



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

유구치 치수절단술에서 사전혼합형  
규산칼슘 기반 바이오세라믹 재료에  
대한 무작위배정 임상 연구

연세대학교 대학원

치 의 학 과

주 영 서

유구치 치수절단술에서 사전혼합형  
규산칼슘 기반 바이오세라믹 재료에  
대한 무작위배정 임상 연구

지도교수 강 정 민

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2024 년 06 월

연세대학교 대학원

치 의 학 과

주 영 서

## 주영서의 석사 학위논문을 인준함

심사위원            송 제 선   
심사위원            이 제 호   
심사위원            강 정 민 

연세대학교 대학원

2024년 6월

## 감사의 글

이 논문이 나올 때까지 도와주신 모든 분들께 감사드립니다.

먼저 항상 애정과 관심 가져 주시고 지도해주신 강정민 교수님께 진심으로 감사드립니다.

또 논문을 심사해주시고 많은 가르침을 주신 이제호 교수님과 송제선 교수님께도 감사드립니다.

즐겁고 의미 있는 수련 생활을 할 수 있도록 항상 도움 주시고 응원해주신 의국 선후배들, 특히 사랑하는 동기들인 박상연, 한상규, 황승용 선생님에게 사랑과 감사의 마음을 전합니다. 마지막으로 언제나 저를 사랑으로 지켜주신 든든한 가족들에게 감사의 말을 드립니다.

# 차 례

그림 차례 .....	ii
표 차례 .....	iii
국문 요약 .....	iv
제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 연구 대상 및 방법 .....	2
2.1. 표본 크기 계산 .....	2
2.2. 연구 대상 .....	3
2.3. 무작위 배정 .....	4
2.4. 초기 변수 평가 .....	4
2.5. 임상 치료 과정 .....	8
2.6. 경과 관찰 .....	8
2.7. 통계 분석 .....	9
제 3 장 결과 .....	9
3.1. 임상 결과 .....	9
3.2. Cox 회귀 분석 .....	10
3.3. 다변량 생존 나무 모형 .....	19
제 4 장 고찰 .....	19
제 5 장 결론 .....	24
참고문헌 .....	25
영문 요약 .....	33

## 그림 차례

<Figure 1> Comparison of quantitative light-induced fluorescence scores according to caries lesion . . . . .	7
<Figure 2> Sample tooth flow chart of pulpotomy in primary molars with three calcium silicate-based cements . . . . .	11
<Figure 3> Kaplan-Meier survival curve of the major predictor variables .	17

## 표 차례

<Table 1> Calcium silicate-based cements used in the study: ProRoot mineral trioxide aggregate (MTA), Endocem MTA Premixed, and Well-Root PT . . . . .	6
< Table 2> Characteristics of the failed cases of pulpotomy using calcium silicate-based cements in primary molars (n = 21) . . . . .	12
< Table 3> Distribution of success and failure of pulpotomy in primary molars according to the predictor variables . . . . .	13

## 국 문 요 약

### 유구치 치수절단술에서 사전혼합형 규산칼슘 기반 바이오세라믹 재료에 대한 무작위배정 임상 연구

본 연구는 유구치 치수절단술에서 ProRoot MTA 와 비교하여 Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT 의 비열등성을 검증하고자 한다. 또한 유구치 치수절단술의 예후에 영향을 미치는 요인들을 판별하고자 한다.

본 임상 무작위 대조 연구는 52 명의 어린이들의 158 개의 유구치를 등록했다. 153 개의 치아를 최종적으로 포함하였고, ProRoot MTA (n = 50), Endocem MTA Premixed (n = 53), 그리고 Well-Root PT (n = 50) 세 가지 그룹으로 배정하였다. 술 후 3, 6, 12 개월과 연구기간 내 마지막 내원 시에 임상 및 방사선학적 추적 관찰이 수행되었다. 데이터는 Fisher's exact test, Cox 회귀 분석 및 Kaplan-Meier 생존 곡선 방법을 사용하여 분석되었다.

ProRoot MTA, Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT 의 성공률은 각각 92%, 84.9% 및 82%였으며, 누적 생존률은 재료 간에 유의미한 차이가 없었다. 조사된 변수 중에서는  $\Delta F$  와  $\Delta F$  max 만이 성공률에 유의하게 영향을 미쳤다. 다변량 생존 나무 모델에서  $\Delta F$  값이  $-14.4$  이하인 경우 통계적으로 유의하게 불리한 생존이 관찰되었다 (위험 비율, 7.56;  $P = 0.0295$ ).

Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT 의 사전 혼합형으로서의 임상적 효율성과 조작 편의성을 고려할 때, 소아 환자의 유구치 치수절단술에서 유리한 재료로 사용될 수 있을 것이다. QLF 방법은  $\Delta F$  값에 기초하여 유구치 치수절단술의 치료 계획을 수립하고 예후를 결정할 수 있는 유용한 진단 방법이다.

---

**핵심되는 말:** 규산칼슘 기반 시멘트, MTA, 치수절단술, 유구치, 정량 광 형광 분석법

## 1. 서론

치아우식증은 현대에 이르러 그 발병률이 감소하였다고 하나, 여전히 많은 소아 및 청소년의 주요 공중 보건 문제로 남아있다(Gimenez, et al., 2016; Iheozor-Ejiofor, et al., 2015; Kassebaum, et al., 2017). 정상 또는 가역성 치수염이 있는 유치의 우식 제거 중 또는 유치의 외상으로 인해 발생한 치수 노출은 치수절단술의 적응증에 포함된다(Stringhini Junior, et al., 2015). 치수절단술은 치수생활력을 유지하고 치수절제술의 필요성을 감소시켜 최소한의 개입을 통해 어린이의 삶의 질을 향상시킨다(Stringhini Junior, et al., 2019). 유치의 보존적 치수치료의 목표는 탈락 시기까지 유치를 유지하여 발음, 심미, 저작 기능을 보존하는 것이다(Ng and Messer, 2008).

치수절단술은 충치나 외상성 치수 노출이 있는 유치에 효과적이고 필수적인 치수 치료 방법이다. 치수절단술은 적절한 기술, 약제 사용, 충분한 치관부 밀봉을 통해 이환 된 치관부 치수를 제거하고 치근부 치수를 보존한다(Smail-Faugeron, et al., 2016; Tewari, et al., 2022). 치수절단술의 3 단계 과정은 다음과 같다; a) 비활성화: 감염된 생활 조직을 제거한다; b) 보존: 생활 조직의 최대량이 유지되고 상아질 회복이 유도되지 않도록 보장한다; c) 재생: 상아질 교량이 자극된다(Boutsiouki, et al., 2021; Elliott, et al., 1999). 치수절단술에서 가장 일반적으로 사용되는 약제는 Mineral trioxide aggregate(MTA)를 포함한 Calcium silicate-based cement(CSC), biodentine 및 formocresol 이다(Bossu, et al., 2020). 여러 체계적 문헌 고찰과 메타 분석에 따르면 CSC 는 유치 치수절단술에서 다른 재료에 비해 우수한 성능을 보이며, 약 88.8~100%의 높은 성공률을 나타낸다(Celik, et al., 2019; Chak, et al., 2022; Manohar, et al., 2022; RojaRamya, et al., 2022).

CSC 는 치수복조술, 치수절단술, 치근단재생술, 치근단형성술, 천공 복구, 근단 충전과 같은 치수 재생과 경조직 복구를 포함하여 근관 치료에 일반적으로 사용되며, 유치의 치수절단술에 있어 최적의 표준 재료이다(Bossu, et al., 2020; Dawood, et al., 2017; Parirokh and Torabinejad, 2010). 밀봉 능력과 생체적합성은 앞서 언급한 임상 상황들에서 CSC 가 선호되도록 하는 주요 요인이다(Ma, et al., 2011; Sarkar, et al., 2005; Wang, et al., 2012). ProRoot MTA(DENTSPLY Tulsa Dental, Tulsa, Oklahoma, United States of America (USA))는 미국 식품의약국(FDA)으로부터 치수절단술 제제로 승인된 최초의 상용 제품으로, 유치 치수절단술의 약제로서 그 유용성을 인정받아왔다(Cardoso-Silva, et al., 2011).

CSC 는 수산화 칼슘과 같은 다른 기존의 근관 치료용 약제에 비해 우수한 실험실적 및 임상적 성능을 보인다. 그러나 CSC 는 조작성이 좋지 않고, 경화시간이 길며, 독성 성분이 있고, 회수가 어렵고, 치아 변색이 발생하며, 비용이 높다는

한계점을 가진다(Bakland and Andreasen, 2012; Belobrov and Parashos, 2011; Lenherr, et al., 2012; Torabinejad, et al., 1995). 최근에는 Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, France), MTA Angelus (Angelus, Londrina, Brazil), RetroMTA (BioMTA, Seoul, Korea), Endocem MTA Premixed (Maruchi, Wonju, Korea), Well-Root PT (Vericom, Chuncheon, Korea)와 같은 제품들이 도입되며 상기 언급된 단점들을 일부 극복했다. 소아 치료에서는 특히 짧은 술식 시간의 구현이 매우 중요하여, 사전혼합형 CSC 는 조작성 향상 및 세팅 시간 단축을 통해 술식 시간을 단축시킬 수 있어 유치의 치수절단술에 유용하게 사용될 수 있다.

사전혼합형 CSC 의 효과에 대한 여러 연구에도 불구하고, Endocem MTA Premixed 와 Well-Root PT 의 임상적 성능과 성공률을 비교한 연구는 없다. 따라서 본 무작위 임상시험에서는 새로운 사전혼합형 CSC 인 Endocem MTA Premixed 와 Well-Root PT 를 이용한 유구치 치수절단술의 성공률을 기존에 널리 사용되던 ProRoot MTA 와 비교하여 조사하였다. 또한 술 전 검사를 통해 기록한 임상 변수 중 악궁의 위치, 치식, 우식의 특성 등 유구치 치수절단술의 예후에 영향을 미치는 변수가 있는지 조사하였다. 본 연구는 유구치 치수절단술을 위한 안전하고 효과적인 임상 재료를 찾기 위해 3 가지 CSC 의 임상적 유효성의 비열등성을 검증하고, 임상 재료로서 Endocem MTA Premixed 와 Well-Root PT 의 적합성을 평가하는 것을 목표로 한다. 또한 우식의 위치나 특성과 같은 임상적 변수를 고려하여 유구치 치수절단술의 예후에 유의한 영향을 미치는 요인을 조사하고자 하였다. 본 연구에서 검증하고자 하는 귀무가설은 다음과 같다: (1) 세 가지 CSC 의 임상적 및 방사선학적 성공률은 유사하지 않다. (2) 유구치 치수절단술의 예후는 임상 변수를 통해 예측될 수 없다.

## 2. 연구 대상 및 방법

본 연구의 임상 프로토콜은 연세대학교 치과대학병원 윤리위원회에 의해 승인되었다 (승인 번호: 2-2019-0038 및 2-2020-0078). 연구는 CONSORT Statement 2010 지침에 따라 수행되었으며, 환자 및 보호자의 동의 하 진행되었다. 임상 시험은 2021년 1월 4일에 대한민국 임상연구정보서비스 (CRIS)에 등록되었다 (<https://cris.nih.go.kr/>): KCT0005734.

### 2.1. 표본 크기 계산

본 연구에서는 두 시험군(Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT)에 대해 동일한 대조군(ProRoot MTA)을 공유하였다. 치아의 개수가 통계 단위로 사용되었으며, 비열등성 검정 연구의 치아 표본 크기를 위한 공식은 다음과 같다:

$$n = \frac{\left(z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta}\right)^2 \{P_A(1 - P_A) + P_r(1 - P_r)\}}{(P_A - P_r - \Delta)^2}$$

제 1 종 오류는 5, 검정력은 80%로 설정하였다. 대응되는 값은  $z_{(1-\alpha/2)} = z_{(1-0.05)} = 1.96$ ,  $z_{(1-\beta)} = z_{(1-0.20)} = 0.842$  이다.  $P_A$  는 대조군의 예상 성공률로, 이전 연구에 기초하여 대조군의 기대 성공률은 0.95 로 계산되었다(Kang, et al., 2015; Kim, et al., 2014; Mente, et al., 2010; Witherspoon, et al., 2006).  $P_r$  는 예상 시험군의 성공률을 뜻한다. 시험군에 대한 기존 연구자료는 없으며, 본 임상 연구팀은 시험군의 성공률을 약 98%로 추정하였다.  $\Delta$  는 비열등성 한계이며 일반적으로 대조군과 위약 간의 비교시험 결과에 따라 결정되나, 본 임상연구의 특성상 대조군과 위약 간의 비교 시험은 불가능하였다. 임상 성공률의 근거로 활용된 연구에서는 당시 '자주 사용되던 제품(수산화 칼슘)'과 비교했을 때 대조군에 비해 평균 성공률이 -20% 낮았다(Mente, et al., 2010). '자주 사용되던 제품(수산화 칼슘)' 결과를 위약 효과로 활용하면 대조군의 성공률은 90% 이상이다. -20%의 50~75%인 -15~-10%를 보수적으로 비열등성 한계로 설정하였다. 따라서 그룹 당 치아 샘플 수는 탈락률을 20%로 고려하여 50 개로 계산되었다.

## 2.2. 연구 대상

2021 년 1 월부터 12 월까지 연세대학교 치과대학병원을 내원한 환아 중 깊은 유구치 우식으로 치료 중 치수 노출 가능성이 있는 3~9 세(평균 5 세 1 개월) 아동 52 명을 대상으로 총 158 개 치아(제 1,2 유구치)를 대상으로 하였다. 본 연구에서는 치수 절단 후 5 분 이내에 지혈되는 경우를 대상으로 한정하였다. 다음과 같은 임상적 또는 방사선학적 징후와 증상이 있는 치아는 제외되었다. 임상적으로 자발통, 동요도, 타진반응, 누공, 치은 발적 및 종창이 있는 경우, 기성금속관 수복을 하기에 부적합한 경우, 1 년 이내에 탈락이 예상되는 생리적 치근 흡수가 있는 경우, 치수 및 치근 대사에 영향을 미치는 전신 질환(예: 인산결핍증 및 갑상선 기능 항진증 등) 환자의 경우, 교정 치료 중인 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 방사선학적으로 치근

내흡수나 외흡수, 치근단 또는 치근이개부의 골흡수가 관찰되는 경우 해당 치아는 제외하였다.

### 2.3. 연구 대상

본 연구는 무작위 배정을 통한 무작위 대조 단일 맹검(환자) 임상 시험이다. 총 52 명의 환자에서 158 개 치아를 대상으로 하였고, 한 환자 당 최소 1 개, 최대 7 개(평균  $3.16 \pm 1.80$ )의 치아가 포함되었다. 각 치아의 치수절단술에 사용된 재료는 난수표를 통해 지정되었다. 동일한 사분악에 위치한 서로 다른 치아는 난수표에 따라 동일하거나 다른 재료로 처리되었으며, 따라서 split mouth design은 사용되지 않았다. 대부분의 치료는 전신마취 또는 진정치료 하 시행되었기 때문에 한 번에 여러 개의 치아를 수복하였다. 임상가가 치수절단술의 적응증에 해당하는지 검토한 후, 임상 보조자는 난수표에 따라 158 개의 유구치(초기에 포함된 치아 163 개, 선별 실패로 인해 제외된 치아 5 개)에 대해 다음 CSC 재료 중 하나를 준비했다: ProRoot MTA( $n = 52$ , 32.9%), Endocem MTA Premixed( $n = 55$ , 34.8%) 또는 Well-Root PT( $n = 51$ , 32.3%). 본 연구에 사용된 세 가지 CSC의 구성은 Table 1에 나열되어 있다(Jang, 2022; Kang, et al., 2015).

### 2.4. 초기 변수 평가

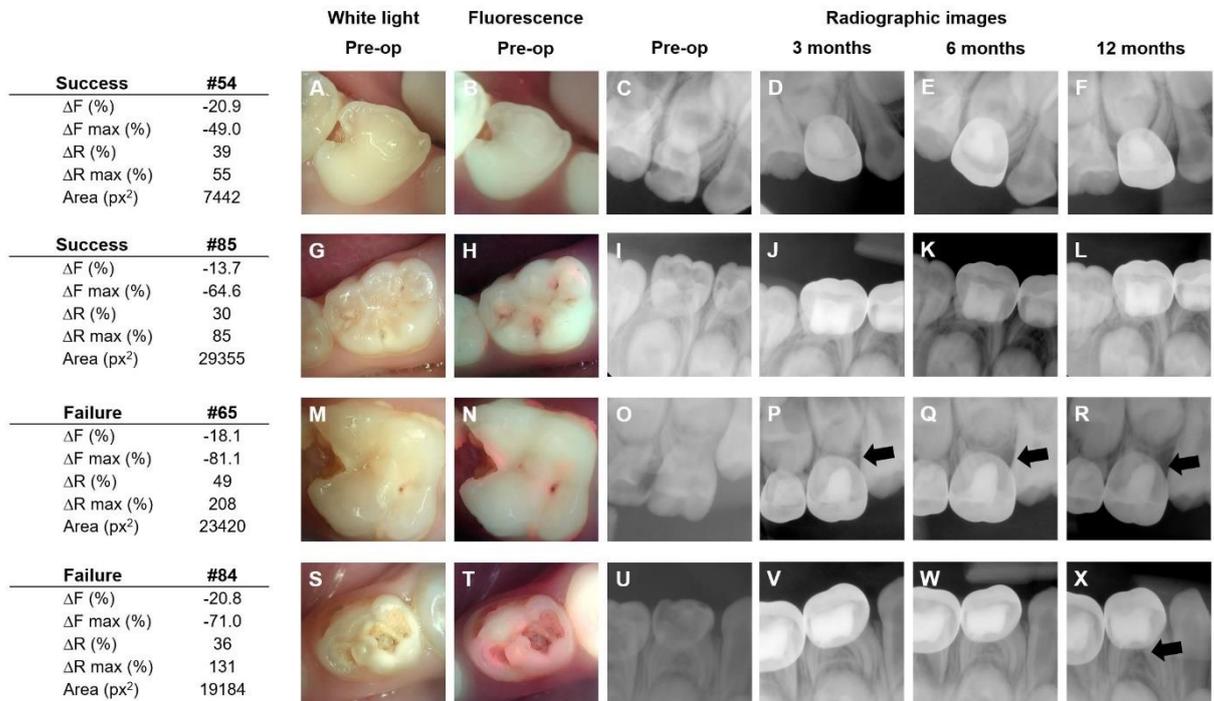
초진 의사와 주치의, 총 2명의 치과의사가 치근단 방사선 사진을 이용한 임상 및 방사선 검사를 포함하여 초진을 시행하였다. 치료계획은 주치의가 결정하였고, 치과의사 간 교정은 이루어지지 않았다. 평가된 초기 변수는 다음과 같다: CSC의 종류, 치식 및 치아의 종류, 악궁의 종류, 우식의 정도, International Caries Detection and Assessment System(ICDAS) 점수, 외동 형성 여부, 우식의 형태, 우식 범위(백악 법랑 경계를 기준으로 상하방), 이차 우식 여부, 지혈 소요 시간, 최종 수복 재료.

우식 진단을 위해 다른 임상적 요인과 함께 Qraypen C(AIOBIO, SEOUL, KOREA)를 이용하여 정량 광 형광 분석법(quantitative light fluorescence, QLF)을 사용하였다. QLF는 405nm 청색 가시광선을 조사할 때 치아 표면에서 반사되는 형광의 변화를 감지한다(Cho, 2022). QLF는 치아 우식의 진행과 우식 병변의 활성도를 동시에 측정할 수 있으며(Angmar-Mansson and ten Bosch, 2001; van der

Veen and de Josselin de Jong, 2000), 방사선 촬영처럼 육안으로는 확인하기 어려운 근위 우식 병변을 식별할 수 있다(Ekstrand, et al., 2011). QLF로 감지할 수 있는 형광 변화에는 형광 손실과 적색 형광 증가가 포함된다(Cho, 2022).  $\Delta F$ 로 표시되는 형광 손실은 치아의 미네랄 손실을 의미하며, 조직학적으로 이는 우식 병변의 깊이를 정확하게 반영한다(Jallad, et al., 2015; Kim, et al., 2013).  $\Delta F$  max는 우식 표면의 최대 형광 손실을 나타낸다.  $\Delta R$ 로 표현되는 적색 형광은 구강미생물의 대사산물 중 포르피린 유래 물질에서 방출되는 형광으로 우식병변, 치석, 치석 등 세균이 서식하는 부위에서 증가한다. 적색 형광은 최근 우식 병변의 활동과 관련이 있는 것으로 확인되었다(Felix Gomez, et al., 2016; Kim and Kim, 2017; Volgenant, et al., 2013).  $\Delta R$  max는 병변 부위의 적색 형광과 녹색 형광 비율의 최대 변화를 나타낸다. 여러 연구에서 QLF 방법은 상아질 우식과 법랑질에 대해 유효하고 신뢰성이 높은 진단 도구로 소개되었으며, 우식을 정량화된 값으로 평가하고 표현할 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다(Cho, 2022; Kim, et al., 2021). 백색광, 형광, 및 방사선 사진의 예와 정량적 광 형광 분석법을 통해 얻은 측정값은 Figure 1과 같다.

**Table 1.** Calcium silicate-based cements used in the study: ProRoot mineral trioxide aggregate (MTA), Endocem MTA Premixed, and Well-Root PT

Material	Composition, details	Manufacturer	Setting time
ProRoot MTA	Calcium oxide Silicon dioxide Bismuth oxide Aluminium oxide Magnesium oxide Sulphur trioxide Ferrous oxide	DENTSPLY Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA	5h 20min
Endocem MTA Premixed	Tricalcium silicate Dodecacalcium hepa-aluminate Dimethyl sulfoxide Hydroxypropyl methylcellulose Calcium sulfate Zirconium oxide Lithium carbonate Silicon dioxide	Maruchi, Wonju, Korea	Initial: 7min
Well-Root PT	Calcium aluminosilicate compound Zirconium oxide Filler Thickening agent	Vericom Co., Chuncheon, Korea	Initial: 5min Final: 45min



**Figure 1.** Comparison of quantitative light-induced fluorescence scores according to caries lesion.

Examples of white light images (A, G, M), fluorescence images (B, H, N), radiographic images (C-F, I-L, O-R), and quantitative light-induced fluorescence scores. Bone resorption shown in (Q, R) are indicated by black arrows.

## 2.5. 임상 치료 과정

연세대학교 치과대학병원 소아치과에서 임상경력 10 년 이상인 소아치과 교수 3 명이 진료를 진행했다. 국소마취(2% lidocaine with 1:80,000 epinephrine; Huons, Seongnam, Korea) 및 러버댐 격리 후 round carbide bur (no. 4, Prima Classic RA4, Prima Dental Group, Gloucester, UK)를 사용하여 우식 상아질을 완전히 제거했다. 기계적 치수 노출이 있는 치아에서는 high-speed water-cooled carbide bur 를 사용하여 치수관을 열고, low-speed round carbide bur 를 사용하여 치관부 치수를 제거했다. 치수관을 멸균 식염수로 세척하고, 멸균 식염수에 적신 면구를 적용하여 지혈을 유도하였다. 지혈이 성공적으로 이루어지면 제조업체의 권장사항에 따라 CSC 를 적용하였다. 이후 resin-modified glass ionomer cement (RMGIC; Riva Light Cure, SDI, Bayswater, VIC, Australia) 또는 glass ionomer cement (GIC; Ketac Molar Aplicap, 3M ESPE, Germany)로 코어를 수복하고, 최종수복물로서 기성금속관 (stainless steel crown, SSC; 3M ESPE, St. Paul, Minnesota, USA), prefabricated zirconia crowns (PZC; NuSmile Zr Zirconia®, Houston, Texas, USA), 또는 3D-printed resin crowns (3DRC; Tera Harz C&B 80DP, Graphy, Seoul, Korea, and Sprintray 3D printer, US)이 사용되었다.

## 2.6. 경과 관찰

임상 검사 및 치근단 방사선 촬영이 포함된 추적관찰을 술 후 3, 6, 12, 그리고 연구기간 내 마지막 내원일(평균 16.6 개월, 최대 22 개월)에 시행하였다. 유구치 치수절단술의 임상적 및 방사선학적 성공/실패는 이전 연구를 참고하여 확립되었다(Celik, et al., 2019; Kang, et al., 2015; Taha NA, 2022). 임상적 기준으로는 (1) 병적 동요도의 부재; (2) 자발통 또는 촉진/타진반응의 부재; (3) 치은 종창이나 누공의 부재 시 치수절단술의 임상적 성공으로 간주하였다. 방사선학적 기준은 (1) 치근 내흡수/외흡수의 부재; (2) 치근단/치근이개부의 방사선 투과성 또는 골흡수의 부재로 정하였다. 임상 또는 방사선학적 실패가 발생하면 술식의 실패로 간주하였다. 임상적 결과는 시진, 타진, 촉진 등을 통해 명확한 증상으로 표현될 때 술식을 시행한 주치의에 의해 평가되었다. 방사선학적 결과는 주치의를 제외한 두 명의 소아치과 의사에 의해 평가되었다. 각 평가자는 무작위로 주어진 환자 정보를 숨긴 치근단 방사선 사진을 평가하였고, 2 주 후에 동일한 과정을 한번 더 반복함으로써 평가자 내 신뢰도를 높였다. 이때 평가자 내 카파 상관계수 값은 각각 0.93, 0.98 이었으며, 재검사 중 상충되는 평가가 발생한 경우에는 2 차

평가 결과를 채택하였다. 각 평가자의 평가가 완료된 후, 두 평가자 사이의 평가자 간 카파 상관계수 값은 0.84 였다. 최종 실패는 두 평가자 간 합의를 통해 결정되었다.

## 2.7. 통계 분석

데이터 분석은 R version 4.0.0 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 사용하여 수행되었다. 예측변수에 따른 성공과 실패의 분포는 Fisher's exact test 를 이용한 기술분석으로 분석하였다. 단변량 분석과 다변량 분석을 실시하였고, 다변량 분석을 위해 임상적으로 중요하다고 판단되는 변수를 선택하였다. 치수절단술을 시행한 치아들의 생존률을 평가하고, Kaplan-Meier 곡선을 사용하여 설명하였다. 그룹 간의 유의미한 차이를 분석하기 위해 log-rank test 를 사용하고, Cox proportional hazards models 를 사용하여 위험 요인을 평가하였다. 위험 비율(hazard ratio, HR)과 95% 신뢰 구간(confidence interval, CI)을 계산하였으며, 통계적 유의성 수준은  $P < 0.05$  로 설정하였다.

## 3. 결과

### 3.1. 임상 결과

총 52명의 어린이(평균  $5.06 \pm 1.35$  세, 여자 16명, 남자 37명)에서 총 163개의 유구치가 선정되었으며, 이중 5개의 치아는 추적 관찰 기간이 12개월 미만으로 추정되어 연구 대상에서 제외되었다. 초기에 158개의 치아가 ProRoot MTA, Endocem MTA Premixed 및 Well Root PT 그룹에 각각 52개, 55개, 51개 배정되었다. 이후 경과관찰 불가에 따라 각각 6개, 8개, 5개 치아가 제외되었으며, 연구 기간이 종료되는 시점에 총 139개의 치아가 평가되었다. 전체 추적 관찰에 따른 사례 경과 보고는 Figure 2의 흐름도로 표시하였다.

각 실패 사례의 시기(개월)와 증상은 Table 2에 나열되어 있다. 치수절단술에 사용된 CSC에 따른 누적 임상 및 방사선학적 실패 결과는 다음과 같다. ProRoot MTA 그룹: 타진반응 1건, 치근 외흡수 3건; Endocem MTA Premixed 그룹: 누공, 타진반응 및 종창을 동반한 골흡수 및 치근 외흡수 1건, 종창 및 골흡수(이후 감소)

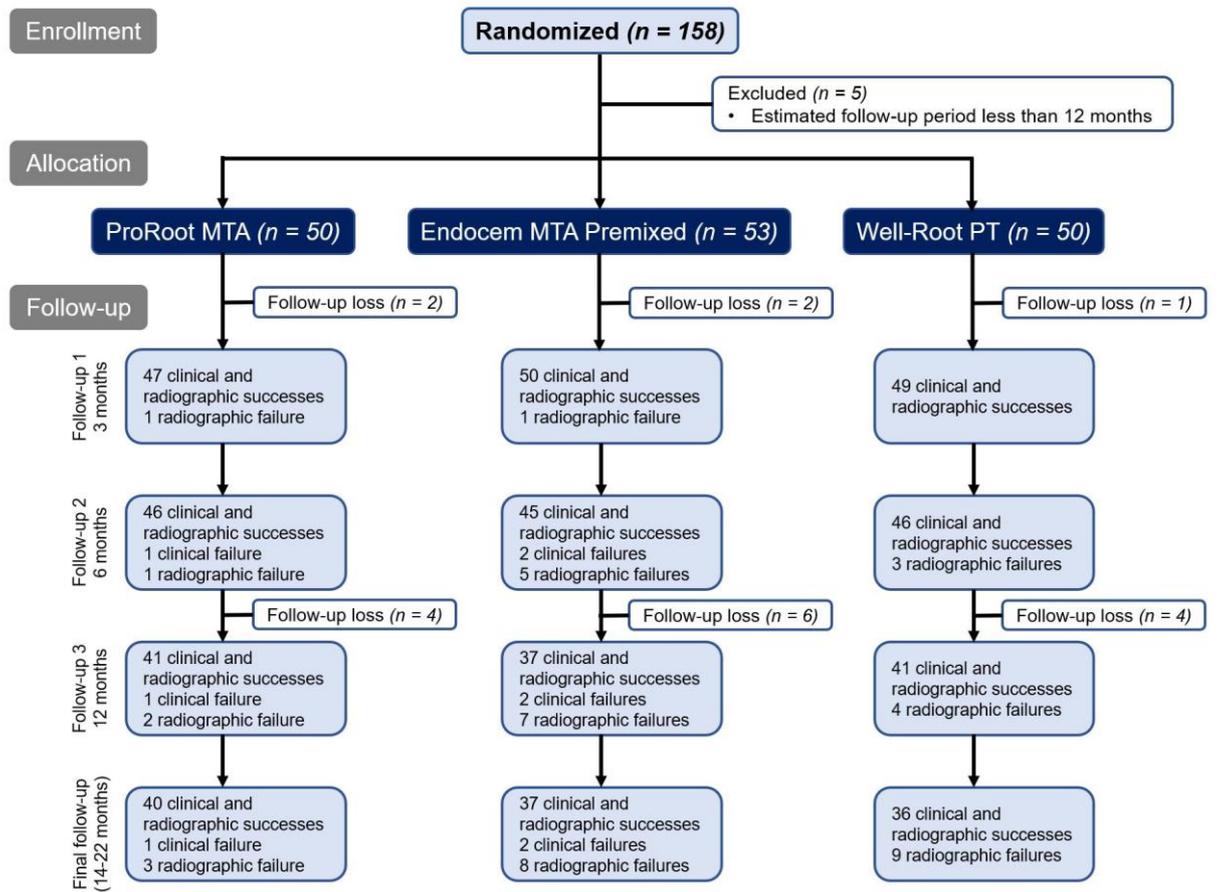
1 건, 골흡수 및 치근 외흡수 1 건; Well-Root PT 그룹: 골흡수 4 건, 골흡수 및 치근 외흡수 2 건, 치근 외흡수 2 건, 치근 외흡수 및 내흡수 1 건. 이후 증상이 사라지더라도 임상적 또는 방사선학적 증상이 있었던 경우에는 실패로 간주하였다.

ProRoot MTA, Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT 그룹의 총(임상 및 방사선학적) 성공률은 각각 92%, 84.9% 및 82%였다. Fisher's exact test 를 사용하여 계산한 3 가지 CSC 의 성공률 간의 차이는 유의하지 않았다( $P=0.3567$ ). Fisher's exact test 에서는 치수절단술의 성공률과 CSC 의 종류, 치식 및 치아의 종류, 약궁의 종류, 우식의 정도, ICDAS 점수, 와동 형성 여부, 우식의 형태, 우식 범위, 이차 우식 여부, 지혈 소요 시간 및 최종 수복 재료 간의 상관관계는 발견되지 않았다(모두  $P > 0.05$ , Table 3). 그러나  $\Delta F$  및  $\Delta F$  max 는 Fisher's exact test ( $\Delta F$  의 경우  $P = 0.0006$ ,  $\Delta F$  max 의 경우  $P = 0.0003$ , Table 3)를 기반으로 유구치 치수절단술에 대한 통계적 유의성을 보였다.

Table 3 의 표본 크기를 기준으로, 예측변수( $\Delta F$ ,  $\Delta F$  max, Group)에 따른 유구치 치수절단술의 성공 및 실패의 효과 크기는 1.23 이상(각각 1.13, 1.23, 1.67)이다. 이는 유의수준 알파 0.05 를 기준으로 하며, 검정력은 0.83 이상(각각 0.92, 0.83, 0.97)에 해당한다.

### 3.2. Cox 회귀 분석

Cox proportional hazard regression analysis(Table 3)에서 테스트된 3 개의 CSC 의 누적 성공률 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(ProRoot MTA 와 비교하여 Endocem MTA Premixed 의 경우  $P = 0.2009$ , Well-Root PT 의 경우  $P = 0.1726$ ). 통계 분석을 위한 QLF 지수의 컷오프 값은 receiver operating characteristic curve analysis 를 통해 결정되었다.  $\Delta F$  및  $\Delta F$  max 의 컷오프 값은 각각 -17 및 -46 이었다. 평가된 모든 초기 변수 중에서  $\Delta F$  및  $\Delta F$  max 만이 Cox regression analysis 에서 통계적 유의성을 보였다(각각  $P = 0.0114$  및  $P = 0.0470$ ).  $\Delta F$  가 -17 이하인 경우, -17 보다 큰 경우에 비해 시술 실패 확률이 6.31 배 높았다.  $\Delta F$  max 가 -46 이하인 경우 이 값이 46 보다 큰 경우에 비해 실패 확률이 4.72 배 높았다. 연구에서 사용된 세 가지 CSC 와 예후에 영향을 미칠 것으로 예상되는 주요 임상 요인에 대한 Kaplan-Meier 생존 곡선을 구성하였다(Figure 3).



**Figure 2.** Sample tooth flow chart of pulpotomy in primary molars with three calcium silicate-based cements

**Table 2.** Characteristics of the failed cases of pulpotomy using calcium silicate–based cements in primary molars (n = 21)

Case	Enrolled age*	Sex	Tooth	Material	Decision of failure	Age at completion <sup>†</sup>	Reason of failure
A	3Y 9M	M	64	ProRoot MTA	3 months	4Y	External root resorption
B	3Y 8M	F	54	ProRoot MTA	8 months	4Y 4M	Sensitivity to percussion
C	5Y 3M	M	65	ProRoot MTA	12 months	6Y 3M	External root resorption
D	6Y 9M	M	65	ProRoot MTA	18 months	8Y 3M	External root resorption
E	6Y 2M	M	64	Endocem MTA Premixed	3 months	6Y 5M	External root resorption
F	3Y 9M	M	54	Endocem MTA Premixed	6 months	4Y 3M	External root resorption
G	5Y 4M	M	65	Endocem MTA Premixed	6 months	5Y 10M	External root resorption
H	4Y 3M	M	84	Endocem MTA Premixed	6 months	4Y 9M	Swelling & Bone resorption
I	4Y 4M	M	54	Endocem MTA Premixed	12 months	5Y 4M	Bone resorption
J	3Y 9M	M	74	Endocem MTA Premixed	12 months	4Y 9M	Bone resorption
K	5Y 4M	M	55	Endocem MTA Premixed	12 months	6Y 4M	External root resorption
L	3Y 9M	M	85	Endocem MTA Premixed	21 months	5Y 6M	External root resorption
M	5Y	M	54	Well–Root PT	6 months	5Y	Bone resorption
N	6Y 2M	M	54	Well–Root PT	6 months	6Y 8M	External root resorption
O	5Y 8M	M	65	Well–Root PT	6 months	6Y 2M	Bone resorption & External root resorption
P	3Y 6M	M	64	Well–Root PT	12 months	4Y 6M	Bone resorption, External & Internal root resorption
Q	4Y	F	85	Well–Root PT	16 months	5Y 4M	Bone resorption
R	6Y 9M	M	64	Well–Root PT	18 months	8Y 3M	External root resorption
S	4Y 1M	F	84	Well–Root PT	18 months	8Y 7M	Bone resorption
T	3Y 6M	M	84	Well–Root PT	21 months	5Y 3M	Bone resorption
U	5Y 4M	M	85	Well–Root PT	21 months	7Y 1M	Bone resorption

\* Age at which the procedure was performed.

<sup>†</sup> Age at which the failure of pulpotomy was decided.

**Table 3.** Distribution of success and failure of pulpotomy in primary molars according to the predictor variables

Variable	Descriptive statistics			Total cox regression			
	Total	Success (N, %)	Failure (N, %)	P value <sup>a</sup>	HR	95% CI	P value
Type of CSC							
ProRoot MTA	50	46 (34.85)	4 (19.05)	0.3567	1.00		
Endocem MTA Premixed	53	45 (34.09)	8 (38.1)		2.18	0.66–7.23	0.2009
Well-Root PT	50	41 (31.06)	9 (42.86)		2.29	0.70–7.52	0.1726
Tooth number							
#54	22	17 (12.88)	5 (23.81)	0.2516	9.17	0.26–327.77	0.2248
#55	14	13 (9.85)	1 (4.76)		3.78	0.08–177.42	0.4979
#64	26	22 (16.67)	4 (19.05)		9.28	0.26–332.63	0.2225
#65	16	12 (9.09)	4 (19.05)		13.48	0.37–487.43	0.1554
#74	25	23 (17.42)	2 (9.52)		4.49	0.11–186.14	0.4296
#75	16	16 (12.12)	0 (0)		1.00		
#84	22	20 (15.15)	2 (9.52)		3.67	0.09–152.57	0.4947
#85	12	9 (6.82)	3 (14.29)		8.72	0.22–341.86	0.2473
Tooth type							
Primary first molar	95	82 (62.12)	13 (61.9)	1.0000	1.00	0.42–2.41	0.9999
Primary second molar	58	60 (37.88)	8 (38.1)		1.00		
Arch							
Upper	78	64 (48.48)	14 (66.67)	0.1594	1.94	0.79–4.80	0.1507
Lower	75	68 (51.52)	7 (33.33)				
Degree of caries							
Moderate	36	33 (25)	3 (14.29)	0.4082	1.00		
Severe	117	99 (75)	18 (85.71)		1.00	0.35–2.82	0.9999

**Table 3.** Distribution of success and failure of pulpotomy in primary molars according to the predictor variables (continued)

Variable	Descriptive statistics				Total cox regression		
	Total	Success (N, %)	Failure (N, %)	P value <sup>a</sup>	HR	95% CI	P value
ICDAS							
1-5	99	87 (65.91)	12 (57.14)	0.4667	1.00		
6	54	45 (34.09)	9 (42.86)		1.33	0.56-3.18	0.5202
Cavitation							
No	23	21 (15.91)	2 (9.52)	0.7420	1.00		
Yes	130	111 (84.09)	19 (90.48)		1.00	0.32-3.12	0.9999
Cavity form							
Class I	55	45 (34.09)	10 (47.62)	0.2333	1.56	0.66-3.69	0.3168
Class II	98	87 (65.91)	11 (52.38)				
Extent of caries							
Above CEJ	88	78 (59.09)	10 (47.62)	0.3498	1.00		
Below CEJ	65	54 (40.91)	11 (52.38)		1.53	0.64-3.62	0.3370
Secondary caries							
No	127	110 (83.33)	17 (80.95)	0.7587	1.00		
Yes	26	22 (16.67)	4 (19.05)		2.60	0.97-7.00	0.0583
Hemostasis time							
≤ 2.5 min	91	77 (58.78)	14 (66.67)	0.6331	1.46	0.58-3.72	0.4224
> 2.5 min	61	54 (41.22)	7 (33.33)		1.00		
Final restoration							
Stainless-steel crown	144	123 (93.18)	21 (100)	0.6981	1.00		
Prefabricated zirconia crown	2	2 (1.52)	0 (0)		2.04	0.11-37.41	0.6311
3-D printed resin crown	7	7 (5.3)	0 (0)		1.21	0.13-11.73	0.8685

**Table 3.** Distribution of success and failure of pulpotomy in primary molars according to the predictor variables (continued)

Variable	Descriptive statistics			Total cox regression			
	Total	Success (N, %)	Failure (N, %)	P value <sup>a</sup>	HR	95% CI	P value
$\Delta F^b$							
≤ -17	39	27 (33.75)	12 (85.71)	0.0006*	6.31	1.52–26.30	0.0114*
> -17	55	53 (66.25)	2 (14.29)		1.00		
$\Delta F \max^b$							
≤ -46	45	32 (40)	13 (92.86)	0.0003*	4.72	1.02–21.86	0.0470*
> -46	49	48 (60)	1 (7.14)		1.00		
$\Delta R^b$							
≤ 37	69	59 (73.75)	10 (71.43)	1.0000	1.00		
> 37	25	21 (26.25)	4 (28.57)		1.72	0.55–5.32	0.3488
$\Delta R \max^b$							
≤ 67.5	55	50 (62.5)	5 (35.71)	0.0798	1.00		
> 67.5	39	30 (37.5)	9 (64.29)		2.35	0.74–7.45	0.1472
Group <sup>c</sup>							
1 ( $\Delta F > -14.4$ )	44	44 (55)	0 (0)		1.00		
2 ( $\Delta F \leq -14.4$ )	50	36 (45)	14 (100)	< 0.0001*	7.56	1.22–46.68	0.0295*

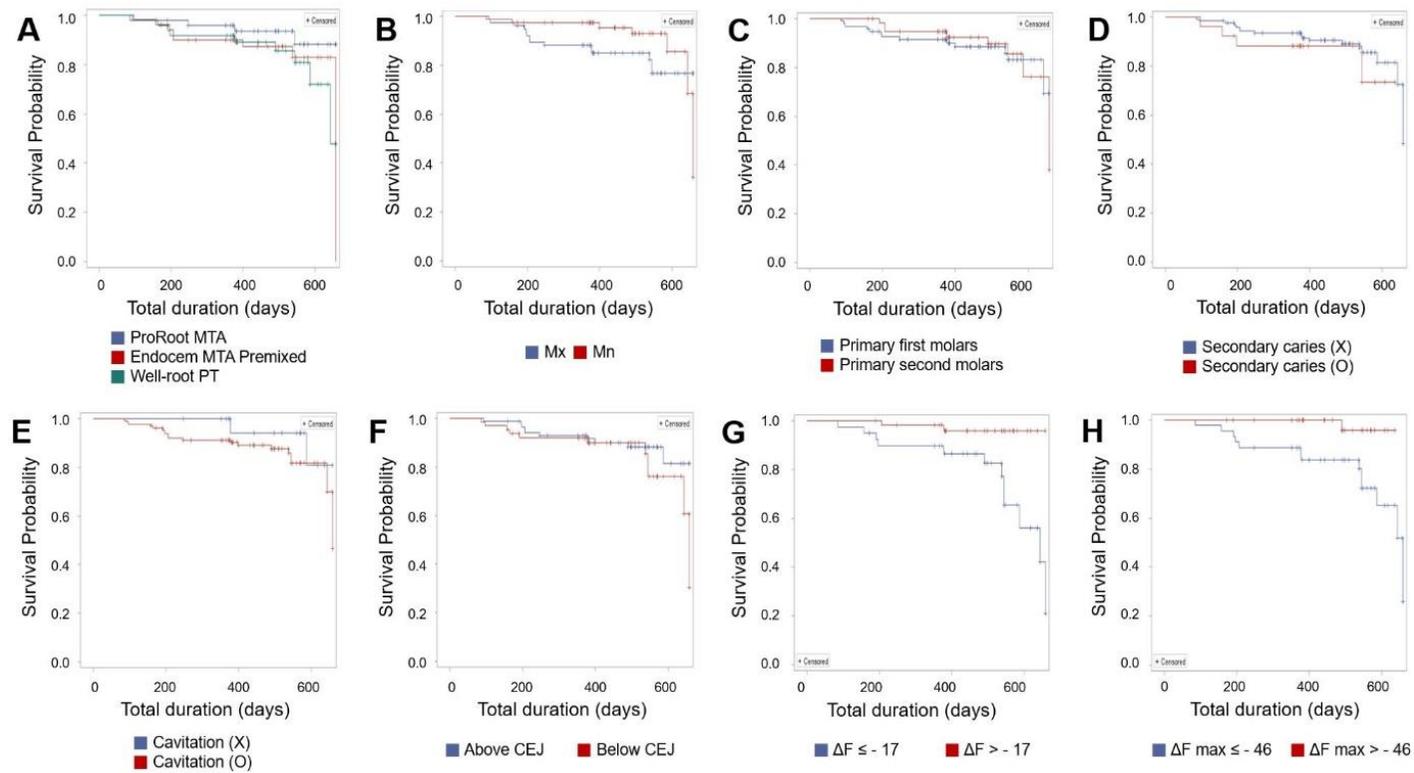
\* Statistical significance,  $P < 0.05$ .

<sup>a</sup> Fisher's exact test.

<sup>b</sup> Cut-off value was determined by receiver operating characteristic curve (ROC curve).

<sup>c</sup> Groups were divided according to a multivariate survival tree model.

*HR*, hazard ratio; *CI*, confidence interval; *CSC*, calcium silicate-based cement; *MTA*, mineral trioxide aggregate; *ICDAS*, International Caries Detection and Assessment System; *CEJ*, cemento-enamel junction



**Figure 3.** Kaplan–Meier survival curve of the major predictor variables

Kaplan–Meier survival curves were constructed for key clinical factors and quantitative light–induced fluorescence (QLF) index parameters. The horizontal axis represents the total duration of the follow–up period and the vertical axis represents the survival probability. A Calcium silicate–based cements: ProRoot mineral

trioxide aggregate (MTA), Endocem MTA Premixed, or Well-Root PT. B Arch type: Maxilla (Mx) or mandible (Mn). C Tooth type: primary first molar or primary second molar. D Presence of secondary caries. E Presence of cavitation. F Extent of cavity based on the cemento-enamel junction (CEJ). G  $\Delta F$  of the QLF index. When  $\Delta F$  was  $-17$  or less, the probability of failure of the procedure was 6.31 times higher than that of other cases. H  $\Delta F$  max of the QLF index. When  $\Delta F$  max was  $-46$  or less, the probability of failure was 4.72 times higher than that of other cases.

### 3.3. 다변량 생존 나무 모형

CSC 의 종류, 치아의 종류, 악궁의 종류, 우식의 정도, 우식의 형태, 이차 우식 여부, QLF 지수( $\Delta F$ ,  $\Delta F$  max,  $\Delta R$ ,  $\Delta R$  max 및 area) 등 주요 연구 변수를 다변량 나무 모형을 사용하여 분석했다. 이 예후 예측 모델에서 컷오프 값이 있는 유일한 유의 변수는  $\Delta F$  값  $-14.4$  였으며, 다른 초기 변수는 유의미하지 않았다.  $\Delta F$  가  $-14.4$  보다 큰 경우를 그룹 1,  $\Delta F$  가  $-14.4$  이하인 경우를 그룹 2 로 분류하고 두 그룹의 통계 분석을 수행하였다(Figure 4). Fisher's exact test 를 사용한 기술통계에서는 그룹 1 과 그룹 2 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $P < 0.0001$ ; Table 3).  $\Delta F$  가  $-14.4$  이하일 때 통계적으로 유의한 실패율이 관찰되었고,  $\Delta F$  가  $-14.4$  보다 큰 경우 연구 기간 내에 100% 성공률이 관찰되었다( $P = 0.0295$ ; Figure 4 및 Table 3). HR 은 7.56 이었다. 따라서  $\Delta F$  가  $-14.4$  이하일 때, 유구치 치수절단술의 실패 확률은  $\Delta F$  가  $-14.4$  보다 클 때보다 7.56 배 높았다.

## 4. 고찰

첫 번째 귀무가설은 세 가지 CSC 의 임상적 및 방사선학적 성공률은 유사하지 않다는 것이며, 이 가설은 기각되었다. 검증 결과, 유구치 치수절단술에서 3 가지 CSC 의 성공률 사이에는 통계적 유의성이 관찰되지 않았다. 따라서 Endocem MTA Premix 와 Well-Root PT 는 기존 ProRoot MTA 에 비열등한 것으로 나타났다.

두 번째 귀무가설은 유구치 치수절단술의 예후는 임상변수를 통해 예측할 수 없다는 것이며, 이 가설은 기각되었다. 술 전 평가된 임상 변수 중 QLF 방법의  $\Delta F$  값은 우식의 깊이를 나타낸다. 우식이 특정 수준( $\Delta F$  가  $-14.4$  이하)보다 깊을 경우, 치수절단술 실패 확률은 다른 경우에 비해 7.56 배 증가하였다.

본 연구에서 관찰된 치수절단술의 성공률은 ProRoot MTA, Endocem MTA Premixed 및 Well Root PT 에서 각각 92%, 84.9%, 82%였다. 이러한 결과는 다른 문헌에서 보고된 결과들을 확증한다(Celik, et al., 2019; Chak, et al., 2022; Kang, et al., 2015; Kim, et al., 2014; Manohar, et al., 2022; Mente, et al., 2010; RojaRamya, et al., 2022; Witherspoon, et al., 2006). 이전 연구에 따르면 CSC 는 치수절단술에서 탁월한 성공률을 나타냈다. 24 개월 간의 후속 연구에서 ProRoot MTA 와

Biodentine 은 각각 100%와 89.4%의 성공률을 보였다(Celik, et al., 2019). MTA Angelus 는 24 개월과 12 개월 추적 연구에서 각각 93.1%와 93%의 성공률을 보였다(Chak, et al., 2022; RojaRamya, et al., 2022). 또 다른 24 개월 후속 연구에서는 Biodentine, MTA Plus, RetroMTA 가 각각 92.6, 92.6, 88.8%의 성공률을 보였다(Manohar, et al., 2022). 본 연구에서도 유사하게 높은 성공률이 나타났으며, 3 가지 CSC 재료에 따른 유구치의 치수절단술 결과 간에는 큰 차이가 없었다.

In vitro 실험을 포함한 최근 연구에 따르면 Endocem MTA Premixed 와 Well-Root PT 는 알칼리성 pH 를 가지며 경화 후 용해도가 낮고 이온 방출 능력이 높은 것으로 나타났다(Jang, 2022). Endocem MTA Premixed 는 우수한 생체적합성, 높은 체적 안정성, 밀봉력 및 골 유도능을 나타내는 단일 페이스트 치과용 수경재료, 안정적인 수화반응과 빠른 경화시간이 장점이다. Well-Root PT 는 뛰어난 생체적합성, 높은 pH, 항균효과, 우수한 압축강도를 특징으로 하는 퍼티 형태의 사전혼합형 CSC 이다(Ashi, et al., 2022). 기존 MTA 의 단점 중 하나인 변색을 개선하였으며, 추가적으로 미세누출에 대하여 다른 MTA 또는 CSC 와 비교하여 상대적으로 작은 것으로 보고되었다(Back, 2021). 기존 연구에 따르면 상기 설명한 사전혼합형 CSC 들은 MTA(이전에는 치수절단술의 최적 표준 재료로 간주됨)와 비교하여 유사하거나 우수한 물리적, 화학적 특성을 가지고 있음이 입증되었다. 사전혼합된 시린지형 제품은 편리한 임상 사용자 맞춤 설정과 치료 시간 단축을 가능하게 하였다. 다른 CSC 의 긴 조작 시간은 완전히 경화될 때까지 조직액의 영향을 받을 수 있기 때문에 임상 사용이 제한될 수 있다(Camilleri, et al., 2005). 그러나 사전혼합형 제품은 미리 혼합되어 있으므로 혼합시간이 필요하지 않으며 용해도와 압축강도가 향상된다는 장점이 있다(Back, et al., 2023). 협조도가 저조한 환자가 많은 소아치과의 특성 상, 술식 시간을 단축하여 술식 중 위험 요소 및 환자의 파괴적인 행동 가능성을 감소시키는 것이 중요하다. 기존 in vitro 연구에서 보고된 물리화학적 특성과 이번 연구에서 유구치의 치수절단술 성공률을 종합하면, 새로운 사전혼합형 CSC 인 Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT 의 임상적 유용성이 강조된다.

치수절단술의 예후에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 이전 연구에서는 와동 형태와 최종 수복 시기가 실패율에 영향을 미친다고 보고하였다(Guelmann, et al., 2004; Kang, et al., 2015; Sonmez and Duruturk, 2010). 치수절단술에서 가장 중요한 관심사는 치수와 최종 수복물을 덮고 있는 약물의 변연 누출을 방지하기 위해 완벽한 밀봉을 달성하는 것이며, 수복의 질은 치료 결과에 중요한 역할을 한다(Demarco, et al., 2005). 본 연구에서는 RMGIC(Riva Light Cure, SDI, Bayswater, VIC, Australia)와 GIC(Ketac Molar Aplicap, 3M ESPE, Germany)의 두 가지 유형의 이장재를 사용했다. 선행 연구에 따르면, 독성 정도, CSC 경화 반응 및 치수절단술 후 미세경도 품질 측면에서 이장재 간 유효한 차이는 없었다(Ersahan,

et al., 2020; Pham, et al., 2019). 따라서 RMGIC 와 GIC 의 혼합사용은 치수치료의 예후에 아무런 영향을 미치지 않았을 것으로 사료되며, 환자의 협조도와 보호자의 경제적 상황을 고려하여 재료를 선택하였다. 최종 수복에는 SSC, PZC, 3DRC 세 가지 유형의 크라운이 사용되었다. 이전 연구에 따르면 기성금속관보다 직접 충전식 수복에서 치수절단술의 실패 확률이 더 높았으며(Guelmann, et al., 2005; Kim, et al., 2021), 크라운 간에는 밀봉 능력 및 치수절단술의 예후에 미치는 영향에서 큰 차이가 없었다(Shedeed, et al., 2023). 본 연구에서는 최종 수복물로서 직접 충전이 아닌 크라운만을 사용하였으며, 1-visit 으로 치료 당일 치수절단술과 상부 크라운 수복을 한 번에 완료하였다. 크라운은 직접 충전보다 수복물 수명이 길고 치관부 밀봉력이 우수하며, 1-visit 치료를 통해 치수절단술과 최종수복 사이에 발생할 수 있는 미세누출을 최소화하였다. 이러한 치료 방식은 결과의 높은 성공률에 기여했을 수 있다.

술식 중 사례의 적격성 판별을 위해 치관부 조직 제거 후 지혈까지 5 분의 시간을 기준으로 적용하였다. 5 분 이내에 지혈이 되지 않는 경우에는 염증이 치관에 국한되지 않고 근관까지 확장된 경우일 수 있어 연구 대상에서 제외하고 치수절제술로 전환하였다. Wolters 분류에 따르면 출혈 증가는 심각한 염증을 나타내며(Wolters, et al., 2017), 지혈에 필요한 시간은 치수의 염증 정도를 나타내는 지표로 사용되었다(Matsuo, et al., 1996). 미국소아치과학회(American Academy of Pediatric Dentistry)에 따르면 치관부 조직을 절단한 후 수 분 이내에 면구로 지혈이 완료되어야 치수절단술의 적응증으로 간주한다(The Reference Manual of Pediatric Dentistry: Pediatric restorative dentistry, 2022). 최근 연구에서는 지혈 시간은 치료 결과에 영향을 주지 않으며(Linsuwanont, et al., 2017; Mutluay, et al., 2018), 1~25 분 사이의 지혈 시간이 치수절단술에서 성공적인 결과를 보인다고 보고하였다(Bogen, et al., 2008). 즉, 즉각적인 지혈이 성공적인 치수절단술 결과를 결정하는 요인은 아니다(Asgary and Parhizkar, 2021; Mutluay, et al., 2018; Philip and Suneja, 2022). 따라서 본 연구에서는 치수절단술의 적응증 기준 중 하나인 지혈 시간을 치료 결과나 재료의 열등성에 영향을 미치는 요인이 아닌 치수 상태 진단에 사용하였다.

교합면 노출보다 인접면 노출 시에 오염물질로부터의 격리가 더 어려우며, 이는 제 2 급 와동 형태에서의 낮은 성공률로 이어진다. 또한 제 2 유구치에 비해 짧고 상대적으로 제한된 임상 치관을 갖는 제 1 유구치의 해부학적 특징은 제 1 유구치의 실패율을 높이는 요인이다(Casamassimo PS, 2013; Kang, et al., 2015). 그러나 본 연구에서는 치식 및 치아의 종류, 악궁의 종류, 우식의 정도, ICDAS 점수, 와동 형성 여부, 우식의 형태, 우식 범위(백악 법랑 경계 기준), 이차 우식 여부, 지혈 소요 시간, 및 최종 수복 재료는 유구치 치수절단술의 예후에 영향을 미치지 않았다.

본 연구에서는 미네랄 손실과 우식을 검출하고 정량적으로 표현할 수 있는 QLF 방법(Alammari, et al., 2013; Kim, et al., 2022; Zantner, et al., 2006)을 초기 매개변수 평가에 포함했다. QLF 지수는 초기 미네랄 손실 관리 및 우식에 대한 회복 중재와 관련하여 임상 진단 및 의사 결정을 돕는다(Alammari, et al., 2013). 유치의 치아 우식 검출에 있어서 QLF의 진단 유효성에 관한 연구에 따르면, QLF를 이용한 유치의 우식 검출은 임상검사를 통한 ICDAS 평가, 방사선학적 평가를 통한 International Caries Classification and Management System(ICCMS) 등 기존의 다른 진단법과 유사하거나 약간 더 높은 것으로 나타났다(Kim, et al., 2022). QLF 방법은 우식 병변을 정량적으로 분석할 뿐만 아니라 시각적 이미지도 제공한다. 그러므로 임상 술식에서 보다 효과적으로 사용될 수 있다(Kim, et al., 2022). 본 연구에서는 치과용 광증합기와 유사한 형태로, 구강 카메라처럼 작동하는 휴대용 QLF 장치인 Qraypen C(AIOBIO, Seoul, Korea)를 이용하여 QLF 지수를 측정하였다. 장치의 LED 빛(405nm)이 치아 표면에 떨어지면, 산란된 빛이 특수 이중 필터를 통해 감지되어 형광 이미지를 생성한다(Cho, et al., 2021). QLF 기술은 육안 검사와 유사하게 치아 우식의 진행과 우식 병변의 활동을 동시에 측정할 수 있다. 또한 방사선 검사와 유사하게 육안으로 쉽게 보이지 않는 인접면 우식 병변도 확인할 수 있다(Ekstrand, et al., 2011; Kim, et al., 2013; van der Veen and de Josselin de Jong, 2000). 각 QLF 지수에 대해  $\Delta F$ (형광 소실)은 교합면 우식을 검출하는 데 유용하고,  $\Delta R$ (적색 형광)은 인접면 우식을 검출하는 데 유용하다고 제안되었다(Kim, et al., 2022).  $\Delta F$ 로 표현되는 형광의 상실은 치아 내 미네랄의 상실을 의미하며, 우식병변의 조직학적 깊이를 정확하게 반영하는 것으로 확인되었다(Jallad, et al., 2015; Kim, et al., 2013).  $\Delta F$  값은 음수로 표시되며,  $\Delta F$ 의 절대값이 클수록 우식의 깊이가 깊다.  $\Delta R$ 로 표현되는 적색 형광은 구강미생물의 대사산물 중 포르피린 유래 물질에서 방출되는 형광으로 우식 병변, 치태, 치석 등 세균이 서식하는 부위에서 증가한다. 최근 연구에서는 적색 형광이 우식 병변의 활성화와 관련이 있음이 확인되었다(Felix Gomez, et al., 2016; Kim, et al., 2022; Kim and Kim, 2017).  $\Delta R$  값이 높을수록 우식 활동이 높음을 의미한다.

QLF에 대한 연구에서 ROC 곡선을 사용하여 계산된  $\Delta F$  및  $\Delta R$ 의 컷오프 값은 교합면 우식의 경우 -11.65 및 27.50 이었고, 인접면 우식의 경우 -9.40 및 21.50 이었다.  $\Delta F$ 는  $\Delta R$ 보다 전체 민감도와 특이도가 더 높았다(Kim, et al., 2022). 또 다른 연구에서는  $\Delta F$ 와  $\Delta R$ 의 컷오프 값으로 중등도에서 심각한 교합면 우식의 경우 각각 -16.52와 39.27, 중등도에서 심각한 인접면 우식의 경우 각각 -18.78과 39.83를 제시하였다(Cho, 2022). 본 연구의 컷오프 값(단변량 분석에서는  $\Delta F = -$

17,  $\Delta R = -46$ , 다변량 분석에서는  $\Delta F = -14.4$ )은 이전 연구와 유사하며, 우식이 깊을수록 예후가 좋지 않음을 시사한다. 본 연구에서 유구치 치수절단술의 성공률이나 생존율에 영향을 미치는 유일한 변수는  $\Delta F$  또는  $\Delta F_{max}$  였다. 다변량 생존 나무 모형에 따르면, Cox 회귀분석과 Kaplan-Meier 생존분석은  $\Delta F$  가  $-14.4$  이하일 때 통계적 유의성을 보였다. 즉, 병변의 깊이가 깊을수록 유구치 치수절단술의 실패 확률이 높아진다. 따라서 QLF 분석값인  $\Delta F$  는 임상 현장에서 치수절단술 전 성공률이나 생존율을 예측하는 지표로 활용될 수 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 평균 추적 기간은 16.6 개월(최대 22 개월)로 장기적 영향을 미치는 유의미한 요인을 식별할 수 없었다. 또한 실패 사례가 적음, 상대적으로 단기간의 연구였기 때문에 유구치 치수절단술의 예후에 영향을 미치는 요인을 명확하게 파악하기 어려웠다. 연구 결과는 3 개의 CSC 를 치수절단술 재료로 사용하는 것에 동의하였으나, Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT 의 사용을 정당화하려면 더 큰 샘플과 더 긴 추적 기간에 대한 더 많은 연구가 필요할 것이다. 그러나 다른 연구에 따르면 대부분의 실패 징후는 치수절단술 후 12 개월 이내에 나타나며, 성공/실패율은 18~24 개월 동안 안정적인 것으로 보고되었다(Kang, et al., 2015; Lin, et al., 2014). 따라서 본 연구의 추적 관찰 기간은 임상적 유의성을 확인하는데 적절한 것으로 판단된다. 또한 통계적으로 유의미한 결과는 없었으나 다양한 코어 및 최종 수복 재료가 사용되었으며, 소아 환자를 대상으로 한 타진이나 통증을 평가하는 것은 신뢰하기 어렵다. 따라서 이러한 변수로 인한 부정확성이 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있으나, 그 영향은 미미할 것으로 예상된다. 3 가지 CSC 그룹에 약 50 개씩의 치아가 배정되었을 때, 와동 형성 여부, 이차 우식 여부, 최종 수복 재료 항목은 표본 수가 30 개 미만으로 적고, 샘플 간 차이가 큰 변수였다. 이때 와동 형성 여부와 이차 우식 여부는 임상적으로 제어가능한 변수가 아니다. 본 연구 결과에서는 통계적 유의성이 관찰되지 않았으나, 표본 규모가 더 큰 후속 연구에서는 다른 결과가 나타날 수 있을 것이다. 최종 수복의 경우 특별한 심미적 요구가 있는 경우에는 지르코니아 크라운이나 3D 레진 크라운을 사용하였고, 대부분의 경우 기성금속관을 사용하였다. 세 가지 유형의 크라운 모두 우수한 밀봉 능력을 가지고 있어, 결과에 유의한 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다. 이러한 표본 크기의 부족은 본 논문의 한계 중 하나이며, 보다 정확한 결과를 얻으려면 더 큰 표본 크기를 대상으로 한 연구가 수행되어야 할 것이다. 마지막으로, 임상적 실패의 판단을 주치의 단독으로 결정하였다는 한계가 있다. 그러나 방사선학적 실패를 결정할 때는 두 명의 평가자가 참여하였으며, 평가자 내/평가자 간 신뢰성이 최대화되었다. 시기에는 차이가 있었지만 모든 임상적 실패는 방사선학적 실패를 동반하였고, 두 결과 사이의 상관관계를 확인할 수 있었다.

본 연구는 유구치 치수절단술에서 사전 혼합된 CSC 재료 간의 성공률을 비교한 최초의 연구라는 점에서 의미가 있다. 연구된 세 가지 유형의 CSC 는 모두 유사하고 높은 성공률을 보여주었으며, 연구 결과는 새로운 사전 혼합 CSC (Endocem MTA Premixed 및 Well-Root PT)가 치수절단술의 새로운 제제로 사용하기에 적합하다는 것을 시사한다. 또한, 본 연구는 유구치의 치수절단술을 보조하기 위한 QLF 분석의 활용을 입증했으며, QLF 지수, 특히  $\Delta F$  지수가 유구치의 치수절단술의 예후를 예측하는 효과적인 정량적 지표로 사용될 수 있음을 보여주었다.

## 5. 결론

유구치 치수절단술에서 ProRoot MTA 와 비교하여 Endocem MTA Premixed 와 Well-Root PT 의 비열등성이 검증되었다. 사전혼합형의 뛰어난 조작성과 짧은 경화 시간은 임상 술식 시간을 효과적으로 단축시킬 수 있어 소아 환자 치료 시 유리하다. QLF 방법의  $\Delta F$  를 바탕으로 정량적인 값을 이용하여 유구치 치수절단술의 예후를 예측할 수 있다. QLF 진단 기법은 치수 치료에 대한 치료 계획을 수립하고 예후를 개선하는 데 유용한 도구이다.

## 참고 문헌

- Alammari MR, Smith PW, de Josselin de Jong E, Higham SM: Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a tool for early occlusal dental caries detection and supporting decision making in vivo. *J Dent* 41(2): 127-132, 2013.
- Angmar-Mansson B, ten Bosch JJ: Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a method for assessment of incipient caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 30(6): 298-307, 2001.
- Asgary S, Parhizkar A: Importance of 'Time' on 'Haemostasis' in Vital Pulp Therapy - Letter to the Editor. *Eur Endod J* 6(1): 128-129, 2021.
- Ashi T, Mancino D, Hardan L, Bourgi R, Zghal J, Macaluso V, et al.: Physicochemical and Antibacterial Properties of Bioactive Retrograde Filling Materials. *Bioengineering (Basel)* 9(11), 2022.
- Back J: Comparison of Microleakage and Compressive Strength of Different Base Materials. *J Korean Acad Pediatr Dent*. 48(2): 168-175, 2021.
- Bakland LK, Andreasen JO: Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dent Traumatol* 28(1): 25-32, 2012.
- Belobrov I, Parashos P: Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 37(7): 1017-1020, 2011.
- Bogen G, Kim JS, Bakland LK: Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. *J Am Dent Assoc* 139(3): 305-315; quiz 305-315, 2008.
- Bossu M, Iaculli F, Di Giorgio G, Salucci A, Polimeni A, Di Carlo S: Different Pulp Dressing Materials for the Pulpotomy of Primary Teeth: A Systematic

- Review of the Literature. *J Clin Med* 9(3), 2020.
- Boutsiouki C, Frankenberger R, Kramer N: Clinical and radiographic success of (partial) pulpotomy and pulpectomy in primary teeth: A systematic review. *Eur J Paediatr Dent* 22(4): 273–285, 2021.
- Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR: The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 38(11): 834–842, 2005.
- Cardoso–Silva C, Barberia E, Maroto M, Garcia–Godoy F: Clinical study of Mineral Trioxide Aggregate in primary molars. Comparison between Grey and White MTA – a long term follow–up (84 months). *J Dent* 39(2): 187–193, 2011.
- Casamassimo PS FHJ, McTigue DJ, Nowak A: *Pediatr dent: infancy through adolescence*. 2013.
- Celik BN, Mutluay MS, Arikan V, Sari S: The evaluation of MTA and Biodentine as a pulpotomy materials for carious exposures in primary teeth. *Clin Oral Investig* 23(2): 661–666, 2019.
- Chak RK, Singh RK, Mutyala J, Killi NK: Clinical Radiographic Evaluation of 3Mixtatin and MTA in Primary Teeth Pulpotomies: A Randomized Controlled. *Int J Clin Pediatr Dent* 15(Suppl 1): S80–S86, 2022.
- Cho KH, Kang CM, Jung HI, Lee HS, Lee K, Lee TY, et al.: The diagnostic efficacy of quantitative light–induced fluorescence in detection of dental caries of primary teeth. *J Dent* 115: 103845, 2021.
- Cho KH, Kang, C. M., Jung, H. I., Lee, T. Y., & Song, J. S.: Assessment of the Caries Detection Ability of Quantitative Light–induced Fluorescence (QLF) in Primary Teeth in vitro. *JOURNAL OF THE KOREAN ACADEMY OF PEDIATRIC DENTISTRY* 49(1): 65–75, 2022.
- Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ: Calcium silicate–based cements: composition, properties, and clinical applications. *J*

*Investig Clin Dent* 8(2), 2017.

- Demarco FF, Rosa MS, Tarquinio SB, Piva E: Influence of the restoration quality on the success of pulpotomy treatment: a preliminary retrospective study. *J Appl Oral Sci* 13(1): 72–77, 2005.
- Ekstrand KR, Luna LE, Promisiero L, Cortes A, Cuevas S, Reyes JF, et al.: The reliability and accuracy of two methods for proximal caries detection and depth on directly visible proximal surfaces: an in vitro study. *Caries Res* 45(2): 93–99, 2011.
- Elliott RD, Roberts MW, Burkes J, Phillips C: Evaluation of the carbon dioxide laser on vital human primary pulp tissue. *Pediatr Dent* 21(6): 327–331, 1999.
- Ersahan S, Oktay EA, Sabuncuoglu FA, Karaoglanoglu S, Aydin N, Suloglu AK: Evaluation of the cytotoxicity of contemporary glass–ionomer cements on mouse fibroblasts and human dental pulp cells. *Eur Arch Paediatr Dent* 21(3): 321–328, 2020.
- Felix Gomez G, Eckert GJ, Ferreira Zandona A: Orange/Red Fluorescence of Active Caries by Retrospective Quantitative Light–Induced Fluorescence Image Analysis. *Caries Res* 50(3): 295–302, 2016.
- Gimenez T, Bispo BA, Souza DP, Vigano ME, Wanderley MT, Mendes FM, et al.: Does the Decline in Caries Prevalence of Latin American and Caribbean Children Continue in the New Century? Evidence from Systematic Review with Meta–Analysis. *PLoS One* 11(10): e0164903, 2016.
- Guelmann M, Bookmyer KL, Villalta P, Garcia–Godoy F: Microleakage of restorative techniques for pulpotomized primary molars. *J Dent Child (Chic)* 71(3): 209–211, 2004.
- Guelmann M, Fair J, Bimstein E: Permanent versus temporary restorations after emergency pulpotomies in primary molars. *Pediatr Dent* 27(6): 478–481, 2005.

- Iheozor–Ejiofor Z, Worthington HV, Walsh T, O'Malley L, Clarkson JE, Macey R, et al.: Water fluoridation for the prevention of dental caries. *Cochrane Database Syst Rev* 2015(6): CD010856, 2015.
- Jallad M, Zero D, Eckert G, Ferreira Zandona A: In vitro Detection of Occlusal Caries on Permanent Teeth by a Visual, Light–Induced Fluorescence and Photothermal Radiometry and Modulated Luminescence Methods. *Caries Res* 49(5): 523–530, 2015.
- Jang B: pH, Ion Release Capability, and Solubility Value of Premixed Mineral Trioxide Aggregates. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 49(4): 379–391, 2022.
- Kang CM, Kim SH, Shin Y, Lee HS, Lee JH, Kim GT, et al.: A randomized controlled trial of ProRoot MTA, OrthoMTA and RetroMTA for pulpotomy in primary molars. *Oral Dis* 21(6): 785–791, 2015.
- Kassebaum NJ, Smith AGC, Bernabe E, Fleming TD, Reynolds AE, Vos T, et al.: Global, Regional, and National Prevalence, Incidence, and Disability–Adjusted Life Years for Oral Conditions for 195 Countries, 1990–2015: A Systematic Analysis for the Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors. *J Dent Res* 96(4): 380–387, 2017.
- Kim CH, Bae JS, Kim IH, Song JS, Choi HJ, Kang CM: Prognostic factors for the survival of primary molars following pulpotomy with mineral trioxide aggregate: a retrospective cohort study. *Clin Oral Investig* 25(4): 1797–1804, 2021.
- Kim CH, Bae K, Lee TY, Song JS, Kim SO, Kang CM: Assessment of dental caries lesion activity status using quantitative parameters obtained from the quantitative light–induced fluorescence method and difference of microbial distribution in primary molars. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 39: 102942, 2022.
- Kim HE, Kim BI: Analysis of Orange/Red Fluorescence for Bacterial Activity in Initial Carious Lesions May Provide Accurate Lesion Activity Assessment

- for Caries Progression. *J Evid Based Dent Pract* 17(2): 125–128, 2017.
- Kim HE, Kwon HK, Kim BI: Recovery percentage of remineralization according to severity of early caries. *Am J Dent* 26(3): 132–136, 2013.
- Kim M, Yang W, Kim H, Ko H: Comparison of the biological properties of ProRoot MTA, OrthoMTA, and Endocem MTA cements. *J Endod* 40(10): 1649–1653, 2014.
- Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G: Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. *Int Endod J* 45(10): 942–949, 2012.
- Lin PY, Chen HS, Wang YH, Tu YK: Primary molar pulpotomy: a systematic review and network meta-analysis. *J Dent* 42(9): 1060–1077, 2014.
- Linsuwanont P, Wimonsutthikul K, Pothimoke U, Santiwong B: Treatment Outcomes of Mineral Trioxide Aggregate Pulpotomy in Vital Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure: The Retrospective Study. *J Endod* 43(2): 225–230, 2017.
- Ma J, Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M: Biocompatibility of two novel root repair materials. *J Endod* 37(6): 793–798, 2011.
- Manohar S, Bazaz N, Neeraja G, Subramaniam P, Sneharaj N: A comparative evaluation of four regenerative materials for pulpotomy in primary molars: An in vivo study. *Dent Res J (Isfahan)* 19: 102, 2022.
- Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H, Ebisu S: A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod* 22(10): 551–556, 1996.
- Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch MJ, Friedrich Ding PG, Wolff D, et al.: Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: an analysis of the clinical treatment outcome. *J Endod* 36(5): 806–813, 2010.
- Mutluay M, Arikan V, Sari S, Kisa U: Does Achievement of Hemostasis After Pulp Exposure Provide an Accurate Assessment of Pulp Inflammation? *Pediatr Dent* 40(1): 37–42, 2018.

- Ng FK, Messer LB: Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy medicament: an evidence-based assessment. *Eur Arch Paediatr Dent* 9(2): 58–73, 2008.
- Parirokh M, Torabinejad M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 36(3): 400–413, 2010.
- Pham CL, Kratunova E, Marion I, da Fonseca MA, Alapati SB: Effect of Overlying Material on Final Setting of Biodentine (R) in Primary Molar Pulpotomies. *Pediatr Dent* 41(2): 140–145, 2019.
- Philip N, Suneja B: Minimally invasive endodontics: a new era for pulpotomy in mature permanent teeth. *Br Dent J* 233(12): 1035–1041, 2022.
- Pulp Therapy for Primary and Immature Permanent Teeth. *Pediatr Dent* 40(6): 343–351, 2018.
- The Reference Manual of Pediatric Dentistry: Pediatric restorative dentistry. *American Academy of Pediatric Dentistry*: 401–414, 2022.
- RojaRamya KS, Chandrasekhar R, Uloopi KS, Vinay C: Treatment Outcomes of Pulpotomy with Propolis in Comparison with MTA in Human Primary Molars: A 24-month Follow-up Randomized Controlled Trial. *Int J Clin Pediatr Dent* 15(Suppl 1): S3–S7, 2022.
- Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I: Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 31(2): 97–100, 2005.
- Shedeed O, Al Masri A, Spleth C, Pink C, Santamaria RM: Are prefabricated pediatric zirconia crowns comparable to prefabricated metal crowns? A real-life retrospective study. *Quintessence Int* 0(0): 0, 2023.
- Smail-Faugeron V, Porot A, Muller-Bolla M, Courson F: Indirect pulp capping versus pulpotomy for treating deep carious lesions approaching the pulp in primary teeth: a systematic review. *Eur J Paediatr Dent* 17(2): 107–112, 2016.

- Sonmez D, Duruturk L: Success rate of calcium hydroxide pulpotomy in primary molars restored with amalgam and stainless steel crowns. *Br Dent J* 208(9): E18; discussion 408–409, 2010.
- Stringhini Junior E, Dos Santos MGC, Oliveira LB, Mercade M: MTA and biodentine for primary teeth pulpotomy: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Clin Oral Investig* 23(4): 1967–1976, 2019.
- Stringhini Junior E, Vitcel ME, Oliveira LB: Evidence of pulpotomy in primary teeth comparing MTA, calcium hydroxide, ferric sulphate, and electrosurgery with formocresol. *Eur Arch Paediatr Dent* 16(4): 303–312, 2015.
- Taha NA A-RM, Imran ZA: Outcome of full pulpotomy in mature permanent molars using 3 calcium silicate-based materials: A parallel, double blind, randomized controlled trial. *Int Endod J* 55(5): 416–429, 2022.
- Tewari N, Goel S, Mathur VP, O'Connell AC, Johnson RM, Rahul M, et al.: Success of medicaments and techniques for pulpotomy of primary teeth: An overview of systematic reviews. *Int J Paediatr Dent* 32(6): 828–842, 2022.
- Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR: Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 21(7): 349–353, 1995.
- van der Veen MH, de Josselin de Jong E: Application of quantitative light-induced fluorescence for assessing early caries lesions. *Monogr Oral Sci* 17: 144–162, 2000.
- Volgenant CM, van der Veen MH, de Soet JJ, ten Cate JM: Effect of metalloporphyrins on red autofluorescence from oral bacteria. *Eur J Oral Sci* 121(3 Pt 1): 156–161, 2013.
- Wang X, Chang J, Hu S: A study on the sealing ability and antibacterial activity of Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>/CaCl<sub>2</sub> composite cement for dental applications. *Dent Mater J* 31(4): 617–622, 2012.

- Witherspoon DE, Small JC, Harris GZ: Mineral trioxide aggregate pulpotomies: a case series outcomes assessment. *J Am Dent Assoc* 137(5): 610–618, 2006.
- Wolters WJ, Duncan HF, Tomson PL, Karim IE, McKenna G, Dorri M, et al.: Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J* 50(9): 825–829, 2017.
- Zantner C, Martus P, Kielbassa AM: Clinical monitoring of the effect of fluorides on long-existing white spot lesions. *Acta Odontol Scand* 64(2): 115–122, 2006.

## ABSTRACT

### **A Randomized Controlled Clinical Trial of Premixed Calcium Silicate-based Bioceramic Materials for Pulpotomy in Primary Molars**

This study aimed to verify the non-inferiority of Endocem MTA Premixed and Well-Root PT, compared with ProRoot MTA in the pulpotomy of primary molars. In addition, we tried to determine the factors that affect the prognosis of pulpotomy in primary molars.

This randomized clinical trial enrolled 158 molars of 52 children; 153 teeth were finally included and divided into three groups: ProRoot MTA (n = 50), Endocem MTA Premixed (n = 53), and Well-Root PT (n = 50). Clinical and radiographic follow-up was performed at 3, 6, and 12 months postoperatively and at the last visit post-treatment. Data were analyzed using the Fisher's exact test, Cox regression analysis, and the Kaplan–Meier survival curve method.

The success rates in the ProRoot MTA, Endocem MTA Premixed, and Well-Root PT were 92%, 84.9, and 82%, respectively. Among the investigated variables, only  $\Delta F$  and  $\Delta F_{max}$  significantly affected the success rates. In the multivariate survival tree model, significant unfavorable survival was observed when the  $\Delta F$  value was -14.4 or less (hazard ratio, 7.56; P = 0.0295).

Considering the clinical effectiveness of Endocem MTA Premixed and Well-Root PT and the operational convenience as a premixed type, they can be used as advantageous materials in the pulpotomy of primary molars in pediatric patients. The QLF method is a useful diagnostic method that can establish treatment plans and determine the prognosis of pulpotomy based on the  $\Delta F$  value in primary molars.

---

**Key words:** Calcium silicate-based cement, MTA, Pulpotomy, Primary molar, Quantitative light fluorescence