

2

Endocem MTA와 ProRoot MTA를 이용한 부분치수절단술 후 통증 발생에 관한 임상 연구

부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

곽 상 원, 김 현 철

ABSTRACT

Pain Occurrence after Partial Pulpotomy by using Endocem MTA and ProRoot MTA: a Clinical Study

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University, Dental Research Institute
Sang Won Kwak, Hyeon-Cheol Kim*

Objectives: This study aimed to compare the postoperative pain and clinical performance after partial pulpotomy by using ProRoot MTA and Endocem MTA. **Materials and Methods:** Twenty-eight teeth requiring partial pulpotomy due to deep dental caries or traumatic injury were included in this study. After 2mm removal of exposed pulp and bleeding control, the ProRoot MTA or Endocem MTA was randomly adjusted to the exposed site. 1, 2, 4, and 12 weeks after the final restoration, the patients were recalled to check the postoperative pain or another unfavorable signs. Pearson's chi-square test was used for statistical analysis to evaluate any differences among tested materials. **Results:** 3 of 28 teeth showed postoperative pain and cold positive during follow-up period (10.7%). There were no statistically differences in pain occurrence between two tested materials ($P > 0.05$). **Conclusions:** In the limitations of this study, partial pulpotomy by using Endocem MTA showed the advantages of short setting time and lower postoperative pain incidence, allowing one visit treatment.

Key words : Vital pulp therapy; Partial pulpotomy; ProRoot MTA; Endocem MTA; Postoperative pain

Corresponding Author

Hyeon-Cheol Kim, DDS, MS, PhD, Professor

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

Geumo-ro 20, Mulgeum, Yangsan, Gyeongnam, 50612, Korea

Tel : +82-55-360-5222, e-mail : golddent@pusan.ac.kr

Acknowledgement : This study was supported by 2017 Clinical Research Grant, Pusan National University Dental Hospital. The authors have no financial affiliations related to this study or its sponsors.

I. 서론 및 연구 목적

열린 근침을 가지는 미성숙 영구치가 다양한 원인에 의해 치수가 노출된 경우, 통상적인 근관치료가 어렵다. 이러한 경우 노출된 치수를 적절한 재료를 사용하여 보호함으로써, 치수 생활력을 유지하고, 치근 성장을 유도하기 위해 생활치수치료(vital pulp therapy)가 적절한 치료방법으로 고려되어 왔다. 직접치수복조술(direct pulp capping), 부분치수절단술(partial pulpotomy), 완전 치수절단술(complete pulpotomy)을 포함하는 생활치수치료는 치근단 병소가 없는 가역성 치수염 또는 최근 외상으로 인한 치수 노출, 기계적 치수 노출을 보이는 치아에서 치료 방법으로 선택될 수 있다.^{1, 2)}

전통적으로 치수의 염증 상태에 대한 인지자로서 환자의 자각 증상이 널리 받아들여져 왔다. 상대적으로 미약한 증상은 가역성 치수염과 연관이 있는 반면, 우식에 의한 치수의 노출이나 중등도 이상의 자각증상을 가지는 경우 비가역성 치수염과 연관이 있다고 알려져 있다³⁾. 그러나 임상적으로 치수 상태에 대한 정확한 진단을 내리기 어려워 적응증을 잘못 선택하여 예후가 불량한 경우도 종종 보고되고 있다⁴⁾. 통증의 심도나 특성과 같은 환자의 주관적인 증상은 치수의 상태를 정확하게 반영하지 못하며, 온도 자극이나 전기치수검사와 같은 치수생활력 검사 또한 치수 상태를 정확하게 진단하기에는 한계를 가진다^{4, 5)}.

이전 연구들에서 치아 우식증으로 인해 노출된 성숙 영구치의 치수에서도 치수 재생(regeneration)의 결과를 보고하였고, 이것은 생활치수치료가 단지 증상이 없거나, 미성숙 영구치에 제한되지 않음을 보여주었다^{6, 7)}. 또한, 자발통이나 중등도 이상의 통증을 나타내거나 치근단 병소를 가지는 경우, 언제나 치수가 회복(repair)될 수 없다는 것을 나타내는 것은 아니다^{4, 8, 9)}. 즉, 깊은 치아 우식 병소가 비가역적인 치수 상태와 절대적인 상관관계를 나타내지는 않는다¹⁰⁾. 그

러나, 이러한 증례에서는 노출된 치수를 단순히 복조하는 것보다는 노출된 치수의 하방으로 2-3mm의 염증 치수를 제거하는 부분 치수절단술 또는 완전 치수절단술이 추천되며¹¹⁾, 치수를 절단 후 출혈을 조절하는 것이 치료 결과에 매우 중요한 요인으로 제시되어 왔다⁶⁾.

전통적으로, 수산화칼슘(calcium hydroxide)이 생활치수치료에 상아질 형성을 자극하기 위하여 일반적으로 사용되어 왔다. 그러나, 수산화칼슘 제제를 이용한 생활치수치료는 시간이 지남에 따라 용해되는 성질이 있고, 다공성의 상아질 교(dentine bridge)를 형성하여, 장기적인 밀폐력이 저해되어 양호한 결과를 예측할 수 없는 한계가 보고되었다^{12, 13)}. 반면, mineral trioxide aggregate (MTA)는 수분 하에 경화될 수 있으며, 수산화칼슘에 비해 더 균질하고 두꺼운 상아질 교의 생성을 유도한다고 알려져 있다^{14, 15)}. 그러나, 전통적인 MTA는 어려운 조작성, 긴 경화시간, 치아 변색, 비교적 비싼 가격 등이 단점으로 여겨져 왔으며¹⁶⁾, 이에 따라 이런 한계를 극복한 MTA 유사 재료들이 시장에 나오기 시작하였다. Biodentine(Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, France), Endocem MTA(Maruchi, Wonju, Korea), TheraCal LC(Bisco Inc, Schaumburg, USA) 등의 calcium silicate cement는 각기 다른 화학적 조성을 가지지만, 칼슘 이온을 방출하여 cement와 상아질 벽 사이에 수산화칼슘을 형성하는 MTA와 유사한 성질을 가진다¹⁶⁾. MTA-derived pozzolan cement으로 소개된 Endocem MTA는, pozzolanic reaction을 이용함으로써 화학적으로 경화촉진제(accelerator)의 첨가 없이 경화 시간을 단축시켰다고 보고되고 있다¹⁷⁾. 또한 Endocem MTA는 기존의 MTA와 유사한 생체 적합성을 나타내는 동시에¹⁷⁾, 높은 점성으로 인하여 조작성이 향상되었고, wash out resistance가 향상되었다고 보고되었다¹⁸⁾.

따라서, 이번 연구의 목적은 치수가 노출된 치아에서 치수의 생활력을 유지시키기 위한 치료법 중 하나인 부분치수절단술을 시행하는데 있어, Endocem MTA와 기존의 재료인 MTA cement와 임상 결과를 비교, 분석함으로써 pozzolan cement의 임상적 유효성을 비교 평가하고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구는 2013년 10월부터 2015년 9월에 부산대학교 치과병원 치과보존과를 내원한 환자를 대상으로 한 전향적 무작위 비교 임상 연구이다. 임상 연구 실시 전, 부산대학교 치과병원 연구윤리위원회(IRB) 심의를 받고 통과하였다(PNUDH-2013-001-MD). 병력 청취 후, 부분치수절단술의 적응증을 가진 환자로 판단된 경우, 본 임상연구에 대한 충분한 설명 후 피험자로 참여를 희망하는 환자에 한해 사전 동의를 받았다. 모든 치료 과정은 부산대학교 치과병원 치과보존과에서 시행되었다.

깊은 치아 우식증을 보이며, 자각 증상이 없는 환자 중 우식 부위를 제거하는 과정에서 치수가 노출되거나, 외상에 의해 치수가 노출된 경우 노출 시간이 24시간 미만인 경우에 한하여 본 임상 연구의 지정대상으로 선택하였다. 자발통을 동반한 비가역성 치수염 증상을 보이는 치아, 외상에 의한 치수 노출 시간이 24시간 이상 경과된 치아, 치수강 및 근관의 석회화가 진행된 치아, 3도 이상의 동요도를 가지는 치아, 치수 생활력을 상실한 치아, crack이 발견된 치아, 치주질환의 징후를 보이는 치아, 내흡수 또는 외흡수 양상을 보이는 치아, 우식 제거 후에도 치수가 노출되지 않은 치아, 치수가 노출 되었어도 10분 후까지 지혈이 되지 않는 치아는 실험 대상에서 제외하였다. 치아 선택은 6세에서 65세 환자의 전치, 소구치, 대구치를 대상으로 하였으며, 총 22명의 환자 28개의 모든 부위의 치

아를 대상으로 임상 연구를 시행하였다.

피험자 참여에 동의하는 환자에 대해, 국소 마취를 시행한 후, 치아의 감염 방지를 위해 러버댐을 장착하여 격리하고 NaOCl로 소독하였다. 치아 우식 부위는 다이아몬드 버나 카바이드 버를 이용하여 통상의 방법으로 제거하였다. 치수가 노출된 경우 노출 부위를 진료용 현미경(Zeiss Pico; Carl Zeiss MediTec, Dublin, USA)하에서 확인하고(2 mm 이하), 고속 핸드피스를 이용하여 주수 하에 부분치수절단술을 시행하였다. 노출된 치수를 약 2-3 mm 절단하여, 하방의 건전한 치수 조직을 노출시켰다. 멸균 식염수와 NaOCl로 세척 후 5-10분 정도 젖은 면구를 이용하여 지혈하였다⁹⁾. 이 과정에서 10분이 지난 후에도 지혈이 얻어지지 않는 경우 실험 대상에서 제외하였다. 멸균 식염수로 최종 세척 후 면구로 과다 수분을 제거하였다. 임의적으로 배정된 순서에 따라 치수 절단 부위를 ProRoot MTA 혹은 Endocem MTA로 순차적으로 수복하였다. 이후, ProRoot MTA로 충전한 그룹은 멸균 식염수를 적신 면구를 재료 위에 넣고 임시 가봉하였고, 1~2일 혹은 다음 내원 시에 ProRoot MTA의 최종 경화를 확인 후 광중합형 글래스아이오노머(Fuji II LC; GC, Tokyo, Japan) 혹은 레진(Filtek Z250; 3M-ESPE, St. Paul, USA) 등의 재료를 사용하여 수복하였다. 반면, Endocem MTA로 충전한 그룹은 충전 약 5분 후 경화가 확인되면, 당일 광중합형 글래스아이오노머 혹은 레진 등으로 최종 수복하였다.

모든 피험 환자는 최종 수복 후 1주, 2주, 4주, 그리고 12주에 추적 검사를 시행하였다. 환자가 검사를 위해 내원했을 때, 검사 기간 중 자각 증상의 유무에 대한 문진을 시행하였으며, 온도 검사 및 치수생활력 검사, 타진 검사를 시행하여 치수 및 치근단 상태를 평가하였다. 또한 필요시 방사선 사진을 촬영하여 치근단 병소의 발현을 평가하였다. 최종 수복 후 추적 검사 기간 중, 자발통이 발생하거나 비가역성 치수염의 증상

이 나타난 경우, 당일 근관 치료를 시행하였다.

각 충전재 그룹에 대한 통증 빈도의 차이를 알아보기 위하여 Pearson's Chi-square test를 95%의 신뢰 구간에서 시행하였다 ($P < 0.05$). 모든 통계 분석은 SPSS software (SPSS Inc., Chicago, USA)를 이용하여 시행하였다.

Ⅲ. 연구 결과

연구 기간 중 총 22명의 환자에서 28개의 치아를 대상으로 부분치수절단술을 시행하였다. 이 중 2명의 환자에서 4개의 치아는 외상에 의한 치아 파절 증례였

으며, 나머지는 치아 우식증 치료 과정 중 치수가 노출된 치아였다. 28개의 치아 중, 무작위로 배정된 치아 중 13개는 ProRoot MTA로, 15개의 치아는 Endocem이 각각 노출된 치수 상방으로 적용되었다. 4개의 외상 치아의 경우, 한 개의 치아가 ProRoot MTA로 부분치수절단술이 실시된 반면, 24개의 우식 치아에서는 12개의 치아가 ProRoot MTA로, 12개의 치아는 Endocem MTA로 부분치수절단술이 시행되었다.

22명의 환자(28개의 치아)에 대해 모두 정해진 시기에 추적 검사가 이루어졌다(100%). 28개의 치아 중 3개의 치아에서 치수염 증상을 보여 근관치료를 실시하였다(10.7%)(Fig. 1, 2). 치아 외상에 의한 치수

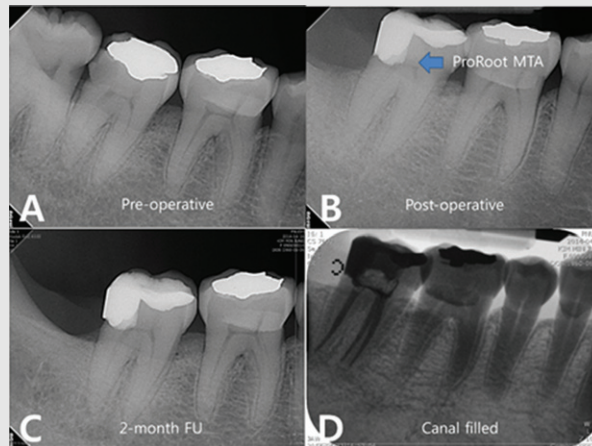


Fig. 1. Failure case of partial pulpotomy by using ProRoot MTA. A. Pre-operative radiograph. B. ProRoot MTA adjustment after caries removal and partial pulpotomy C. 2-month follow-up. Pain occurred D. Inverted image after root canal filling

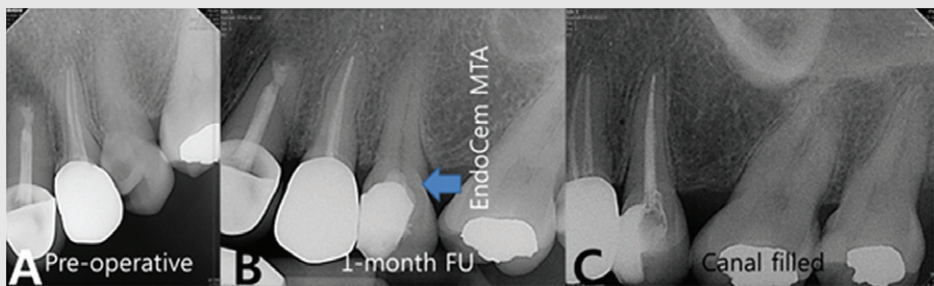


Fig. 2. Failure case of partial pulpotomy by using Endocem MTA. A. Pre-operative radiograph B. 1-month follow-up after partial pulpotomy C. Radiograph after canal filling

노출의 경우 치수염으로 진행된 경우가 없었다. 반면, 치아 우식증에 의한 치수 노출 치아의 87.5%에서 추적 검사시, 자발통 혹은 냉온 자극에 지연 통증을 가지게 되어 비가역적 치수염으로 진단되었다. 치아 우식증으로 부분치수절단술을 시행한 24증례 중 Endocem MTA를 사용한 경우는 91.6%, ProRoot MTA를 이용한 경우는 83.3%가 성공적인 결과를 나타내었다.

Chi-square test 결과 Endocem과 ProRoot MTA로 부분치수절단술을 시행한 경우, 두 그룹간 술 후 통증에 대한 유의한 차이는 없었다 (Table 1. P > 0.05).

IV. 연구 고찰

현재까지 우식으로 노출된 영구치 치수의 생활치수 치료에 대한 가장 좋은 치료 방법에 대한 합의는 이루어지지 않았다²⁰⁾. 치근단 치주염의 발생을 예방하기 위해 가장 적절한 방법은 치수절제술(pulpectomy)이며, 근관치료를 받은 치아에서 가장 양호하고 예측 가능한 결과를 보여주고 있는 것은 명확하다²¹⁾. 그러나, 근관치료를 받은 치아의 예후는 생활치보다 좋지 못하며, 특히 대구치에서 그러한 현상을 보인다²²⁾. 고유 수용 기능(proprioceptive function)의 상실,

과도한 힘이 치아에 가해졌을 때 제동 기능의 상실, 또한 생활 치수에서 유해 자극에 대한 방어 기전으로 작용할 수 있는 치아 감각의 상실 등이 원인이 된다²³⁾. 따라서, 생활 치수를 가능하다면 보존하는 것이 유리하다.

생활치수치료는 치수와 가깝거나, 치수 노출을 포함하는 가역적인 치수 손상을 받았을 때 적절한 재료를 적용하여 부가적인 손상으로부터 생활 치수를 보호하는 것을 목적으로 한다. 노출된 치수는 직접치수복조술이나 치수 절단술로 치수의 생활력과 기능을 보존할 수 있다²⁴⁾. 직접치수복조술은 부분 맹출한 미성숙 영구치 치수의 작은 기계적 노출에 주로 사용되며, 우식에 의한 치수 노출에는 사용이 의문시된다²⁴⁾. 반면, 치수절단술은 미완성 근침을 가지는 치아의 노출된 치수에 대한 치료법으로 부분 또는 완전 치수절단술로 구분된다. 부분 치수절단술은 노출된 면의 주위 표층 치수만 제거하는 술식으로 Massler에 의해 처음 소개되었으며, 감염된 치수 조직을 제거함으로써 직접치수복조술보다 치료의 성공률을 높일 수 있다²⁵⁾. 완전 치수절단술과 비교시 부분치수절단술은 노출된 치수 주위의 치수만 제거를 함으로써, 세포가 풍부한 치관부 치수 조직을 보존하여 치유를 증진시키고 생리학적 상아질 침착을 계속 일어나게 유도한다²⁶⁾. 현재 이러한 치료법은 외상을 받거나 치아 우식증이 심해 치수가 노출된 경우 어린 영구치에서 치료

Table 1. Post-operative pain occurrence after partial pulpotomy by using ProRoot MTA and Endocem MTA

Material	Number of cases	Postoperative Pain	
		Yes	No
ProRoot MTA	12	2	10
	1	0	1
Endocem MTA	12	1	11
	3	0	3
	28	3	25

There were no statistic differences between groups that presented postoperative symptoms (P > 0.05)

대안으로 사용되고 있으며, 성공률은 90% 이상으로 보고되고 있다²⁴⁾.

이번 연구에서는, 수경성 무기화합물을 이용한 MTA, 즉 Endocem MTA와 ProRoot MTA를 이용한 부분치수절단술의 술후 통증 및 기타 병변의 발현에 대한 무작위 배정 임상연구를 진행하였다. 부분치수절단술을 받은 28개의 치아 중 추적검사 기간 동안 통증의 발현은 3개의 치아에서 12주차에서 2건, 4주차에서 1건 발생하였고, 각각 하악 대구치 2건, 상악 소구치 1건에서 나타났다. 전자치수검사에서 음성 반응을 나타내거나, 자발통 또는 온열 검사에 과민반응을 나타내어, 증상이 확인된 내원 당일 근관치료를 시행하였다. 통증의 원인은 염증 치수 조직의 잔존으로 추정된다.

임상에서 특정 술식에 따른 통증 정도의 비교 연구에 대한 한계점은, 통증은 다소 환자의 주관적인 느낌이며, 통증에 대한 역치가 개체마다 다를 수 있다는 것이다. 이러한 점을 보완하기 위하여 Visual Analogue Scale을 이용하여 통증의 전후 비교, 또는 정도에 대한 비교를 시행하기도 하지만, 이번 연구에서는 단순히 통증의 유무만 판단한 점이 한계로 여겨진다.

MTA는 우수한 생체적합성을 바탕으로 MTA를 이용한 생활치수치료시 양호한 결과를 많은 연구들이 보고하고 있다^{12, 14)}. 그러나, MTA는 불량한 조작성과 긴 경화 시간과 같은 단점을 가지므로, 이것을 극복하기 위해 MTA의 화학적 조성을 변화시키거나 경화촉진제(accelerator)를 첨가하는 등 많은 시도가 이루어졌다. 그러나, MTA의 화학적 조성 변화는 생물학적 또는 물리적 부작용을 나타내기도 하였다²⁷⁾. Pozzolan cement으로부터 기원한 MTA의 한 종류인 Endocem MTA는, MTA와 유사한 화학 조성을 유지하면서 빠른 경화 시간(약 4분)을 장점으로 지닌다¹⁸⁾. 예전 연구에서, Endocem MTA는 ProRoot MTA를 적용시 나타날 수 있는 치관부 변색이 나타나

지 않았으며²⁸⁾, 동시에 서로 유사한 상아질 접착 강도와 생체 적합성을 보여주었다^{17, 18)}. 보다 최근의 연구에서, Endocem MTA가 tunnel defect와 함께 ProRoot MTA에 비해 덜 연속적인 경조직 배리어를 나타내었다고 보고하기도 하였다²⁹⁾. 본 연구 결과, 적용한 두 가지 재료는 거의 유사한 과정과 예후를 보이는 것으로 추정된다. 단, Endocem의 경우는 술식 과정에서 환자 내원 횟수를 줄이는 장점이 차이가 있고 치료 후 성공률에 있어서의 차이는 통계학적으로 유의하지 않았다.

이번 연구 포함된 외상에 의한 치수 노출 치아는 4개 치아로, 모두 술후 통증은 나타나지 않았다. 아마도 외상 후 빠른 처치에 의한 치수의 염증 파급 정도가 미약하여 성공률이 높은 것으로 예상할 수 있다. 반면 이번 실험에서 치아 우식에 의해 치수가 노출된 3개의 치아에서 통증이 발생하였다. 임상적으로 치수의 염증 정도를 정확히 파악할 수 없으므로, 잔존하는 염증 치수에 의한 치수염의 발현이 치료 실패의 원인으로 예상된다. 우식으로 인한 치아 노출이 있을 때, 치수 염증의 정도를 평가하는 것이 생활치수치료에 필수적이다. 그러나, 임상적으로 정확하게 염증의 파급 범위를 측정해내기는 불가능 하며, 치수 제거 부위에서의 치수 출혈 정도로 치수의 상태를 평가하는 방법이 중요한 진단 도구로 사용되고 있다^{6, 24)}. 일반적으로, 지혈을 얻기 힘들 만큼의 다량의 출혈은 치수의 광범위한 염증을 나타내며 부분치수절단술의 비적응증으로 제기되고 있다²⁴⁾. 만약 지혈을 압박 10분 후에도 얻을 수 없다면, 염증 치수가 완전히 제거되지 않았거나, 치근부 치수의 감염을 의미할 수 있다³⁰⁾.

이번 임상 연구의 조건 내에서 비교 시험된 ProRoot MTA와 Endocem MTA는 부분치수절단술에 사용시 12주간의 추적검사에서 유의한 차이 없이 우수한 결과를 나타내었다. 즉, Endocem MTA를 이용한 부분치수절단술은 양호한 임상적 결과와 함께 경화 시간이 짧아 시행 당일 수복 치료가 가능하다

는 장점을 지닌다. 그러나, 본 실험은 단순 통증의 유무를 치수염의 진단기준으로 사용, 비교적 짧은 추적 검사 기간, 작은 표본수 등의 실험적 한계를 가진다.

따라서, 더 많은 외상 또는 치아 우식증에 의한 치수 노출이 일어난 표본수를 바탕으로 더 장기간의 임상적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Al-Hiyasat AS, Barrieshi-Nusair KM, Al-Omari MA. The radiographic outcomes of direct pulp-capping procedures performed by dental students: a retrospective study. *J Am Dent Assoc* 2006; 137(12): 1699-705.
2. Kroncke A. Treatment of deep carious lesions. *Int Dent J* 1970; 20(2): 338-43.
3. Levin LG, Law AS, Holland GR, Abbott PV, Roda RS. Identify and define all diagnostic terms for pulpal health and disease states. *J Endod* 2009; 35(12): 1645-57.
4. Seltzer S, Bender IB, Ziontz M. The dynamics of pulp inflammation: correlations between diagnostic data and actual histologic findings in the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963; 16: 846-71, 969-77.
5. Garfunkel A, Sela J, Ulmansky M. Dental pulp pathosis. Clinicopathologic correlations based on 109 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 35(1): 110-7.
6. Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H, Ebisu S. A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod* 1996; 22(10): 551-6.
7. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *J Endod* 2011; 37(5): 581-7.
8. Mejare I, Cvek M. Partial pulpotomy in young permanent teeth with deep carious lesions. *Endod Dent Traumatol* 1993; 9(6): 238-42.
9. Dummer PM, Hicks R, Huws D. Clinical signs and symptoms in pulp disease. *Int Endod J* 1980; 13(1): 27-35.
10. Bjørndal L. The caries process and its effect on the pulp: the science is changing and so is our understanding. *Pediatr Dent* 2008; 30(3): 192-6.
11. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF Jr. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod* 2014; 40(12): 1932-9.
12. Mente J, Hufnagel S, Leo M, et al. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: long-term results. *J Endod* 2014; 40(11): 1746-51.
13. Cox CF, S7bay RK, Ostro E, Suzuki S, Suzuki SH. Tunnel defects in dentin bridges: their formation following direct pulp capping. *Oper Dent* 1996; 21(1): 4-11.
14. Nair PN, Duncan HF, Pitt Ford TR, Luder HU. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *Int Endod*

참 고 문 헌

- J 2008; 41(2): 128-50.
15. Min KS, Park HJ, Lee SK, et al. Effect of mineral trioxide aggregate on dentin bridge formation and expression of dentin sialoprotein and heme oxygenase-1 in human dental pulp. *J Endod* 2008; 34(6): 666-70.
 16. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review - Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 2010; 36(3): 400-13.
 17. Park SJ, Heo SM, Hong SO, Hwang YC, Lee KW, Min KS. Odontogenic effect of a fast-setting pozzolan-based pulp capping material. *J Endod* 2014; 40(8): 1124-31.
 18. Choi Y, Park SJ, Lee SH, Hwang YC, Yu MK, Min KS. Biological effects and washout resistance of a newly developed fast-setting pozzolan cement. *J Endod* 2013; 39(4): 467-72.
 19. Cvek M. A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *J Endod* 1978; 4(8): 232-7.
 20. Ward J. Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations. *Aust Endod J* 2002; 28(1): 29-37.
 21. Gesi A, Hakeberg M, Warfvinge J, Bergenholtz G. Incidence of periapical lesions and clinical symptoms after pulpectomy--a clinical and radiographic evaluation of 1- versus 2-session treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101(3): 379-88.
 22. Caplan DJ, Cai J, Yin G, White BA. Root canal filled versus non-root canal filled teeth: a retrospective comparison of survival times. *J Public Health Dent* 2005; 65(2): 90-6.
 23. Ou KL, Chang CC, Chang WJ, Lin CT, Chang KJ, Huang HM. Effect of damping properties on fracture resistance of root filled premolar teeth: a dynamic finite element analysis. *Int Endod J* 2009; 42(8): 694-704.
 24. Mass E, Zilberman U. Clinical and radiographic evaluation of partial pulpotomy in carious exposure of permanent molars. *Pediatr Dent* 1993; 15(4): 257-9.
 25. Massler M. Pulp curettage: a review. *ASDC J Dent Child* 1959; 26: 154-215.
 26. Cvek M, Cleaton-Jones PE, Austin JC, Andreasen JO. Pulp reactions to exposure after experimental crown fractures or grinding in adult monkeys. *J Endod* 1982; 8(9): 391-7.
 27. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod* 2006; 32(6): 569-72.
 28. Jang JH, Kang M, Ahn S, et al. Tooth discoloration after the use of new pozzolan cement (Endocem) and mineral trioxide aggregate and the effects of internal bleaching. *J Endod* 2013; 39(12): 1598-602.
 29. Kang CM, Hwang J, Song JS, Lee JH, Choi HJ, Shin Y. Effects of three calcium silicate cements on inflammatory response and mineralization-inducing potentials in a dog pulpotomy model. *Materials* 2018; 11(6): E899.
 30. George B, Nicholas 11(6):E899. Pulp preservation in immature permanent teeth. *Endod Topics* 2012; 23(1): 131-52.