

Comparison of the Microleakage and Shear Bond Strength to Dentine of Different Tricalcium Silicate-based Pulp Capping Materials

Miri Kim¹, Wansun Jo², Myeongkwan Jih^{1,2}, Sangho Lee^{1,2}, Nanyoung Lee^{1,2}

¹*Department of Pediatric Dentistry, Chosun Dental Hospital*

²*Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chosun University*

Abstract

This study evaluated the microleakage of three restorative materials and three tricalcium silicate-based pulp capping agents. The restorative materials were composite resin (CR), resin-reinforced glass ionomer cement (RMGI), and traditional glass ionomer cement (GIC) and the pulp capping agents were TheraCal LC[®] (TLC), Biodentine[®] (BD), and ProRoot[®] white MTA (WMTA). Additionally, shear bond strengths between the pulp-capping agents and dentine were compared.

Class V cavities were made in bovine incisors and classified into nine groups according to the type of pulp-capping agent and final restoration. After immersion in 0.5% fuchsin solution, each specimen was observed with a stereoscopic microscope to score microleakage level. The crowns of the bovine incisors were implanted into acrylic resin, cut horizontally, and divided into three groups. TLC, BD and WMTA blocks were applied on dentine, and the shear bond strengths were measured using a universal testing machine.

The microleakage was lowest in TLC + GIC, TLC + RMGI, TLC + CR, and BD + GIC groups and highest in WMTA + RMGI and WMTA + CR groups. The shear bond strength of BD group was the highest and that of WMTA group was significantly lower than the others.

Key words : Microleakage, Shear bond strength, Tricalcium silicate-based pulp capping agents, Restorative materials

I. 서 론

치아우식증 예방에 대한 여러 가지 노력의 증가에도 불구하고 많은 치과의사들은 우식이 깊은 어린이 환자를 자주 접하게 된다. 특히 깊은 우식이 발생한 치아가 미성숙 영구치일 때 치과의사들이 보존적인 치료를 시도하는 것은 매우 중요하다. 미성숙 영구치에서 치수가 노출되었을 때 적절한 적응증에서 직접치수복조술을 시행하는 것은 치수절단술 혹은 치수절제술을 사용하는 것보다 치근의 성장에 있어서 바람직하다고 할 수 있다[1-4].

성공적인 직접치수복조술을 위해서는 여러 가지 조건들이 필요하다. 철저한 무균적 치료과정에 더하여 적절한 치수복조제의 선택은 성공적인 직접치수복조술을 위한 아주 중요한 요소이다. 치수복조제의 선택에 대한 논란에도 불구하고 mineral trioxide aggregate (MTA)는 좋은 생체친화성 및 친수성 그리고 무엇보다도 치수치료에 중요한 우수한 밀봉능력으로 최근 20년동안 가장 주목을 받은 치수복조제였다[5,6]. 여러 문헌들에서 MTA가 미성숙 영구치의 치수복조술에서 좋은 결과를 보여주고 있음을 보고하고 있다[5,7]

Corresponding author : Myeongkwan Jih

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chosun University, 303 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, 61452, Republic of Korea

Tel: +82-62-220-3860 / Fax: +82-62-225-8240 / E-mail: mdenti@chosun.ac.kr

Received July 23, 2018 / Revised September 20, 2018 / Accepted September 13, 2018

※ This study was supported by research fund from Chosun University, 2016.

하지만 전통적인 MTA는 치아 변색을 일으킬 수 있으며[8], 경화시간이 길어 MTA 적용 후 반드시 재내원이 필요하다는 단점이 있다. 최근 이러한 한계를 극복하기 위해서 다양한 치수복조제들이 개발되었으며 그 중 tricalcium silicate를 주성분으로 하는 TheraCal LC[®] (Bisco Inc., Schaumburg, USA)와 Biodentine[®] (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, France)이 대표적인 재료로서 현재 전통적인 MTA와 함께 많이 사용되고 있다.

치수복조술 후 상부 수복재료의 미세누출은 치료의 성공적인 여부를 결정하는데 매우 중대한 영향을 미친다. 상부의 수복재료의 미세누출은 수복 재료 자체의 특성뿐 아니라 그 하부 치수복조제의 특성에 영향을 받을 수 있다. 따라서 치수복조제의 선택에 있어서 수복재료의 미세누출을 고려하는 것이 중요하다. 이는 미세누출로 인해 수복재료의 체적 변화 혹은 부착의 결함이 발생하여 세균의 침투를 초래해 치료의 실패로 이어질 수 있기 때문이다[5,9].

치수복조제 선택에 있어서 고려해야 할 또 다른 점으로 치수복조제와 상아질간의 결합강도를 들 수 있다. 적절한 결합강도를 갖지 못하여 파절이 발생할 경우 치수복조제 상방의 수복재료의 독성에 노출되거나 수복재료의 미세누출 발생 시 치수가 직접적으로 외부환경에 노출되어 치수치료의 실패로 이어질 수 있다. 따라서 치수복조제가 상아질과 안정적인 결합을 이루는 것은 성공적인 치수치료의 필수요소라고 할 수 있다.

그 동안 치수복조제들 및 수복재료의 상아질에 대한 미세누출 정도를 평가한 연구들이 행해져 왔다. 하지만 tricalcium silicate 기반의 치수복조제들 상방에 최종적인 수복재료들을 적용했을 때의 미세누출을 종합적으로 비교하며 치아와 치수복조제들 간

의 결합강도를 측정된 연구는 미비하다. 또한 치수복조제와 상아질과의 결합강도에 대한 연구가 존재하기는 하나 부족하며 [10], 국내연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

이에 근거하여 이 연구에서는 현재 널리 사용되는 치수복조제 (TheraCal LC[®], Biodentine[®], ProRoot[®] White MTA)와 수복재료 사이의 미세누출과 상아질과 치수복조제 사이의 전단결합강도를 측정 및 평가하고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 시편

치아우식이 없고, 변색이 없는 소의 하악 절치들을 대상으로 시편을 제작하였다. 치아들을 발거한 후 스케일러를 이용하여 잔여 조직을 제거하였고 수세한 후 생리식염수에 보관하였다. 실험 직전 모든 치아들을 주수 하에 pumice로 세마하였다.

2) 치수복조제

3가지 종류의 치수복조제(TheraCal LC[®], Biodentine[®], ProRoot[®] white MTA)가 사용되었다(Table 1).

3) 수복재료

최종 수복재료로는 복합레진(Filtek[™] Z250), 자가중합형 글라스아이오노머 시멘트(Ketac[™] Molar), 그리고 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트(Fuji II LC[®])를 사용하였다(Table 2). 복합레진

Table 1. Pulp capping materials used in this study

Material	Manufacturer	Composition
ProRoot [®] white MTA	Dentsply Tulsa Dental, USA	Tricalcium silicate, bismuth oxide, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, calcium sulfate dehydrate or gypsum
TheraCal LC [®]	Bisco Inc., USA	Tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium oxide, Bi ₂ O ₃ , fumed silica, resin
Biodentine [®]	Septodont, France	Liquid Powder Calcium chloride, water-reducing agent Tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium carbonate, calcium oxide, zirconium oxide

Table 2. Restorative materials used in this study

Material	Manufacturer	Composition
Filtek [™] Z250	3M ESPE [™] , USA	Bis-GMA, UDMA, bis-EMA, zirconia/silica filler
Fuji II LC [™]	GC Corp, Japan	Liquid Powder Polyacrylic acid, HEMA, dimethacrylate, camphoroquinone, water Fluoro-alumino-silicate glass
Ketac [™] Molar	3M ESPE [™] , USA	Liquid Powder Water, copolymer of acrylic acid-maleic acid, tartaric acid Oxide glass chemicals (non-fibrous), copolymer of acrylic acid-maleic acid, dichlorodimethylsilane reaction product with silica

수복의 산부식제로 Scotchbond™ (3M ESPE™, St. Paul, USA)를 상아질 전처리와 접착제로 Adper™ Single Bond2 (3M ESPE™, USA)를 사용하였다. 글라스아이오노머 시멘트의 상아질 전처리제로 Dentin Conditioner (GC Corp., Tokyo, Japan)를 사용하였다.

2. 연구 방법

1) 치수복조제와 수복재료의 미세누출

(1) 시편 제작

준비된 소의 하악 절치들의 순면에 5.0 mm × 3.0 mm × 3.0 mm의 와동을 형성하였다. 와동형성은 주수 하 고속엔진용 #330 carbide bur를 사용하였으며 와동 변연이 근원심 선각을 지나지 않게 하였다. 와동이 형성된 36개 치아, 108개의 와동들은 무작위로 적용된 치수복조제의 종류에 따라 3개의 군으로 분류되었다.

재료들은 각각 12개의 치아, 36개의 와동에 1.0 mm깊이로 충전되었다. 모든 재료들은 제조사들의 지시에 따라 각 재료들이 안정적인 강도에 도달하기 위하여 필요한 경화시간을 고려하여 경화시켰다. TheraCal LC® (TLC)는 LED 광중합기(VALO LED, Ultradent, South Jordan, USA)를 이용하여 1200 mW/cm²로 20초간 광중합하였다. Biodentine® (BD)은 제조사의 지시에 따라 혼합하여 37°C에서 48시간 동안 경화시켰다. ProRoot® white MTA (WMTA)는 충전 후 wet gauze로 감싼 뒤 37°C, 100% 습도에서 72시간 동안 경화시켰다. 경화가 끝난 시편들은 모두 항온기에 보관하였다.

그리고 치수복조제의 종류에 따라 3개 군으로 분류한 시편들은 다시 최종 수복재료에 따라 무작위로 3개씩 하위군(subgroup)으로 나누어, 나머지 2.0 mm 깊이의 와동 내부를 선

택된 수복재료로 충전하였다(Table 3, Fig. 1).

Ketac™ Molar (GIC)군은 치수복조제 상방을 20초간 상아질 전처리제(dentin conditioner)를 적용하고 수세 후, 수복재료를 충전하고 5분간 경화하였다. Fuji II LC™ (RMGI)군은 치수복조제 상방을 역시 상아질 전처리제로 20초간 처치하고 수세 후, 수복재료를 충전하고 LED 광중합기(VALO LED, Ultradent, South Jordan, USA)를 이용하여 1200 mW/cm²로 20초간 광중합하였다. Filtek™ Z250 (CR)군은 치수복조제 상방을 15초간 35% 인산으로 산부식을 시행한 후 5세대 접착시스템인 Adper™ Single Bond 2를 도포하고 LED 광중합기(VALO LED, Ultradent, South Jordan, USA)를 이용하여 1200 mW/cm²로 20초간 광중합을 시행 후 수복재료를 충전하고 같은 방법으로 20초간 광중합하였다. 모든 수복재료들은 중합 및 경화과정 후 37°C, 100% 습도에서 24시간 동안 보관되었다. 이후 구강 내부와 비슷한 환경을 재현하기 위하여 5 - 55°C 하 500회 열순환 처리하였다.

(2) 미세누출 평가(염색침투법)

치근단공 부위를 복합레진으로 봉쇄한 후, 수복재료 표면과 변연 주위 1.0 mm를 제외하고 치아 전 표면에 nail varnish를 2회 도포하였다. 미세누출 평가를 위해 표본을 24시간 동안 0.5% fuchsin용액에 침적한 후, 수세하고 건조하였다.

표본의 크기를 줄이기 위해 치근의 1/3를 제거하였다. 규격화된 직사각형 주형에 치아를 고정시키고 에폭시 레진(epoxy resin)에 매몰하였다. 각 표본을 주수 하에 disk (Resista Omega 68, Italy)를 이용해 반쪽으로 쪼개어 절단면을 30배 배율의 입체현미경(Olympus SZ61®, Japan)으로 관찰하였다.

입체현미경으로 관찰할 때 다음과 같은 기준으로 점수를 측정하였다 - 염색약 침투가 없는 경우 0점, 염색약 침투가 법랑질에 한정된 경우 1점, 염색약 침투가 와동벽 상아질에 한정된 경우 2

Table 3. Experimental groups for microleakage test

Group	Materials		N
	Pulp capping material	Restorative material	
I		Ketac™ Molar	12
II	TheraCal LC®	Fuji II LC™	12
III		Filtek™ Z250	12
IV		Ketac™ Molar	12
V	Biodentine®	Fuji II LC™	12
VI		Filtek™ Z250	12
VII		Ketac™ Molar	12
VIII	ProRoot® WMTA	Fuji II LC™	12
IX		Filtek™ Z250	12

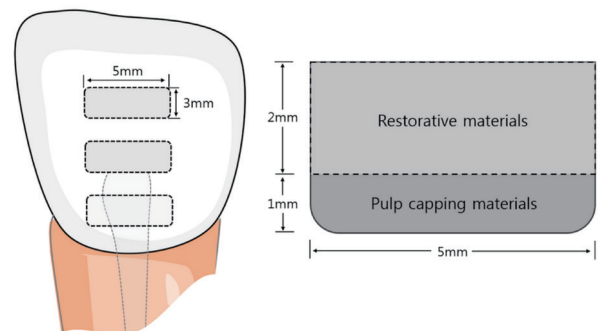


Fig. 1. Schematic representation of the prepared samples.

점, 염색약이 와동저까지 침투한 경우 3점(Table 4, Fig. 2). 표본 각각의 반쪽을 2번씩 관찰하여 각 변연마다 더 높은 점수를 기록하였다.

2) 치수복조제의 상아질과의 전단결합강도

(1) 시편 제작

소 절치의 임상적 치관을 자가중합형 아크릴릭 레진(Jet Tooth Shade™ Powder, Lang Dental Mfg. Inc., Wheeling, USA)에 매몰한 후 주수 하에 low-speed diamond saw (Accutom-50, Struers, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 치축에 대해 수직으로 치관 중앙부를 절단하였다. 치아의 상아질 표면은 주수 하에 600-grit sand paper로 30초간 연마하였다. 제작된 시편은 무작위로 3개의 군(n = 10)으로 분류하였고 내경 2.0 mm, 높이 2.0 mm의 teflon mold를 이용하여 TLC, BD, WMTA블록을 축조하여 치수와 dentinoenamel junction (DEJ) 간 거리 1/2 지점에 치수복조제 블록을 제조사의 지시에 따라 적용하였다. TLC는 LED 광중합기(VALO LED, Ultradent, South Jordan, USA)를 이용하여 1200 mW/cm²로 20초간 광중합하였다. BD는 37°C에서 48시간 동안 경화시켰다. WMTA는 충전 후 젖은 거즈로 감싼 뒤 37°C, 100% 습도에서 72시간 동안 경화시켰다(Fig. 3).

Table 4. Criteria for extent of dye penetration

Score	Criteria
0	No dye penetration
1	Dye penetration into the enamel part of the cavity wall
2	Dye penetration into the dentine part of the cavity wall
3	Dye penetration including the pulpal floor of the cavity

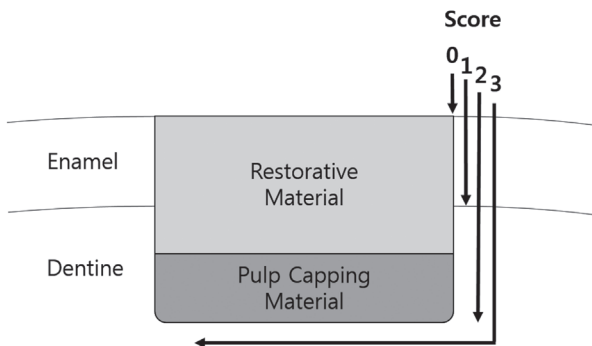


Fig. 2. Schematic diagram of microleakage score of the prepared samples.

(2) 전단결합강도 측정

24시간동안 증류수에 보관한 시편을 건조시킨 후 Universal Testing Machine (R&B Inc., Daejeon, Korea)을 이용하여 cross head speed 1.0 mm/min의 속도로 전단력을 가했다(Fig. 3). 상아질 표면에서 치수복조제가 탈락될 때의 최대 힘을 컴퓨터에 연결된 Helio X 프로그램을 이용하여 kgf 단위로 측정하였으며, 치아-치수복조제 사이 접촉면적으로 나누어 MPa단위로 환산하였다.

3. 통계학적 분석

SPSS (version 18.0.0, SPSS, Chicago, IL, USA)를 사용하여 통계학적 분석을 시행하였다. 총 9개의 그룹별 미세누출의 통계학적 유의성을 확인하기 위하여 Fisher's exact test를 시행하였다. 상아질과 치수복조제들 사이의 전단결합강도의 통계학적 유의성을 확인하기 위해 Kruskal-Wallis test를 시행하였고 사후검정 방법으로 Mann-Whitney test를 시행하였다.

III. 연구 성적

1. 치수복조제의 종류에 따른 수복재료들의 미세누출평가

이 연구에서 치수복조제의 종류에 따른 수복재료들의 미세누출에 대해 실험한 결과, TLC + GIC, TLC + RMGI, TLC + CR, BD + GIC 그룹에서 가장 적은 미세누출을 보여주었다(Fig. 4). 반면, WMTA + RMGI, WMTA + CR 그룹은 Score 2가 8개로 가장 많은 미세누출을 보여주었다(Fig. 4).

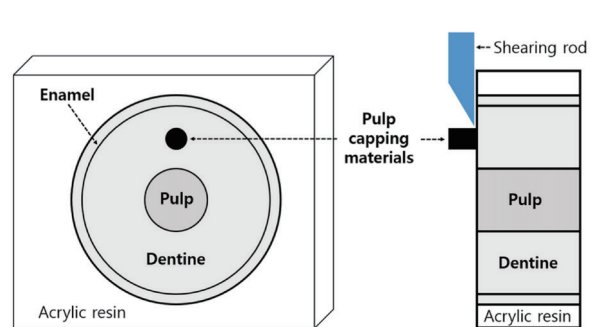


Fig. 3. Schematic diagram of the specimen and shear bond strength test set-up.

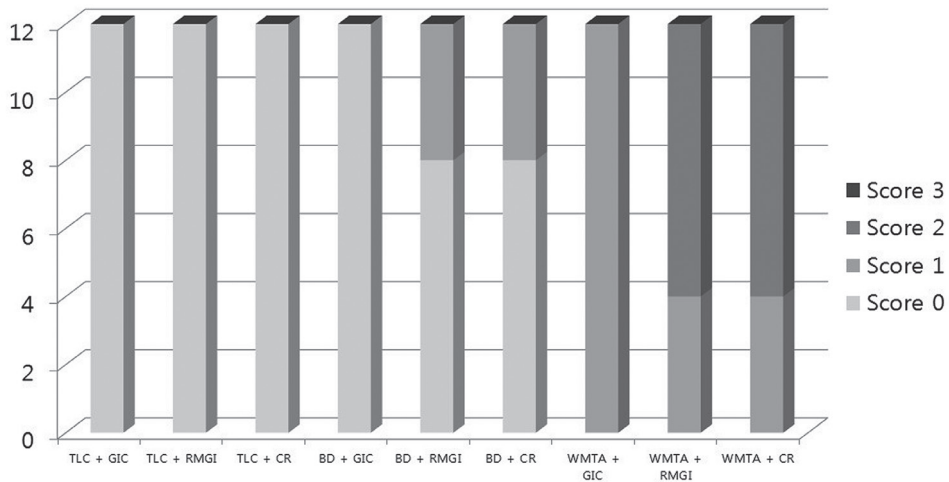


Fig. 4. Frequency of microleakage score of restorative materials with direct pulp capping materials.
 TLC: TheraCal LC[®], BD: Biodentine[®], WMTA: ProRoot[®] white MTA, GIC: Ketac[™] Molar, RMGI: Fuji II LC[™], CR: Filtek[™] Z250

Table 5. Comparison of microleakage score

	TLC+GIC	TLC+RMGI	TLC+CR	BD+GIC	BD+RMGI	BD+CR	WMTA+GIC	WMTA+RMGI	WMTA+CR
TLC+GIC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TLC+RMGI	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
TLC+CR	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	-
BD+GIC	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-
BD+RMGI	0.093	0.093	0.093	0.093	-	-	-	-	-
BD+CR	0.093	0.093	0.093	0.093	1.000	-	-	-	-
WMTA+GIC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	-	-	-
WMTA+RMGI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	-	-
WMTA+CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	-

p-value from Fisher's exact test

TLC: TheraCal LC[®], BD: Biodentine[®], WMTA: ProRoot[®] white MTA, GIC: Ketac[™] Molar, RMGI: Fuji II LC[™], CR: Filtek[™] Z250

9개의 그룹간의 미세누출의 차이는 Table 5와 같다. 가장 작은 미세누출을 보여준 3개의 TLC그룹들과 BD + GIC 그룹은 3개의 WMTA그룹과 통계적으로 유의한 차이를 보여주었다. BD + RMGI, BD + CR 그룹도 WMTA그룹과 비교하여 통계적으로 유의하게 작은 Score의 미세누출 값을 보여주었다. 모든 표본이 Score 1을 기록한 WMTA + GIC 그룹은 가장 높은 미세누출을 보여준 나머지 두 개의 WMTA그룹과 통계적으로 유의한 차이를 보여주었다(Table 5). 치수강저까지 염색약이 침투한 Score 3은 모든 그룹에서 관찰되지 않았으며 가장 적은 미세누출을 보여준 3개의 TLC 그룹과 BD + GIC 그룹은 모든 표본에서 Score 0을 기록하였다.

2. 치수복조제들의 상아질과의 전단결합강도

1) 평균 전단결합강도

본 연구에서 측정된 치수복조제들의 상아질과의 전단결합강도는 Table 6 과 같다. BD그룹은 평균 12.55 MPa로 가장 높은 상아질과의 전단결합강도를 보여주었다. WMTA 그룹에서의 전단결합강도는 BD와 TLC 그룹에 비해 현저히 낮은 전단결합강도를 보여주었다.

2) 치수복조제들과 상아질과의 전단결합강도의 그룹별 차이
 BD그룹과 TLC그룹의 상아질과의 전단결합강도는 통계적으로

유의한 차이가 없었다. WMTA그룹은 나머지 두 그룹과 모두 통계적으로 유의하게 낮은 상아질과의 전단결합강도를 보여주었다(Table 6, 7, Fig. 5).

IV. 총괄 및 고찰

치수가 기계적으로 노출되거나 혹은 거의 근접할 정도로 깊은 우식을 갖고 있는 치아의 수복에서 치수복조술은 성공적인 치료

Table 6. Mean and comparison of shear bond strength to dentine

Group	N	Mean ± SD of SBS (MPa)
TLC	10	9.92 ± 3.86
WMTA	10	0.37 ± 0.29
BD	10	12.55 ± 4.25

SBS: Shear bond strength
TLC: TheraCal LC®, BD: Biodentine®, WMTA: ProRoot® white MTA

Table 7. Comparison of shear bond strength

Group	<i>p</i> value
TLC vs WMTA vs BD	0.00 ^a
TLC vs WMTA	0.00 ^b
TLC vs BD	0.07 ^b
BD vs WMTA	0.00 ^b

a: Kruskal-Wallis test, b: Mann-Whitney test
TLC: TheraCal LC®, BD: Biodentine®, WMTA: ProRoot® white MTA

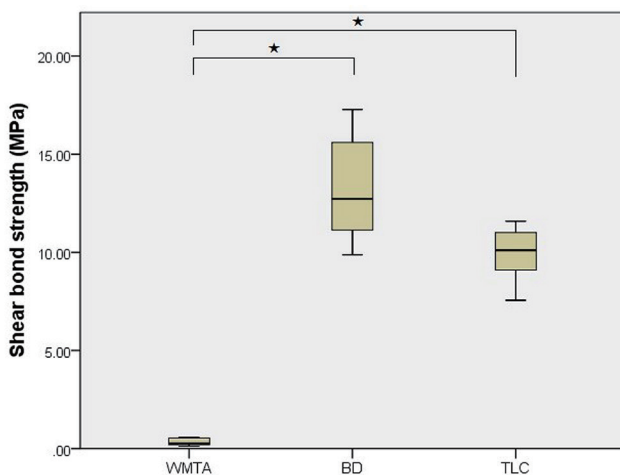


Fig. 5. Comparisons of shear bond strength. Mann-Whitney test (★ : *p* < 0.017)
TLC: TheraCal LC®, BD: Biodentine®, WMTA: ProRoot® white MTA

방법 중 하나로 보고되었다[11]. 성공적인 치수복조술을 시행하기 위해서 치수복조제는 생체친화성, 체적 안정성, 방사선 불투과성, 항균작용, 조작의 용이성 등의 특성을 가져야겠지만 무엇보다도 재료에 의한 밀폐와 수복재료 및 상아질의 치수복조제와의 결합강도는 필수적인 요소이다[12].

이 연구에서 우리는 치수복조제와 수복재료에 따른 미세누출에 주목하였다. 이는 많은 연구들에서 수복재료들의 치수반응은 변연부의 미세누출에 의해서 결정된다고 보고되었기 때문이다[9,13]. 치수의 변성은 더욱 더 심도 깊은 치수치료를 요구하기 때문에 이는 매우 중요한 요소이다. 치수복조제 단독으로 미세누출 연구들이 있어왔으나 실제 구강내의 재현성을 높이기 위해서 이번 연구에서는 치수복조제와 수복재료를 모두 적용한 후 미세누출을 관찰하는 실험방법을 적용하였다.

치근단공을 통해 염색액이 침투하는 것을 막기 위해 치근단공 부위를 복합레진으로 봉쇄하였고 미세누출 평가를 위해 0.5% fuchsin용액을 선택하였는데 이 방법은 복잡한 실험기구 없이 경제적으로 사용하기 편하다고 알려져 있다[14].

MTA가 기존의 연구들에서 받아들여질 만한 임상적, 실험적 결과를 보여주었지만 완벽한 치수복조제는 아니다. 기존의 MTA가 가지고 있는 치명적인 단점인 변색을 개선하기 위해 ProRoot™ White MTA가 개발되었지만 임상실험에서 큰 차이가 없다고 밝혀졌다[8]. 이러한 변색들을 예방하거나 이미 발생된 변색을 감소시키기 위하여 MTA를 충전하기 전에 상아질 접착제를 도포한다거나[15] sodium perborate와 같은 물질을 이용하여 표백술을 시행하는 등의 노력이 이루어졌지만 변색을 완전히 없애는 것은 결과적으로 MTA를 제거하지 않는 이상 효과가 없다는 연구 보고가 있었다[16]. 또한 경화시간이 길다는 단점이 있어 MTA를 대체할 만한 여러 재료의 개발로 이어지게 되었다.

BD는 높은 밀폐성을 가지고 있으며 뛰어난 누수저항성으로 상아세관을 채워주기 때문에 세균의 침투 우려를 없애주며, 수술 후 민감성도 거의 없다. 아이보리 색상의 BD는 색이 상아질과 유사하고 변색이 없어 뛰어난 심미성을 자랑한다. 또한 수축과 팽창이 없어 술 후 안정성 역시 높다. 뿐만 아니라 BD는 잘 뭉쳐지고 치면에 쉽게 달라붙어 처음 사용할 경우에도 쉽게 조작할 수 있을 정도로 조작성이 뛰어나며 경화시간도 MTA에 비해 훨씬 감소되었다[12,17,18].

TLC는 광중합 resin-modified calcium silicate paste로서 직/간접 치수복조술과 복합레진, 아말감 등의 수복재료 하방의 이장 재료 사용되며 수산화칼슘과 GI, RMGI, ZOE 등의 대체제로서도 사용이 가능하다. TLC는 칼슘이온을 방출하며 새로운 상아질모세포의 분화를 유도해 에퍼타이트 형성에 도움을 주며, 새로운 상아질을 형성하게 한다. 요변성이 있어서 광중합하는 동안 재

료를 쉽게 유지시킬 수 있으며, Gandolfi 등[19]의 연구에 따르면 TLC가 적정두께로 중합될 시 초기 용해 위험성이 감소된다고 보고되었다. 또한, 광중합 후 즉시 수복재료를 위치시킬 수 있다는 점 역시 TLC의 장점이다. 이런 초기 경화성 때문에 TLC는 MTA보다 더 낮은 용해성이 보고되었다[19].

이 연구의 실험결과 TLC를 적용한 모든 그룹들과 BD + GIC 그룹은 모두 미세누출에서 Score 0을 기록하였다. 그리고 전반적으로 WMTA 그룹들의 미세누출 Score가 더 높았다. 비록 MTA가 지금까지의 연구들에서 좋은 밀폐력과 생체친화성, 항균작용, VEGF (vascular endothelial growth factor)와 같은 cytokine 방출, 경조직 형성능력을 보여주었지만 이 실험의 미세누출 측정에서는 나머지 두 그룹에서보다 좋지 않은 결과를 보여주었다[5,7,20]. 이러한 미세누출의 차이가 재료의 어떤 특성들에 기인한 것인지 정확히 밝히는 것은 매우 어려운 일이지만 임상적인 재료 선택에 있어서 이 실험 결과는 의의를 가질 수 있을 것이다.

이번 연구에서 치수복조제 상방에 적용된 수복재료의 종류에 따라서도 미세누출의 양상은 변화하였다. 전반적으로 전통적인 GIC (Ketac™ Molar)가 CR (Filtek™ Z250), RMGI (Fuji II LC®)에 비하여 미세누출 Score가 작았다. Sharafeddin 등[21]은 CR보다 GIC가 더 미세누출을 줄일 수 있다고 보고하였고 Gopinath[22]는 RMGI보다 GIC가 더 작은 미세누출을 보여준다고 하였는데 이는 본 연구와 유사한 결과를 보여주었다. RMGI는 법랑질에 잘 부착되지만 상아질과 백악질에는 GIC와 비교 시 화학적 결합에 의한 부착능력이 떨어지며 CR은 큰 중합수축에 의한 변연부의 누출 가능성이 GIC에 비해 높은 이유로 다음과 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다[23].

수용성 환경에서의 좋은 안정성을 갖는 전통형 GIC와 같은 수복재료는 경조직과 결합능력이 뛰어나 변연적합성을 향상시킬 수 있다[24]. GIC의 탄력강도와 인장강도는 구강내의 일상적인 전단력과 탄성력에 저항할 수 있는 범위에 있으며, 불소방출능력과 수분흡수력으로 인해 미세누출 감소에 기여한다. 또한 수복재료와 상아질과의 열팽창계수의 차이는 미세누출의 한 원인으로 알려져 있는데 GIC의 열팽창계수는 치아의 상아질과 유사해 임상적으로 좋은 변연적합성, 적은 미세누출 그리고 좋은 유지력을 갖게 해줄 것으로 생각된다[25].

미세누출은 5급와동에서 수복재료 실패의 가장 주요한 원인으로 알려져 있다[26]. 이는 수복재료들이 일반적으로 상아질이나 백악질에 위치해 있기 때문이다. 따라서 깊은 치경부 병소와 치근 우식 와동의 수복 시 TLC와 GIC를 적용하는 치수복조제는 좋은 선택지가 될 수 있을 것이다.

치수복조제와 수복재료와의 결합강도는 많은 연구에서 보고되어 왔으나[27-29] 치수복조제와 상아질과의 결합강도에 대한

연구는 지금까지 미비하였다. 치수와 결합하는 상아질 또한 치수복조제와 결합력이 매우 중요하게 생각되는 바 본 연구에서는 이 부분 역시 주목하였다.

치수복조제들과 수복재료들 사이의 전단결합강도를 비교한 Jeong 등[27]의 연구에 따르면 WMTA 그룹에서 응집성 파절 빈도가 높게 나타났는데 이는 치수복조제의 압축강도가 수복재료와의 결합강도보다 약한 것에 기인한 현상일 수 있다고 하였다. 본 연구에서 WMTA 그룹은 BD 그룹과 TLC 그룹에 비해 현저히 낮은 결합강도를 보여주었는데 이 또한 WMTA가 상아질과 부착능력이 매우 낮기 보다는 WMTA 재료 자체의 낮은 압축강도 때문인 것으로 사료된다. BD가 TLC에 비하여 실험결과상 높은 상아질과의 전단결합강도 값을 보여주었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 6, 7).

치수복조제의 종류에 따른 수복재료의 미세누출 값과 상아질과 치수복조제의 결합력을 고려할 때 WMTA보다 TLC와 BD가 본 실험에서는 치수복조제로서 더 적합한 결과를 보여주었다. 하지만 치수복조제를 선택하는데 있어서 치수복조제의 유지력, 치수복조제와 치수와의 반응 등, 이외에도 고려해야 할 사항들이 많이 존재하므로 임상적 종합적인 판단이 필요할 것이다.

V. 결 론

TLC와 BD가 치수복조제로 사용된 경우 WMTA보다 수복재료의 미세누출이 적었다. GIC가 CR과 RMGI보다 미세누출이 적게 관찰되었다. TLC + GIC, TLC + RMGI, TLC + CR, BD + GIC 그룹에서 작은 미세누출을 보여주었고 WMTA + RMGI, WMTA + CR 그룹은 많은 미세누출을 보여주었다. 본 연구에서 미세누출은 단지 최종 수복재료뿐 아니라 치수복조제의 종류에 따라서도 달라진다는 것을 알 수 있었다.

3가지의 치수복조제들 중 TLC와 BD는 WMTA보다 통계적으로 유의하게 높은 상아질과의 전단 결합강도를 보였다.

References

1. He L, Zhong J, Mao JJ, et al. : Treatment of necrotic teeth by apical revascularization: meta-analysis. *Sci Rep*, 7:13941, 2017.
2. Bose R, Nummikoski P, Hargreaves K : A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures. *J Endod*, 35:1343-1349, 2009.
3. Ding RY, Cheung GS, Zhang CF, et al. : Pulp revascularization of immature teeth with apical periodontitis: a clinical study. *J Endod*, 35:745-749, 2009.

4. Chen MY, Chen KL, Lin LM, *et al.* : Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *Int Endod J*, 45:294-305, 2012.
5. Tawil PZ, Duggan DJ, Galicia JC : Mineral trioxide aggregate (MTA): its history, composition, and clinical applications. *Compend Contin Educ Dent*, 36:247-252; quiz 254, 264, 2015.
6. Hinata G, Yoshiba K, Okiji T, *et al.* : Bioactivity and biomineralization ability of calcium silicate-based pulp-capping materials after subcutaneous implantation. *Int Endod J*, 50 Suppl 2:e40-e51, 2017.
7. Maturo P, Costacurta M, Bartolino M, Docimo R : MTA applications in pediatric dentistry. *Oral Implantol (Rome)*, 2:37-44, 2009.
8. Możyńska J, Metlerski M, Lipski M, Nowicka A : Tooth discoloration induced by different calcium silicate-based cements: a systematic review of in vitro studies. *J Endod*, 43:1593-1601, 2017.
9. Schuurs AH, Gruythuysen RJ, Wesselink PR : Pulp capping with adhesive resin-based composite vs. calcium hydroxide: a review. *Endod Dent Traumatol*, 16:240-250, 2000.
10. Kaup M, Dammann CH, Schäfer E, Dammaschke T : Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo. *Head Face Med*, 11:14, 2015.
11. Schwendicke F, Stolpe M : Direct pulp capping after a carious exposure versus root canal treatment: a cost-effectiveness analysis. *J Endod*, 40:1764-1770, 2014.
12. Subramanyam D, Vasantharajan M : Effect of oral tissue fluids on compressive strength of MTA and Biodentine: an in vitro study. *J Clin Diagn Res*, 11:ZC94-ZC96, 2017.
13. Jung SK, Jang KT : Microleakage of various light-curing pulp capping materials. Master's degree, School of Dentistry, Seoul National University, 2014.
14. Sharafeddin F, Koohpeima F, Palizian B : Evaluation of microleakage in class V cavities filled with methacrylate-based versus silorane-based composites. *J Dent Biomater*, 2:67-72, 2015.
15. Akbari M, Rouhani A, Samiee S, Jafarzadeh H : Effect of dentin bonding agent on the prevention of tooth discoloration produced by mineral trioxide aggregate. *Int J Dent*, 2012:563203, 2012.
16. Jang JH, Kang M, Kim E, *et al.* : Tooth discoloration after the use of new pozzolan cement (Endocem) and mineral trioxide aggregate and the effects of internal bleaching. *J Endod*, 39:1598-1602, 2013.
17. Bhat SS, Hegde SK, Adhikari F, Bhat VS : Direct pulp capping in an immature incisor using a new bioactive material. *Contemp Clin Dent*, 5:393-6, 2014.
18. Butt N, Talwar S, Bali A, *et al.* : Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine. *Indian J Dent Res*, 25:692-697, 2014.
19. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C : Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J*, 45:571-579, 2012.
20. Simancas-Pallares MA, Díaz-Caballero AJ, Luna-Ricardo LM : Mineral trioxide aggregate in primary teeth pulpotomy. A systematic literature review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 15:e942-946, 2010.
21. Sharafeddin F, Feizi N : Evaluation of the effect of adding micro-hydroxyapatite and nano-hydroxyapatite on the microleakage of conventional and resin-modified Glass-ionomer CI V restorations. *J Clin Exp Dent*, 9:e242-e248, 2017.
22. Gopinath VK : Comparative evaluation of microleakage between bulk esthetic materials versus resin-modified glass ionomer to restore Class II cavities in primary molars. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 35:238-243, 2017.
23. Gupta SK, Gupta J, Acharya SR, *et al.* : Comparative evaluation of microleakage in Class V cavities using various glass ionomer cements: an in vitro study. *J Interdiscip Dent*, 2:164-169, 2012.
24. Bollu IP, Hari A, Nalli SV, *et al.* : Comparative evaluation of microleakage between nano-ionomer, giomer and resin modified glass ionomer cement in class V cavities- CLSM study. *J Clin Diagn Res*, 10:ZC66-70, 2016.
25. Geerts SO, Seidel L, Albert AI, Gueders AM, *et al.* : Microleakage after thermocycling of three self-etch adhesives under resin-modified glass-ionomer cement restorations. *Int J Dent*, 2010:728453, 2010.
26. Kidd EA : Microleakage: a review. *J Dent*, 4:199-206, 1976.
27. Jeong HK, Lee NY, LEE SH : Comparison of shear bond strength of different restorative materials to tricalcium silicate-based pulp capping materials. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 44:200-209, 2017.
28. Cantekin K : Bond strength of different restorative materials to light-curable mineral trioxide aggregate. *J Clin Pediatr Dent*, 39:143-148, 2015.
29. DeHoff PH, Anusavice KJ, Wang Z : Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. *Dent Mater*, 11:126-131, 1995.

국문초록

Tricalcium-silicate 기반 치수복조제의 미세누출 및 상아질 전단결합강도 비교

김미리¹ · 조완선² · 지명관^{1,2} · 이상호^{1,2} · 이난영^{1,2}

¹조선대학교치과병원 소아치과

²조선대학교 치과대학 소아치과학교실

이 연구의 목적은 3종의 수복재료와 3종의 tricalcium-silicate 기반 치수복조제의 미세누출을 평가하고, 이들 치수복조제와 상아질 사이의 전단결합강도를 비교하는 것이다. 수복재료로는 복합레진(CR), 레진강화형 글래스아이오노머 시멘트(RMGI), 그리고 전통적인 글래스아이오노머 시멘트(GIC)를, 치수복조제로는 TheraCal LC[®](TLC), Biodentine[®] (BD), 그리고 ProRoot[®] white MTA (WMTA)을 사용했다.

소의 절치에 5급와동을 형성하여 이를 적용하는 치수복조제와 수복재료에 따라 9개의 그룹으로 분류하고 0.5% fuchsin 용액을 이용한 염색침투법을 시행했다. 각 표본을 절단하고 입체현미경으로 관찰해 미세누출 정도를 평가했다. 아크릴 레진에 소 절치의 임상적 치관을 매몰한 후 수평으로 절단해 준비한 표본을 임의로 3그룹으로 나누었다. 표본의 상아질에 그룹별로 TLC, BD, 그리고 WMTA 블록을 적용한 후 universal testing machine을 이용해 전단결합강도를 측정했다.

미세누출은 TLC + GIC, TLC + RMGI, TLC + CR, 그리고 BD + GIC 그룹에서 가장 적었고, WMTA + RMGI와 WMTA + CR 그룹에서 가장 많았다. 전단결합강도는 WMTA 그룹에서 다른 그룹보다 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다.