화 방법은 쉽게 적용이 가능한 방법이지만 표층 하 재광화의 정도에 한계가 있는 것으로 알려져 있다.[14] 따라서 재광화 후에 표면의 질감은 평활하고 광택이 생긴다 해도 표면 내부의 불투과성 부위가 잔존하여 색상의 미묘한 차이를 남기는 경우가 많다. 미세 연마술을 이용한 치료는 우식에 의한 탈회로 인한 병소 뿐만 아니라 치아 발생 시기에 야기된 조직 해부학적 결함에 의한 WSL에도 적용되고 있으며, 염산과 마모제를 사용하여 결함 부위를 내재한 표층을 어느 두께만큼 제거한다는 측면에서 침습적인 치료 방법에 가깝다.[15] 또한 제거하는 치질의 두께에 제한을 갖기 때문에 표층 하 탈회 병소 부위까지 영향을 미치지 못하는 경우가 있다. 복합레진 수복이나 porcelain veneer의 경우 치료과정 중 치아에 상당량의 비가역적인 치질의 삭제를 요구하며 상대적으로 높은 비용이 발생한다는 단점이 있다.[13]

본 실험에서 사용된 레진 침투법의 경우 치질 삭제 없이도 어느 정도 깊이 진행된 WSL에 대해 기능적으로나 심미적으로 만족스러운 치료 결과를 가져올 수 있다는 점에서 유용한 치료 방법이라고 할 수 있다. 레진 침투법은 최근 5년 이래 새롭게 적용되기 시작한 방법으로 그 실효성에 대해서는 진행된 연구가 많은 반면 서로 다른 우식 정도의 치아에서 적용시켰을 때의 차이점을 비교한 연구는 없는 실정이다. 본 실험은 인공적으로 WSL을 형성함에 있어 탈회 정도에 차이를 둔 치아시편에 대해 레진 침투법으로 수복을 시행한 뒤 색상과 경도의 변화를 측정 비교했다는 데에 그 의미를 찾을 수 있다.

본 실험에서는 탈회된 법랑질과 그 법랑질을 레진 침투법으로 수복하였을 때의 색 차이를 치아 심미 수복의 평가에 널리 사용되는 CIE*L*a*b** 체계를 바탕으로 비교하였다.[16] 우식 치아의 탈광화와 재광화에 따른 변화를 확인하는 방법으로는 치아 조직의 본태적인 형광 반

사 성질을 이용한 quantitative light-induced fluorescence를 사용하는 것이 일반적이다. 하지만, 환자나 술자가 육안에 의해서 병소를 확인한다는 것을 감안한다면 진단이나 치료 효과의 평가가 가시광선의 흡수, 산란, 반사량에 따른 빛의 감지, 즉 색조의 측정에 근거하는 것이 바람직할 것이다. 하지만, 치아는 다양한 해부학적 표면 형태와 질감, 법랑질의 투명성을 좌우하는 소주(prism) 구성, 수산화 인회석의 결정 크기와 밀도 등 복잡한 요소를 지니고 있으므로 기존의 측정 장비로 WSL의 색조를 일관성 있게 측정하는 것은 쉽지 않은 것으로 여겨지고 있다.[17] 최근 한 연구에서는 우식 치아 시편의 디지털 사진을 촬영하여 colorimeter 분석을 통해 CIE*L*a*b** 값과 우식 활성도와의 관계를 규명한 바 있다.[18] 또 다른 연구에서는 spectrophotometer 를 사용하여 탈회시킨 bovine enamel 시편의 불소 재광화와 레진 침투법이 *L** 값의 변화를 가져왔다는 것을 보여 주고 있다.[8] Spectroradiometer는 비접촉식 색조 측정 장치(non-contact color measurement device)로서 colorimeter나 spectrophotometer와 같은 접촉식 장치 보다 치아의 색조 측정에 있어 일관성 있고 정밀한 데이터를 제공한다.[19,20] 첫째, 접촉식 장치에서는 평활한 시편에 렌즈를 접촉 시켜야 하기 때문에 미리 표면을 연마한 치아 시편을 탈회 시키게 된다. 이럴 경우 단단하게 과광화되어 있는 법랑질 표면을 제거한 상태에서 실험 조건을 부여해야 한다는 한계가 있다. 반면, spectroradiometer를 사용할 경우 다소 곡면의 형태인 치아 표면을 그대로 보유할 수 있다는 장점이 있다. 둘째, 접촉식 장치에서는 접촉된 렌즈의 구경 내에서 빛을 조사하여 반사되는 광량을 측정하는 방법을 취하므로, 법랑질과 같이 투명도가 높은 시편에서는 조사량의 일부가 구경 바깥으로 산란되는 만큼 반사량이 소실되는 'edge loss effect' 에 취약하다는 단점이 있다. 하지만, spectroradiometer에서는 일정 거리만큼(본 실험에서는 20 cm) 떨어진 위치에서 조사광을 적용하는 만큼 이러한 단점을 피할 수 있다. 따라서 sepctroradiometer로 치아의 색조 측정 시 시편과 측정환경의 차이에 따른 데이터의 변이 폭이 적은 편이며 시편의 투명도가 높게 얻어지는 경향이 있다.[19]

저자들은 예비실험을 통하여 시편을 12 h, 24 h, 48 h 동안 탈회 한 다음 육안으로 확인 시 그룹간의 색 차이가 존재하는 것으로 판단하여 본 실험에 착수하였다. 그러나 실제 측정장비로 측정 하였을 때는 12 h과 24 h 그룹간에 색조 차이가 유의하지 않다는 결과가 나왔다. 항목별로 보면 탈회 전후의 전반적인 색 차이인 ΔE^*를 비교하였을 때 대조군과 비교 시 탈회를 시킨 모든 실험군의 ΔE^*값이 증가한 것으로 보이나 그룹 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 명도를 나타내는 *L** 값을 따로 비교하였을 때도 48 h 그룹만이 control 그룹보다 통계적으로 유의한 명도의 증가가 나타났다($p < 0.05$). 이러한 결과가 나온 이유를 유추해보면 육안으로 측정(예비실험) 시 명확한 차이를 보기 위해서 air dry를 시킨 후 관찰했던 경향이 있는 반면 장비 측정 시에는 구강 내와 비슷한 조건을 부여하기 위해 시편의 표면에 습기가 남아있는 상태에서 측정을 시행하였다. 이렇게 되면 습기가 있는 법랑질은 빈 공간을 물이 채우면서 법랑질과 공기 간의 굴절율의 차이 보다 법랑질과 물 간의 굴절율 차이가 작아지는 결과를 가져오기 때문에 색조의 변화가 더 적게 나타났을 가능성이 있다. 하지만, 세 실험 군 모두 $\Delta E^* = 7$ 이상의 색조 차이를 보였고, 이는 임상적으로 육안으로 차이를 감별할 만한 (clinically discernible) 차이를 spectroradiometer 측정에 기반한 수치로 환산한 $\Delta E^* = 2.6$ 값을 훨씬 상회하므로, 임상적으로 쉽게 감지 할 만한 WSL을 재현했다고 볼 수 있다.[21]

레진 침투법 후에는 WSL의 명도가 감소할 것으로 예상하였으나 세 그룹 모두 유의할 만한 차이를 보이지 않았다. 이것은 WSL의 다공질 공간이 레진으로 메워지며 산란 현상의 감소로 인해 명도가 감소하는 것보다도 레진 자체의 명도가 원래 치아의 명도보다 높은 현상이 압도하기 때문인 것으로 유추할 수 있다. 레진 침투법에 사용되는 infiltrant resin은 TEGDMA가 주성분으로서 부가적인 필러(filler)가 포함되어 있지 않은 투명한 재질이므로 치아 조직의 결함 부위를 대체한다고 하더라도 치아의 색조를 그대로 회복하기에는 역부족일 것으로 보인다. 적색-녹색의 색감을 나타내는 지표인 *a** 값은 양의 값으로 증가 시 적색의 경향을 나타낸다. 초기 우식과 같은 경미한 탈회 시 *a** 값의 변화량은 크지 않으므로 색조 차이인 ΔE^* 의 변화에 그리 반영되지 않는 것으로 나타나고 있다.[22] 황색-청색의 색감을 나타내는 지표인 *b** 값은 탈회 시 48 h 그룹에서 값이 감소하여 노란 색감이 감소함을 보였고 레진 침투법 적용 후에는 세 그룹 모두에서 값이 증가하여 노란 색감이 증가함을 보여주었다. 또한 변화 량이 다른 그룹에 비해 두드러지게 큰 것으로 나타났는데 이 것은 본 실험에서 나타난 색조 변화의 상당량이 *b**값의 변화에서 기인한 것임을 말해준다. 이는 일반적인 미백 치료 시 색조가 밝아지는 현상이 *L** 값의 증가와 *b** 값의 감소에 기인한다는 것과 유사하다. 따라서 WSL의 색조 개선을 미백 치료로서 해결하려는 시도의 근거로 삼을 수 있겠다.[23]

경도의 변화는 비교적 뚜렷한 경향성을 보였다. 탈회 시 세 그룹 모두 경도의 확연한 감소를 보였으며 탈회한 시간이 증가할수록 경도가 감소하는 경향이 있었다. 이는 임상적인 관찰에서 활성화된 우식의 진행 에 따라 표면의 거칠기가 증가하며 단단한 질감이 사라진다는 것과 일치한다. 레진 침투법 적용 후 시편의 경도는 세 그룹 모두 비슷한 수준으로(352.4 - 366.0 Hv) 증가하였으며 탈회 전의 원래 경도(270.8 Hv) 보다도 더 높은 수치를 획득하였다. 중합된 레진의 경도가 법랑질에 비해 높지 않음을 감안할 때 이는 예상외의 결과라 할 수 있다. 이러한 결과가 나온 이유를 유추해보면 레진 침투법 적용 시 시편의 표면처리에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 레진 침투법 시 제조사의 지침에 따라 aluminium oxide abrasive papers로 수복된 법랑질 표면을 연마한 뒤 경도 측정을 실시 함에 따라 대조군에 비해 균일하며 편평한 상태로 시편의 표면이 형성되었다. 또한 수복 과정 중에 산 부식과정이 포함됨에 따라 시편 표면의 불순물들과 성긴 구조들이 제거되었고 이러한 이유로 레진이 가지는 낮은 경도에도 불구하고 수복 후에 높은 경도가 얻어졌을 가능성이 있다. 레진 침투법 적용 전의 법랑질 표면이 레진 침투법 적용 후에 비해 더 불균일 했다는 사실은 측정된 경도의 표준편차가 적용 전의 경우 더 컸다는 사실을 통해서도 유추해 볼 수 있다. 또한 결과에는 제시되지 않았지만 indenter로 인해 시편의 표면에 생긴 마름모형 압흔의 세로축과 가로축의 비율도 레진 침투법 적용 후에 비해 baseline의 경우 더 불규칙함을 알 수 있었다. 보다 확실한 경도 측정치를 비교해 보기 위해서는 먼저 표면 연마 상태의 차이에 의한 영향을 줄이기 위해 레진 침투법을 적용한 그룹과 적용하지 않은 그룹에서 모두 시편의 표면 연마를 통일 시킨 조건의 실험이 추가적으로 실시되어야 할 것이다. 또한 레진 침투법에 사용된 레진 자체의 중합 후 경도도 함께 측정해야 할 필요성이 있다고 본다. 하지만, 레진 침투법 적용 후 탈회 정도가 다른 세 그룹간에 경도의 차이가 없었던 것은 표층 하 다공성 범위의 차이와 관계없이 레진이 어느 수준 이상의 깊이만큼은 충분한 밀도로 균일하게 침투하여 경화될 수 있다는 사실을 시사한다.

http://dx.doi.org/10.5395/rde.2012.37.2.90

임상적인 측면에서 보았을 때 병소의 진행 정도가 상이하더라도 관계없이 동일한 술식을 적용하여 소기의 치료 효과를 거둘 수 있다면 술식 적용에 있어 간편성과 편이성 측면에서 큰 이점이 있다고 할 수 있다. 본 실험에서는 병소의 탈회 정도와 상관없이 색조와 경도가 비슷한 정도로 회복됨을 관찰 할 수 있었다는 점에서 레진 침투법의 유용성에 의미를 부여할 수 있다고 하겠다. 다만, WSL로 인하여 변화한 색조가 완전히 회복 되지 않고 여전히 색조 차이를 남겨 두고 있다는 점은 레진 침투법으로 인한 심미성의 회복에 제한이 있다는 것을 보여준다. 경도 회복에 있어서는 구강 내 환경에서 저작 및 칫솔질 등에 의한 기계적인 마모 요건을 고려해야 한다. 현재까지는 레진 침투법 에 의한 초기 우식 수복물의 내구성에 대한 연구 결과는 보고되지 않고 있다. 이에 추 후 연구에서는 레진 침투법의 장기적인 임상 효과에 대한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서 주어진 실험실적 조건에서 서로 다른 정도의 탈회화 과정을 거쳐 형성된 WSL에 대해 레진 침투법을 시행하였을 때 탈회화 정도에 따라 색조 변화의 유의한 차이가 없었고 경도의 회복에 있어서도 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 실험 전 단계에서 세웠던 귀무가설은 둘 다 기각될 수 없다. 이러한 결과는 임상적인 측면에서 탈회 정도에 관계없이 레진 침투법 직후에 어느 수준의 색조와 경도 회복을 가져 온다는 것을 의미하므로 임상적 활용도가 높다고 하겠다.

Conflict of Interest: No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. 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* 2009;40:663-681.
2. Featherstone JD. Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. *Community Dent Oral Epidemiol* 1999;27:31-40.
3. Fontana M, Young DA, Wolff MS, Pitts NB, Longbottom C. Defining dental caries for 2010 and beyond. *Dent Clin North Am* 2010;54:423-440.
4. Kim ME, Jung IY, Kum KY, Lee CY, Roh BD. *In vivo* quantitative analysis of remineralization effect of remineralization solution 'R' of incipient enamel dental caries. *J Korean Acad Cons Dent* 2002;27:175-182.
5. Kim S, Kim EY, Jeong TS, Kim JW. The evaluation of resin infiltration for masking labial enamel white spot lesions. *Int J Paediatr Dent* 2011;21:241-248.
6. Tüfekçi E, Merrill TE, Pintado MR, Beyer JP, Brantley WA. Enamel loss associated with orthodontic adhesive removal on teeth with white spot lesions: an *in vitro* study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:733-739.
7. Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning microscope study. *Am J Orthod* 1979;75:667-677.
8. Rocha Gomes Torres C, Borges AB, Torres LM, Gomes IS, de Oliveira RS. Effect of caries infiltration technique and fluoride therapy on the colour masking of white spot lesions. *J Dent* 2011;39:202-207.
9. 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* 2007;41:223-230.
10. ten Cate JM, Buijs MJ, Miller CC, Exterkate RA. Elevated fluoride products enhance remineralization of advanced enamel lesions. *J Dent Res* 2008;87:943-947.
11. Son HJ, Kim WC, Jun SH, Kim YS, Ju SW, Ahn JS. Influence of dentin porcelain thickness on layered all-ceramic restoration color. *J Dent* 2010;38(Supplement 2):e71-77.
12. Zandoná AF, Zero DT. Diagnostic tools for early caries detection. *J Am Dent Assoc* 2006;137:1675-1684.
13. Bishara SE, Ostby AW. White Spot Lesions: formation, prevention, and treatment. *Semin Orthod* 2008;14:174-182.
14. Cochrane NJ, Cai F, Huq NL, Burrow MF, Reynolds EC. New approaches to enhanced remineralization of tooth enamel. *J Dent Res* 2010;89:1187-1197.
15. Son JH, Hur B, Kim HC, Park JK. Management of white spots: resin infiltration technique and microabrasion. *J Korean Acad Cons Dent* 2011;36:66-71.
16. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent* 2008;36(Supplement 1):S2-7.
17. Ko CC, Tantbirojn D, Wang T, Douglas WH. Optical scattering power for characterization of mineral loss. *J Dent Res* 2000;79:1584-1589.
18. Iwami Y, Hayashi N, Takeshige F, Ebisu S. Relationship between the color of carious dentin with varying lesion activity, and bacterial detection. *J Dent* 2008;36:143-151.
19. Lim HN, Yu B, Lee YK. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2010;104:239-246.
20. Lim HN, Yu B, Lim JI, Lee YK. Correlations between spectroradiometric and spectrophotometric colors of all-ceramic materials. *Dent Mater* 2010;26:1052-1058.
21. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent* 2007;97:200-208.
22. Kim Y, Son HH, Yi K, Kim HY, Ahn J, Chang J. The color change in artificial white spot lesions measured using a spectroradiometer. *Clin Oral Investig* 2012 Jan 27(Epub ahead of print).
23. Knösel M, Attin R, Becker K, Attin T. External bleaching effect on the color and luminosity of inactive white-spot lesions after fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2007;77:646-652.