

치면열구전색치아의 미세누출 평가를 위한 Swept-Source Optical Coherence Tomography의 타당도 평가

¹삼육보건대학교 치위생과, ²연세대학교 치과대학 예방치과학교실, ³BK21 플러스 통합구강생명과학 사업단
남 상 미^{1, 2}, 구 혜 민^{2, 3}, 이 은 송^{2, 3}, 김 백 일^{2, 3}

ABSTRACT

Evaluation of sealant microleakage using Swept-Source Optical Coherence Tomography

¹Department of dental hygiene, SahmYook Health University

²Department of Preventive Dentistry and Public Oral Health, Yonsei University College of Dentistry

³BK21 PLUS Project, Yonsei University College of Dentistry

Sang-Mi Nam^{1, 2}, Hye-Min Ku^{2, 3}, Eun-Song Lee^{2, 3}, Baek-II Kim^{2, 3}

Purpose: The aim of this study was to evaluate the validity of swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) for detecting sealant microleakage.

Materials and Methods: A total of 31 extracted sound human molar, assigned as suitable for sealant application, were chosen and divided into two groups: (1) no microleakage group and (2) microleakage group by applying sealant using the different methods. All specimens were immersed in 1% methylene blue for 24 h and sectioned to confirm the absence or presence of sealant microleakage as a gold standard method. Subsequently, all the sectioned specimens were digitally photographed using a microscope with a magnification of $\times 50$. Presence of microleakage was evaluated on a 2-point rating scale. The association of histological method with conventional methods (visual and tactile assessment) and SS-OCT was assessed using a chi-squared test. The intra- and inter-examiner reliability was calculated using Cohen's Kappa.

Results: The SS-OCT showed a sensitivity of 0.73 and a specificity of 1.00, while visual and tactile assessment showed a sensitivity of 0.67 and a specificity of 0.86. The inter-examiner reliability of SS-OCT was 0.79, whereas that of the visual and tactile assessment was 0.53.

Conclusions: SS-OCT can be used to non-invasively detect sealant microleakage and to monitor pit and fissure sealant in the clinics.

Key words : Swept-source optical coherence tomography (SS-OCT), Pit and fissure sealant, Microleakage

Corresponding Author

김 백 일

연세대학교 치과대학 예방치과학교실 교수

서울시 서대문구 연세로 50-1 연세대학교 치과대학 예방치과학교실

전화 : (02)2228-3070, e-mail : drkbi@yuhs.ac

본 논문은 2018학년도 삼육보건대학교에서 지원한 학술연구비에 의해 연구되었음.

I. 서론

치면연구전색제는 교합면 우식을 예방하는 효과가 영구치에서 99%, 유치에서 87%로 보고되어 있다¹⁾. 그러나 치면연구전색제의 약한 물성으로 인해 변연부위에서 파절되어 발생한 부분적 미세누출은 치면연구전색제 탈락의 원인이 될 수 있다. Kidd²⁾는 미세누출을 치아와 수복물 사이에 세균, 구강액, 분자 또는 이온이 임상적으로 탐지할 수 없는 수준으로 통과하는 것이라고 정의하였다. 미세누출로 인해 수복물 변연의 변색, 파절 촉진, 재발성 우식, 과민성 치아, 치수괴사 유발의 원인이 되기도 한다³⁾.

한편 Futatsuki 등은 치면연구전색제 도포 후 초기 3개월 시 14.4%, 3-6개월 사이에는 7.0%의 부분적 혹은 완전한 탈락률을 나타낸다고 보고하였다⁴⁾. 또한 치면연구전색제는 도포 1년 후 교합면에서 5-10%의 상실률을 나타낸다고 보고되어 있다^{4, 5)}. 치면연구전색제의 초기 탈락의 원인은 대표적으로 대상치아의 선정 오류로서 건전 치면이 아닌 교합면 우식이 있는 치아에 전색제를 도포한 경우, 교합면의 소와 및 열구 내에 치태가 남아있는 경우, 치면연구전색제 치치 과정에서 산 부식과 세척 후 수분이나 타액이 남아있는 경우 등에 의해 치면연구전색제의 침투도가 감소하여 유지력이 감소하게 된다⁶⁾. 이렇듯 치면연구전색제를 올바르게 적용하지 못한 경우 초기에 탈락될 수 있으며 이차우식증 발생 가능성 또한 증가하게 된다.

치면연구전색제 도포 후 효과 유지를 위해서는 주기적인 모니터링을 통해 전색제의 유지력을 평가할 필요가 있다. 이를 위해 전통적으로 시진(Visual examination)과 촉진(Tactile examination) 검사법으로 치면연구전색제의 경계면을 평가해 왔다⁷⁻⁹⁾. 임상가가 시진과 촉진으로 교합면에 도포되어 있는 전색제와 치면의 변연 부분이 밀봉되어 있는지 검사하는 방법은 전통적인 평가법으로써 널리 활용되고 있으나¹⁰⁾, 이러한 검사법은 검사자의 감각을 이용하여 주관

적으로 전색제와 치면의 경계부분이 매끄러운지를 평가하는 것이므로 타당도와 신뢰도가 낮아 객관적이지 못하다는 한계점이 있다¹⁰⁾.

이러한 기존 검사법의 한계점을 보완하기 위해 다양한 장비를 이용하여 치면연구전색제 주변의 미세누출을 객관적으로 탐지하고자 시도하였다. Markowitz 등¹¹⁾은 형광카메라를 이용하여 치면연구전색제 주위의 치아우식증 탐지 가능성을 평가하였으나 전색제 하방의 교합면 우식 병소의 심도를 평가할 수는 없었다. Sonmez 등¹²⁾은 레이저 우식진단기기인 Diagnodent 장비를 이용하여 평가한 결과, 치면연구전색제 중 하방의 미세누출을 탐지하기 위해서는 투명한 전색제에 국한하여 적용하는 것이 가능하다고 보고하였으나 임상에서 보편적으로 사용하기에는 한계점이 있다고 사료된다. 또한 치면연구전색 주변의 변연 미세 누출을 Micro-CT로 평가한 연구에서는 전색제 하방의 미세누출을 탐지할 수 있었으나¹³⁾ 높은 방사선 노출량으로 인한 유해성 때문에 전색제 유지력 평가에 적용하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

한편 치아조직을 비파괴적인 방법으로 평가할 수 있는 광 결맞음 영상장치(Optical coherence tomography, OCT)의 활용 가능성이 연구되고 있다¹⁴⁻¹⁶⁾. OCT는 1991년 처음 소개되었으며¹⁷⁾, 근적외선 영역의 파장대(1260-1360nm) 광원을 치아조직에 조사하여 치아 내부의 횡단면 영상을 얻을 수 있다. OCT의 3세대인 파장변환 광 결맞음 영상장치(Swept-source optical coherence tomography, SS-OCT)는 변형된 고속의 파장변환 광원을 이용한 것으로¹⁸⁾, 최근 SS-OCT를 이용하여 치아-수복물 경계면의 결함을 확인하는 연구가 보고되고 있다^{19, 20)}. 그러나 OCT를 이용하여 전색제와 소와 열구와의 경계면을 평가한 연구들에서는 치면연구전색제의 재료에 따른 미세누출 정도의 차이점에 대해 보고하였을 뿐 기존 검사법 간의 비교나 조직학적 평가를 통해 황금기준 검사법과의 차이를 평가한 선행연

구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 교합면 소와열구에 도포된 치면열구전색제 주변부에 발생한 미세누출을 횡단면 이미지로 평가할 수 있는 SS-OCT와 기존 검사방법인 시진-촉진 검사법과의 비교를 통해 치면열구전색제의 유지력 평가에 SS-OCT를 활용할 수 있을지 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시편준비

본 연구는 발거된 사람치아를 사용하고자 연세대학교 치과대학병원 임상연구 생명윤리위원회 (Institution Review Board for Clinical Research of the Yonsei dental hospital)로부터 승인을 받았다(IRB No. 2-2017-0044).

연구진행 전 모든 참가자에게 연구 목적과 방법에 대해 설명한 후 동의서를 받았으며, 발거된 치아는 본 실험에 사용되기 전까지 -20°C 상태에서 냉동보관하였다. 본 실험대상으로 31개의 건전한 영구 대구치가 사용되었다. 대상 치아의 표면에 부착되어있는 잔여 조직과 침착물은 수동스케일러로 제거한 후, 저속 핸드피스에 치면세마용 브러시를 장착하여 불소를 함유하지 않은 퍼미스(pumice)로 교합면의 치면세균막을 제거하였다.

각 치아에 고유번호를 부여하고, 치근부는 저속 핸드피스(Lasungmedics, Korea)와 절삭기구(Diamond discs, NTI-Kahla GmbH, Germany)를 이용하여 절삭한 후 치관부를 아크릴 블록(15x12x6 mm)에 치과교정용 레진(Ortho-jet, Lang Dental Mfg. Co., Inc., USA)으로 매몰하였다.

2. 치면열구전색 처치 및 미세누출 형성

치면열구전색제 주변부의 미세누출을 유발하기 위해 선행연구²¹⁾에서는 치면열구전색제 도포 전 수분이나 타액에 오염시켜 치면열구전색제가 불완전하게 침투되어 미세누출을 형성하는 방법을 사용하였다. 따라서 본 연구에서도 매몰된 치아는 제조사의 지시에 따라 올바른 방법으로 치면열구전색제를 처치한 '미세누출이 없는 군' 16개와 전색제를 도포하기 전 타액에 오염시키는 방법으로 미세누출을 형성한 '미세누출군' 15개로 군을 분류하였다. 모든 치아의 소와열구는 35% 인산 Etchant (3M-ESPE, USA)를 사용하여 15초간 산부식 처리하고 10초간 물 분사기로 세척한 후 충분히 건조시켰다. 치면열구전색제는 Clinpro™ (3M-ESPE, USA)를 사용하였으며 광중합기는 Dr's Light™ (Good Doctors Co., Ltd, Korea)를 이용하였다.

'미세누출이 없는 군'은 제조사의 지시에 따라 치면열구전색제를 도포하고 40초간 광중합하였고, '미세누출군'은 치아의 교합면 소와열구에 0.1ml의 타액(human saliva)을 10초 동안 두고 Kimtech science wiper로 여분의 타액을 흡수시킨 후, 전색제를 도포하고 40초간 광중합하였다.

3. 미세누출 평가

1) 파장변환 광 결맞음 영상장치(Swept-source optical coherence tomography; SS-OCT)

치면열구전색치아의 근심소와 및 원심소와에서 SS-OCT (Prototype, LG electronics, Seoul, South Korea)의 중앙파장 1310nm, 대역폭 100nm, 파장변화 속도 50kHz의 광원을 이용하여 횡단면의 이미지를 스캐닝하여 미세누출로 의심되는 부위가 있을 시 해당 부위의 사진을 촬영하였고, 미세

누출로 의심되는 부위가 없을 시 관심부위의 사진을 촬영하였다. 각 시편에서 SS-OCT로 촬영한 횡단면 부위는 치관부가 매몰되어 있는 아크릴 블록에 수성펜으로 표시하여 사진과 촉진검사에서 동일한 부위를 평가하도록 하였다. SS-OCT로 스캔한 횡단면 이미지에서 미세누출의 유무는 두 명의 숙련된 검사자가 치면연구전색제와 하방의 건전 치면 경계면이 연속성을 보일 때 '미세누출이 전혀 없음(score 0)'으로 분류하였고, 치면연구전색제와 건전 치면의 경계면이 빛의 산란으로 인해 치면연구전색제 재료의 양상과 다를 신호를 보이며 불연속성을 나타낼 때 '미세누출이 있음(score 1)'으로 분류하였다.

2) 사진-촉진 검사(Visual and Tactile assessment)

치면연구전색제를 도포한 후 SS-OCT로 측정된 동일한 부위를 2명의 임상가가 사진과 촉진 검사법으로 미세누출 여부를 평가하였다. 2명의 검사자는 평가 전에 검진 기준에 대해서 calibration을 수행하였으며, 검사 결과에 따른 미세누출 유무는 Unal 등⁹⁾의 선행연구를 참고하여 다음과 같이 분류하였다. 치아와 치면연구전색제 경계면이 연속성을 보이며 탐침으로 탐지할 수 없을 때 score 0으로 분류하였고, 치아와 치면연구전색제 경계면이 불연속성을 보이며 탐침으로 탐지할 수 있을 때 score 1로 분류하였다.

3) 조직학적 미세누출평가

치면연구전색제 변연의 1mm를 제외하고 치면에 nail varnish를 2회 도포한 후 건조시켜 실험치아에서 변연부 이외의 불필요한 염색제 침투를 방지하였다. 그 후 선행연구²¹⁾에 따라 치면연구전색제와 치면과의 변연부에 염색제가 침투될 수 있도록 1% methylene blue 용액에 24시간 동안 침적시켰다. 각 치아는 흐르는 물에 세척하여 건조한 후, 근심소와 및 원심소와 두 부분을 협설 방향으로 자동절삭기

(TechCut 4TM, Allied High Tech Products, Inc., California, USA)를 이용하여 치아장축에 평행하게 절단하고 각 치아 당 4개의 치아면 즉, 각 소와(근심, 원심) 당 2개의 치아면을 얻었다. 각 치아의 근심소와 및 원심소와는 각각 2개의 치아면 중 염색제가 침투된 치아면을 선택하고 기록하여 각 치아 당 2개의 치아면을 평가하였다. 총 62개의 수직 치아면 중 11개는 손실되어 최종적으로 51개의 치아면에서 미세누출을 확인하였다. 노출된 절단면의 미세누출과 염색제의 침투를 평가하기 위해 50배율의 광학현미경(Carl Zeiss Axio imager A1m, Oberkochen, Germany)으로 관찰하였고, 선행연구에서 Overbo와 Raddal²²⁾이 제시한 기준을 변형하여 열구 내로 염색제 침투가 전혀 없는 경우는 score 0(미세누출 없음)으로 분류하였고, 열구 내로 염색제가 침투한 경우는 score 1(미세누출 있음)으로 분류하여 미세누출 여부를 평가하였다.

4. 통계분석

조직학적 평가 결과(황금기준)와 SS-OCT 평가 및 사진-촉진 검사 결과와의 연관성을 각각 확인하기 위해 Chi-squared test를 사용하여 분석하였다. 또한 각 검사법의 타당도 평가를 위해 조직학적 검사결과를 기준으로 민감도와 특이도를 산출하였다. 검사자 두명의 사진-촉진 검사 결과와 SS-OCT 이미지 평가 결과의 검사자간 일치도를 비교하기 위해 Cohen's kappa 값을 산출하였다. Cohen's kappa의 K 값은 선행연구에 따라 분류하였다²³⁾. 모든 통계분석은 R통계프로그램으로 수행하였으며 유의수준은 95%($\alpha=0.05$)로 설정하여 분석하였다.

Ⅲ. 결과

1. 조직학적 평가와 SS-OCT 평가 결과 비교

전체 51개 치아면의 조직학적 평가 결과 염색제가 열구 내로 침투한 치아면은 30개, 염색제가 열구 내로 침투하지 않은 치아면은 21개로 관찰되었다. 조직학적 평가 결과 미세누출이 존재하는 시편의 73.3%가 SS-OCT 평가 결과 '미세누출 있음'으로 평가되었다. 또한 조직학적 평가에서 미세누출이 없는 경우 SS-OCT는 100% 모든 시편에서 '미세누출 없음'으로 동일하게 평가되었으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 1).

치면열구전색제 도포 후 근심소와 및 원심소와의 미세누출을 측정하기 위하여 백색광 디지털 사진을 촬영하였고(Fig. 1A, D), SS-OCT를 이용하여 미세누출을 확인하고자 횡단면의 이미지를 촬영하였다(Fig. 1B, E). 조직학적 평가에서 '미세누출군'은 치아와 치면열구전색제 경계면을 따라 염색제가 열구내로 침투하였으나, '미세누출 없는 군'은 염색제가 열구내로 침투하지 않았다(Fig. 1C, F). SS-OCT의 횡단면

이미지를 이용하여 미세누출을 탐지한 검사자 두 명의 일치도는 kappa 값 0.79로 우수한 수준의 일치도를 보였다.

2. 조직학적 평가와 시진-촉진 평가 결과 비교

조직학적 평가 결과 미세누출이 있는 군의 66.7%가 시진-촉진 검사법을 통해 '미세누출 있음'으로 평가되었다. 조직학적 평가에서 미세누출이 존재하지 않는 군의 85.7%가 시진-촉진 검사법을 통해 '미세누출 없음'으로 평가되었으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2). 시진과 촉진 검사 시 두 명의 검사자 간 일치도는 0.53으로 중등도의 일치도를 보였다.

3. 미세누출평가 방법의 타당도 평가

SS-OCT의 미세누출 탐지 민감도는 0.73, 특이도 1.00으로 나타났고, 시진과 촉진검사는 민감도 0.67, 특이도 0.86으로 나타났다(Table 3).

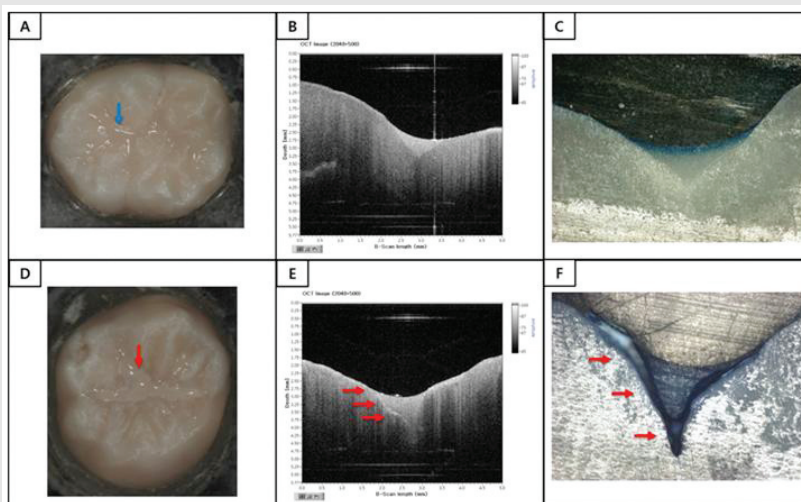


Fig. 1. Representative images of no microleakage (A, B, C) and microleakage (D, E, F), after applying the pit and fissure sealant. Blue arrows indicate the site for examining the site for absence of leakage at the marginal surface of pit and fissure sealant and the red arrows indicate the presence of leakage. Normal images with white-light (A, D), SS-OCT images (B, E), and light microscope images (C, F).

Table 1. Percentage of agreement between the SS-OCT and histological methods for sealant microleakage.

Histology	Number of tooth		SS-OCT	
	N	Positive	Negative	
Positive	30	22(73.3%)	8(26.7%)	
Negative	21	0(0.0%)	21(100%)	

Positive means microleakage of pit and fissure sealant.

Negative means no microleakage of pit and fissure sealant.

Table 2. Percentage of agreement between the visual and tactile assessment and histological methods for sealant microleakage.

Histology	Number of tooth		Visual + Tactile assessment	
	N	Positive	Negative	
Positive	30	20(66.7%)	10(33.3%)	
Negative	21	3(14.3%)	18(85.7%)	

Positive means microleakage of pit and fissure sealant.

Negative means no microleakage of pit and fissure sealant.

Table 3. Validity of the two different methods to detect sealant microleakage.

Diagnostic Methods	Sensitivity	Specificity	Accuracy
SS-OCT	0.73	1.00	0.87
Visual + Tactile assessment	0.67	0.86	0.76

IV. 고안

본 연구에서는 비침습적 광학 장비인 SS-OCT의 치면열구전색치아의 미세누출 탐지에 대한 진단 정확도를 평가하였다. 기존 검사법에 비해 높은 수준의 진단 정확도를 통해 치면열구전색제의 유지력 평가에 대한 SS-OCT의 임상 활용 가능성을 확인하였다.

본 연구결과에 따르면 SS-OCT가 시진과 촉진 검사법보다 미세누출을 탐지할 수 있는 능력인 민감도가 높게 나타났다(Table 3). 이는 선행연구²⁴⁾에서도 동일한 결과를 나타냈는데, SS-OCT는 치면열구전색제가 교합면 소와열구로 불완전하게 침투하여 치면과 전색제 사이의 공간이 생겨 들떠있는 양상을 실시간

횡단면 이미지로 확인할 수 있었던 반면, 시진과 촉진 검사법은 검사자가 탐침기로 치면과 전색제의 접촉상태를 변연 부위의 매끄러움만으로 평가하였기 때문에 전색제와 치질 사이의 미세 간극에 발생한 미세누출을 탐지하기에 어려움이 있었던 것으로 사료된다. 두 검사법의 진단 능력 중 특이도를 비교했을 때, SS-OCT가 시진과 촉진 검사법보다 높은 결과값을 나타냈다(Table 3). 이는 빛의 간섭 현상을 이용하는 SS-OCT가 전색제와 하방의 치면에 미세누출이 없을 때에는 내부에서 반사되는 신호가 검출되지 않고 일정한 밝기 양상을 보였기 때문에(Fig. 1B) 미세누출 공간이 존재하지 않음을 쉽게 확인할 수 있었던 것으로 판단된다.

조직학적 검사 시, 미세누출이 실제로 존재하지만 SS-OCT가 미세누출을 탐지하지 못한 비율은 26.7%였으며, 시진과 축진 검사로 미세누출을 평가한 검사자가 미세누출을 확인하지 못한 비율은 33.3%를 나타냈다(Table 1, 2). SS-OCT 검사법으로 미세누출을 탐지하지 못했던 이유는 본 연구에 포함된 대구치 소와열구의 해부학적 형태의 차이로 인한 것으로 판단된다. 교합면 열구의 입구가 좁으나 깊이가 깊은 병목형태의 소와 열구를 가진 대구치인 경우 전색제가 완전하게 침투되지 않아 미세누출이 발생하였으나²⁵⁾, SS-OCT의 광원이 소와 열구의 입구에서부터 신호 간섭에 의해 방해를 받아 하방의 신호를 정확하게 검출하기 어려웠던 것으로 추정된다.

한편 SS-OCT를 이용한 다양한 선행연구들에서는 다른 검사법과의 정확도 비교가 아닌 SS-OCT를 이용하여 치면열구전색제와 치아 사이의 계면에 발생한 미세누출만을 탐지하였다^{19, 24, 26)}. 전통적인 검사법인 시진-축진 검사법과의 미세누출 탐지 정확도를 비교한 연구는 부족하므로 본 연구의 결과는 SS-OCT가 기존의 검사법보다 우수한 탐지 능력을 나타낸다는 것을 보고하였다는 점에서 의미가 있다. 시진-축진 검사는 일반적으로 구강 내를 검사하는 방법이지만 주관적이며 초기상태의 조기발견이 어려워 미세한 초기 누출을 검사하는데 한계가 있다. 반면 SS-OCT는 고화질과 고속영상획득의 장점으로 구강질환의 초기 발견뿐만 아니라 미세누출²⁶⁾ 및 치아의 균열²⁷⁾을 확인할 수 있다고 보고되어 있다. 따라서 치면열구전색제의 미세누출 평가시 SS-OCT와 같은 광학장비를 이용하면 비교적 객관적으로 정확하게 평가할 수 있으리라 사료된다.

또한 SS-OCT로 전색제 미세누출을 평가한 검사자 두 명의 일치도는 0.79를 나타냈다. 치면열구전색 후 하방의 치아우식 탐지의 검사 일치도를 보고한 선행연구²⁸⁾에 따르면 본 연구와 동일한 Clinpro™ 치면열구전색제를 사용하였고, 도포 후 OCT의 검사자 간 일치도는 0.52를 나타냈다. 이에 반해 본 연구의 SS-OCT 일치율이 더 높은 값을 보였는데, 이는 본 연구에서 사용한 SS-OCT 장비가 선행연구에서 사용한 SD-OCT보다 해상도가 높았기 때문에 미세누출을 관찰하기에 용이했던 것으로 추정된다. 또한 SS-OCT 이미지 평가시 장비의 특성을 이해하고 사용한 경험이 있는 숙련된 검사자 두 명이 평가하였기 때문인 것으로 사료된다.

그러나 본 연구의 제한점은 치면열구전색제 도포 직후 치아와 치면열구전색제 계면에서 발생하는 미세누출의 존재여부만을 측정하였다는 점이다. 추후 연구에서는 미세누출을 심도에 따라 구분하여 심도에 따른 진단 정확도를 평가하고, 도포 이후 일정 시간이 지난 후 유지 상태를 모니터링하는 것이 가능한지에 대한 평가가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

SS-OCT는 기존 검사법인 시진-축진과 비교하였을 때 높은 민감도와 특이도를 나타냈다. 또한 비파괴적으로 미세누출의 깊이, 전색제재의 탈락 여부 등을 시각화하여 치면열구 전색제의 유지상태를 지속적으로 모니터링하는데 유용할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- Cueto EI, Buonocore MG. Sealing of pits and fissures with an adhesive resin: its use in caries prevention. *J Am Dent Assoc* 1967;75(1):121-128
- Kidd EA. Microleakage in relation to amalgam and composite restorations. A laboratory study. *Br Dent J* 1976;141(10):305-310
- Going RE. Microleakage around dental restorations: a summarizing review. *J Am Dent Assoc* 1972;84(6):1349-1357
- Futatsuki M, Kubota K, Yeh YC, et al. Early loss of pit and fissure sealant: a clinical and SEM study. *J Clin Pediatr Dent* 1995;19(2):99-104
- Feigal RJ. Sealants and preventive restorations: review of effectiveness and clinical changes for improvement. *Pediatr Dent* 1998;20(2):85-92
- 이상호. 치면열구전색술. *대한치과의사협회지* 2011;49(1):22-32
- Antonson SA, Antonson DE, Brener S, et al. Twenty-four month clinical evaluation of fissure sealants on partially erupted permanent first molars: glass ionomer versus resin-based sealant. *J Am Dent Assoc* 2012;143(2):115-122
- Guler C, Yilmaz Y. A two-year clinical evaluation of glass ionomer and ormocer based fissure sealants. *J Clin Pediatr Dent* 2013;37(3):263-267
- Unal M, Oznurhan F, Kapdan A, Durer S. A comparative clinical study of three fissure sealants on primary teeth: 24-month results. *J Clin Pediatr Dent* 2015;39(2):113-119
- 이상호. 치면열구전색의 유지력. *대한소아치과학회지* 2006;33(2):336-347
- Markowitz K, Rosenfeld D, Peikes D, et al. Effect of pit and fissure sealants on caries detection by a fluorescent camera system. *J Dent* 2013;41(7):590-599
- Sonmez IS, Oba AA, Erkmen M, Ekici S. Effects of different fissure sealant applications on laser fluorescence measurements. *Int J Paediatr Dent* 2011;21(1):29-34
- Chen X, Cuijpers V, Fan M, Frencken J. Marginal leakage of two newer glass-ionomer-based sealant materials assessed using micro-CT. *Journal of dentistry* 2010;38(9):731-735
- Feldchtein F, Gellikonov V, Iksanov R, et al. In vivo OCT imaging of hard and soft tissue of the oral cavity. *Opt Express* 1998;3(6):239-250
- Wang XJ, Milner TE, de Boer JF, et al. Characterization of dentin and enamel by use of optical coherence tomography. *Appl Opt* 1999;38(10):2092-2096
- Otis LL, Everett MJ, Sathyam US, Colston BW, Jr. Optical coherence tomography: a new imaging technology for dentistry. *J Am Dent Assoc* 2000;131(4):511-514
- Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254(5035):1178-1181
- Fercher AF. Optical coherence tomography - principles and applications. *Reports on progress in physics* 2003;66(2):239-303
- Oancea R, Bradu A, Sinescu C, et al. Assessment of the sealant/tooth interface using optical coherence tomography. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2015;29(1):49-58
- Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, et al. Non-invasive quantification of resin?dentin interfacial gaps using optical coherence tomography: validation against confocal microscopy. *dental materials* 2011;27(9):915-925
- Hevinga MA, Opdam NJ, Frencken JE, et al. Microleakage and sealant penetration in contaminated carious fissures. *J Dent* 2007;35(12):909-914
- Ovrebø RC, Raadal M. Microleakage in fissures sealed with resin or glass ionomer cement. *Scand J Dent Res* 1990;98(1):66-69
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics* 1977:159-174
- Ito S, Shimada Y, Sadr A, et al. Assessment of occlusal fissure depth and sealant penetration

참고 문헌

- using optical coherence tomography. *Dental materials journal* 2016;35(3):432-439
25. Celliberti P, Lussi A. Penetration ability and microleakage of a fissure sealant applied on artificial and natural enamel fissure caries. *Journal of dentistry* 2007;35(1):59-67
26. Ishibashi K, Ozawa N, Tagami J, Sumi Y. Swept-source optical coherence tomography as a new tool to evaluate defects of resin-based composite restorations. *J Dent* 2011;39(8):543-548
27. Imai K, Shimada Y, Sadr A, et al. Noninvasive cross-sectional visualization of enamel cracks by optical coherence tomography in vitro. *J Endod* 2012;38(9):1269-1274
28. Holtzman JS, Osann K, Pharar J, et al. Ability of optical coherence tomography to detect caries beneath commonly used dental sealants. *Lasers Surg Med* 2010;42(8):752-759