

# MTA와 4-META/MMA & TBB레진 혼합 재료의 치근단 미세누출에 관한 연구

김진철 · 김미리 · 고현정 · 양원경\*  
울산대학교 서울아산병원 치과 보존과

## ABSTRACT

### APICAL MICROLEAKAGE OF MTA WITH 4-META/MMA & TBB RESIN AS A ROOT-END FILLING MATERIAL

Jin-Cheol Kim, Mi-Ri Kim, Hyun-Jung Ko, Won-Kyung Yang \*  
Department of Conservative Dentistry, Ulsan University, Asan Medical Center

We evaluated *in vitro* microleakage of Mineral Trioxide Aggregate (MTA) powder with 4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META) / methyl methacrylate (MMA) & tri-n-butylborane (TBB) resin as a retrograde filling material by using methylene blue dye method.

Fifty-two single rooted, extracted teeth were instrumented and obturated with gutta percha and AH plus sealer. The apical 3mm of each root was resected and 3mm deep ultrasonic root end preparation was done. External surface of roots was coated with nail varnish. Prepared teeth were randomly divided into five groups: Negative control: completely covered with nail varnish; Positive control: coated with nail varnish except for apical foramen; Group 1 (retrofilled with Portland cement); Group 2 (retrofilled with MTA); Group 3 (retrofilled with MTA powder mixed with 4-META/MMA & TBB resin). Immediately after completion of root-end filling, all specimens were submerged in methylene blue dye for 72 hours in 37°C incubator. The roots were longitudinally sectioned and measured for extent of dye penetration by three different examiners under microscope (×10). The results were statistically analyzed using one way ANOVA and Turkey's HSD test. No leakage was evident in negative control and complete leakage in positive control group. Group 3 showed significantly less leakage than group 1 and 2 ( $p < 0.01$ ). There was no significant difference between group 1 and 2 ( $p > 0.01$ ).

It was concluded that MTA powder with 4-META/MMA & TBB resin was excellent in reducing initial apical microleakage. [J Kor Acad Cons Dent 34(4):371-376, 2009]

**Key words:** Apical Microleakage, MTA, 4-META/MMA & TBB resin, Root-End Filling Material

-Received 2009.6.11., revised 2009.6.27., accepted 2009.7.3.-

## I. 서 론

근관치료 실패의 가장 중요한 원인으로 불완전한 근관계의 cleaning과 shaping, 불완전한 밀폐 등을 들 수 있다<sup>1)</sup>. 따라서 근관치료를 실패한 치아나 근관치료가 불가능한 치

아의 치근단 수술시 대부분의 치아에서 치근단 절단 후 역충전이 필요하게 된다<sup>2)</sup>. 치근단 역충전의 일차적인 역할은 근관계를 완전히 밀폐하여 근관계로부터 세균 및 세균 산물의 치근단 누출로 인한 치근단 자극을 방지하는 것이다<sup>3)</sup>. 불완전한 치근단 충전은 외과적 근관치료의 가장 큰 실패 원인으로 여겨지고 있다<sup>4)</sup>. 따라서, 치근단 수술의 성공과 실패에 미치는 치근단 역충전 재료의 역할은 매우 중요하다.

Mineral Trioxide Aggregate (MTA) 시멘트는 1990년대 Torabinejad에 의해 처음 치과 근관 치료학 분야에 소개된 이래 다양한 용도로 널리 사용되고 있다<sup>5)</sup>. MTA 시멘트

\*Corresponding author: **Won-Kyung Yang**  
Assistant professor, Dept of Conservative Dentistry,  
Asan Medical Center, Ulsan University  
388-1, Pungnap-Dong, Songpa-Gu, Seoul, Korea, 138-736  
Tel: 02-3010-3824, Fax: 02-3010-6967  
E-mail: wonkys504@hanmail.net

\*이 연구는 아산생명과학연구소의 연구비 (과제번호 2008-453) 지원에 의하여 이루어졌음.

는 치근 천공<sup>6,7)</sup>, 분지부 천공<sup>8)</sup>, 치근단 역충전<sup>5,9)</sup> 등의 수복 재료로, 그리고 직접 치수 복조술<sup>10,11)</sup>, 치근침 형성술<sup>12)</sup> 등의 술식에 널리 사용되고 있고, 생체친화도도 매우 우수한 재료로 알려져 있다<sup>13,14)</sup>. 그러나, MTA 시멘트의 이런 다양한 임상 적용과 장점에도 불구하고 3시간여에 이르는 긴 초기 경화 시간<sup>15)</sup>, 이에 따른 initial looseness와 과도한 수분하에서 재료의 washout, 조작의 어려움 등이 문제점으로 지적된다<sup>16)</sup>. 따라서, 이러한 문제점들을 개선하고자 하는 많은 시도들이 진행되어 왔다.

치과용 수복재와 접착제로 널리 사용되어 온 치과용 레진은 오랜 기간의 연구의 결과로 초기 제품에 비해 물성이 획기적으로 향상되어 그 적용 범위가 치수 복조<sup>17)</sup>, 치근단 역충전<sup>18,19)</sup>에 이르기까지 넓어졌다. 그러나, 치근단 수술 과정의 특성상 높은 상대습도와 충전 중 또는 충전 후 경화되기 전까지 혈액과 조직액 등에 의한 오염으로 인한 물성의 저하가 우려되어 실제 임상에서의 적용에 한계가 있다<sup>20)</sup>. 또한, 그 생체 적합성에 관해서 아직 논란의 여지가 있는 실정이다<sup>21)</sup>.

치과용 레진 접착제인 4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META) / methyl methacrylate (MMA) & tri-n-butylborane (TBB) 레진 (Superbond<sup>®</sup> C&B, Sun Medical, Moriyama, Japan) 은 치아 경조직의 수복 뿐만 아니라 치주, 치수, 또는 치근단 조직과 직접 접촉하는 부위의 수복에도 그 사용이 시도되고 있다. 치근단 수술이나 치아 재식시 치근단 봉쇄를 위한 sealing<sup>22)</sup>, 수직 파절된 치근의 접착<sup>23)</sup>, 노출 치수의 직접 복조<sup>24)</sup> 등의 재료로도 사용하여 성공적인 결과를 얻었다는 여러 연구들이 보고되었다. 이는 4-META/MMA & TBB 레진의 낮은 세포독성과, 습한 환경에서의 높은 중합률, 완전 경화 후 뛰어난 생체적합성 등의 특성에 기인한다고 하였다. 또한 백악질과 안정적인 접착을 이루며, 매우 빠른 경화시간으로 인해 적용 후 5초만 지나도 혈액 오염에 의한 sealing ability의 저하가 없는 것으로 보고되었다<sup>25)</sup>.

경화 촉진제 등 여러 가지 물질들을 첨가하여 MTA의 문제점을 개선하려는 연구들은 대개 물리적인 성질이나 생체 적합성에 초점이 맞추어져 왔고, 치근단 미세 누출에 관한 연구는 매우 드문 실정이다. 이 연구에서는 4-META/MMA & TBB레진을 MTA 시멘트에 적용시켜 치근단 역충전 재

료로 사용하였을 때 치근단 미세누출 정도를 평가하여, MTA의 문제점 개선과 임상적인 적용의 가능성을 알아 보 고자 하였다.

## II. 실험재료 및 방법

치근 형성이 완성되고 한 개의 근관과 한 개의 치근단공을 가지는 52개의 발치된 인간의 단근치를 이 실험에 사용하였다. 초음파 기구로 치근 표면의 오염을 제거하고, 2.5% NaOCl에 30 분간 담가 잔존 조직을 제거하였다. 고속의 handpiece와 701번 carbide bur로 백악법랑경계에서 치관 부를 절단하여 치근만 사용하였다.

10번 K-file을 사용하여 파일이 치근단에서 보이는 길이에서 1mm를 뺀 길이를 작업장으로 결정하고, crown down 방법으로 Profile (Dentsply Maillefer, USA) 40 번까지 근관확대 및 성형을 시행하였다. 5.25% NaOCl 용액을 근관 세척액으로 사용하였다. Gutta percha 와 AH plus sealer를 이용하여 열연화 수직가압법으로 근관 충전을 시행하였다 (E&Q plus : Meta Biomed Inc. USA). 각 치아의 치관부는 intermediate restorative material (IRM) 로 밀폐되었다.

주수하에 701번 fissure bur와 저속의 handpiece를 사용하여 치아 장축에 수직으로 치근단 3mm를 절단한 후, 초음파 기구 (Suprasson P-Max : Acteon Inc. France) 를 이용해 치아 장축에 평행하게 3mm 깊이의 치근단 역충전 와동을 형성하였다. 절단된 치근단 부위를 제외한 치근 표면에 두 겹의 nail varnish를 발라 주었다. 형성된 와동의 충전 재료에 따라 치아들을 무작위로 3개의 실험군 (n = 12)과 양성 대조군, 음성 대조군 (n = 8)으로 나누었다 (Table 1). 1, 2군에서는 포틀랜드 시멘트 (1종 보통 포틀랜드 시멘트, 현대시멘트(주), Korea)와 white Proroot MTA (Dentsply, Tulsa Dental, JC, USA)를 제조사의 지시대로 증류수와 혼합하여 치근단 역충전 하였다. 3 군에서는 형성된 와동에 10% citric acid와 3% ferric chloride (Activator green)로 5초간 적용 후 수세, 건조하고, 동일 부피비의 MTA와 Super Bond C&B polymer (PMMA) 를 혼합한 powder와 monomer (4-META/MMA) 4방울 과 catalyst (TBB) 1방울을 혼합한 activated liquid를 만

**Table 1.** Experimental design of each groups

Group	n	Root-end filling material	Mixing vehicle
1	12	Portland Cement	Sterile distilled water
2	12	ProRoot MTA	Sterile distilled water
3	12	ProRoot MTA	4-META/MMA & TBB resin
Control (+)	8	No root end filling	
Control (-)	8	No root end filling, nail varnish coating to root apex	

들어 즉시 혼합하여 역충전 하였다. 적절한 powder / liquid ratio는 예비 실험을 통하여 결정하였다. 음성 대조군에서는 치근단까지 완전히 nail varnish를 발라 주었고, 양성 대조군에서는 치근단 외동을 충전하지 않았다.

치근단 역충전 시행 후 즉시 모든 표본들은 72 시간동안 37°C incubator에서 2% methylene blue dye (Sigma Chemical CO, St Louis, MO, USA)에 침적되었다. 각 치아의 치관부를 sticky wax로 glass vial cover 내면에 수직으로 고정하여 치근 부위가 염색 용액에 잠기도록 하였다. 이후 각각의 치근을 협설로 치아 장축에 평행하게 절단한 후, 3명의 검사자가 염료의 침투 길이를 현미경 (OPMI Pico, Carl Zeiss, Germany) 하에서 10배의 배율로 0.1 mm 단위로 측정하였다.

측정된 결과값은 one way Analysis of variance (ANOVA)와 Turkey's Honestly Significant Difference (HSD) test 를 사용하여 통계 분석하였다.

### III. 실험 결과

3 군에서는 1, 2 군에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 미세누출을 보였으며 ( $p < 0.01$ ), 1 군과 2 군의 결과는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.01$ ) (Table 2,

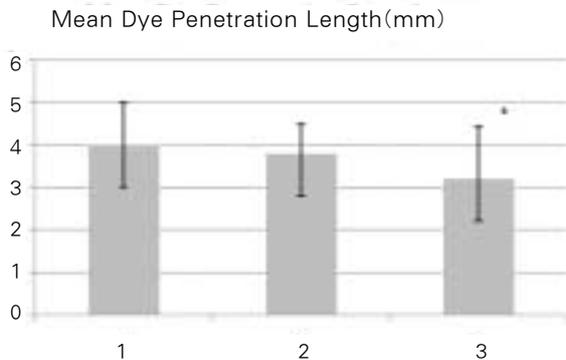


Figure 1. Results of dye penetration measurement (\*means statically significant difference).

Figure 1). 양성 대조군에서는 근관 충전된 치근 전반에 이르는 미세누출이 관찰되었으며, 음성 대조군에서는 미세누출이 전혀 관찰되지 않았다. 색소가 침투한 각 군의 대표적인 사진들을 첨부하였다 (Figure 2).

### IV. 총괄 및 고찰

이상적인 치근단 역충전 재료로써 갖추어야 할 조건으로 완전한 치근단의 봉쇄를 비롯하여, 생체 적합성, 항균성, 체적 안정성, 조작의 편이성, 불용성, 방사선 불투과성 등을 들 수 있다. 그러나, 현재까지 사용되고 있는 단일 재료로 이러한 조건을 모두 충족시키는 재료는 없으며<sup>5)</sup>, 이는 개발 이래 치근단 충전 재료로 가장 널리 사용되고 있는 MTA에서도 예외가 아니다. MTA의 문제점들을 해결하고자 지나치게 긴 경화시간을 단축하기 위한 경화 촉진제 첨가나 조작을 용이하게 하기 위한 물질의 첨가 등을 주종으로 하는 많은 연구들이 시도되고 있다. 가장 많은 연구가 이루어진 첨가물은 경화 촉진제인 calcium chloride로, MTA에 첨가시 경화시간 단축과 물리적인 성질의 향상을 얻을 수 있다는 여러 보고들이 있어 왔다<sup>16,26,27)</sup>. 그러나, chloride 이온이 수분의 존재하에서 금속의 부식을 촉진할 수 있으며<sup>28)</sup>, 칼슘 이온 유리를 증가시켜 재료의 용해도를 증가시킬 가능성이

Table 2. Results of dye penetration measurement

Group	n	Mean ± SD (mm)	Minimum Leakage (mm)	Maximum Leakage (mm)
1	12	4.0 ± 0.99	3	6.3
2	12	3.7 ± 0.68	2.7	5
3	12	2.3 ± 1.2*	1.2	5

\* means statically significant difference



Figure 2. Buccolingual sectional view of each group with methylene blue dye penetration.

있다<sup>27)</sup>. 또한, 경화 시간이 단축된다 해도 여전히 30분 이상으로 길고<sup>29,30)</sup>, 재료 조작의 어려움에 있어서는 개선되는 바가 없어 보인다.

이 연구에서 4-META/MMA & TBB 레진을 MTA와 혼합하여 사용하고자 한 것은 빠른 경화시간을 갖는 재료와의 혼합으로 경화시간 단축과 초기 미세누출의 감소를 기대하였기 때문이었다. 실험 결과로 볼 때 MTA-레진 혼합 재료에서 MTA나 포틀랜드 시멘트보다 통계적으로 유의하게 적은 미세누출을 보였다. 이번 논문에 포함되지는 않았으나 함께 진행된 연구에서 측정된 이 혼합 재료의 경화 시간은 11분 정도로, MTA에 비해 매우 짧았다 (unpublished data). 따라서 치근단 수술시 긴 경화 시간을 갖는 MTA가 충전 후 조직 내 환경에 바로 접촉함으로써 발생할 수 있는 초기 미세누출이 개선될 가능성이 있을 것으로 보인다.

MTA와 증류수 혼합시 잘 응집되지 않고 흩어지려는 경향이 있어 와동에 적용하기 어려운 점이 단점 중 하나로 지적되어 왔다<sup>16)</sup>. MTA와 4-META/MMA & TBB 레진 혼합 재료는 혼합 직후 점착성이 있어 끈적거리다가, 약 1분 후부터는 점착성이 줄어들면서 잘 응집되어 와동에 적용하고 응축하기에 용이한 상태가 되었다. 이러한 면에서는 재료 조작의 편의성이 MTA 보다 우수한 것으로 보이지만, 혼합시 부가적인 단계가 추가되어 시간적으로나 술식의 복잡도 면에서 더 우수하다고 볼 수는 없었다.

이번 연구에서 측정된 포틀랜드 시멘트와 MTA의 미세누출 정도는 Bortoluzzi<sup>31)</sup> 등의 2006년 연구와 유사하나, 대부분의 다른 연구들에 비해 비교적 높은 편으로<sup>5,32-34)</sup>, 이는 실험 방법의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 대개의 연구에서 재료를 혼합 후 24시간 기다렸다가 미세누출 실험을 시작하였는데, 이는 재료가 경화되고 팽창하여 치근단 밀폐 능력이 증가하기에 충분한 시간이다<sup>31)</sup>. 이 실험에서는 치근단 충전 후 바로 치아를 염료에 담갔으므로 완전히 경화된 후보다 미세 누출 값이 더 높게 나온 것으로 보이며, 이 차이는 매우 긴 초기 경화시간을 가지는 재료에서 더 크게 나타날 것으로 예상된다. Torabinejad 등<sup>5)</sup>도 MTA로 역충전 후 즉시 염료에 색소에 담갔을 때 더 큰 누출을 보였으며, 이는 재료의 긴 경화시간 때문이라고 하였다. 이번 실험에서 사용한 방법은 치근단 충전 후 경화되기 전 바로 조직과 접촉하는 치근단 수술이라는 실제 임상 상황과 더 유사하다고 볼 수 있다<sup>31)</sup>.

이 실험의 결과를 볼 때, MTA와 4-META/MMA & TBB 레진 혼합 재료는 치근단 역충전시 포틀랜드 시멘트나 MTA에 비해 낮은 초기 미세누출을 보여, 치근단 봉쇄 효과가 우수한 것으로 사료되지만, 레진의 혼합으로 인한 MTA의 물리, 화학적 성질, 생체 적합성, 조직 반응의 변화 등에 관한 더 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

## V. 결 론

MTA와 4-META/MMA & TBB레진 혼합 재료는 치근단 역충전시 포틀랜드 시멘트나 MTA에 비해 낮은 초기 미세누출을 보여, 충전 초기 치근단 봉쇄 효과가 우수한 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Ingle JI, Beveridge EE, Glick DH, Weichman JA. Endodontic success and failure: the Washington study. In Ingle JI, Barkland LK, eds. Endodontics. 4rd ed. Baltimore:Williams and Wilkins:21-45,1994.
2. Rud J, Andreasen JO, Jensen MJE. A multivariate analysis of the influence of various factors upon healing after endodontic surgery. *Int J Oral Surg* 1:1258-71,1972.
3. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod* 21:489-92,1995.
4. Harty FJ, Parkins BJ, Wengraf AM. The success rate of apicoectomy. A retrospective study of 1016 cases. *Br Dent J* 129:407-13,1970.
5. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 19:591-5,1993.
6. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 19:541-4,1993.
7. Holland R et al. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. *J Endod* 27:281-4,2001.
8. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 79:756-63,1995.
9. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod* 21:603-8,1995.
10. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam SP. Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc* 127:1491-4,1996.
11. Faraco IM Jr, Holland R. Response of the pulp of the dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol* 17:163-6,2001.
12. Shabahang S, Torabinejad M. Treatment of teeth with open apices using mineral trioxide aggregate. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 12:315-20,2000.
13. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod* 26:288-91,2000.
14. Koh ET, McDonald F, Pit Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod*:24:543-7,1998.
15. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pit Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 21:349-53,1995.
16. Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and

- decrease setting time. *J Endod* 33:1231-4,2007.
17. Olmez A, Oztaş N, Başak F, Sabuncuoğlu B. A histopathologic study of direct pulp-capping with adhesive resins. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 86:98-103,1998.
  18. Rud J, Munksgaard EC, Andreasen JO, Rud V, Asmussen E. Retrograde root filling with composite and a dentin-bonding agent. 1. *Endod Dent Traumatol* 7:118-25,1991.
  19. Rud J, Munksgaard EC, Andreasen JO, Rud V. Retrograde root filling with composite and a dentin-bonding agent. 2. *Endod Dent Traumatol* 7:126-31,1991.
  20. Miles DA, Anderson RW, Pashley DH. Evaluation of the bond strength of dentin bonding agents used to seal resected root apices. *J Endod* 20:538-41,1994.
  21. Fernandes AM, Silva GA, Lopes N Jr, Napimoga MH, Benatti BB, Alves JB. Direct capping of human pulps with a dentin bonding system and calcium hydroxide: an immunohistochemical analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105:385-90,2008.
  22. Tanaka Y, Sugaya T, Tanaka S, Kawanami M. Long-term durability of root-end sealing with 4-META/MMA-TBB resin. *Dent Mater J* 23:453-6,2004.
  23. Hayashi M, Kinomoto Y, Takeshige F, Ebisu S. Prognosis of intentional replantation of vertically fractured roots reconstructed with dentin-bonded resin. *J Endod* 30:145-8,2004.
  24. Kitamura C, Ogawa Y, Morotomi T, Terashita M. Differential induction of apoptosis by capping agents during pulp wound healing. *J Endod* 29:41-3,2003.
  25. Tanaka Y, Sugaya T, Kawanami M. Durability of adhesion between 4-META/MMA-TBB resin and cementum. *Dent Mater J* 23:265-70,2004.
  26. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod* 32:569-72,2006.
  27. Bortoluzzi AE, Broon NJ, Duarte MAH, de Oliveira Demarchi AC, Bramante CM. The use of a setting accelerator and its effect on pH and calcium ion release of mineral trioxide aggregate and white Portland cement. *J Endod* 32:1194-7,2006.
  28. Naqvi AA, Nagadi MM, Al-Amoudi OS. Prompt gamma analysis of chlorine in concrete for corrosion study. *Appl Radiat Isot* 64:283-9,2006.
  29. Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Felipe WT, Tanomaru Filho M, Esberard RM. The influence of calcium chloride on the setting time, solubility, disintegration, and pH of mineral trioxide aggregate and white Portland cement with a radiopacifier. *J Endod* 35:550-4,2009.
  30. Wiltbank KB, Schwartz SA, Schindler WG. Effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 33:1235-8,2007.
  31. Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Garcia RB, de Moraes IG, Bernardineli N. Sealing ability of MTA and radiopaque Portland cement with or without calcium chloride for root-end filling. *J Endod*. 32:897-900,2006.
  32. Andelin WE, Browning DF, Hsu GHR, Roland DD, Torabinejad M. Microleakage of resected MTA. *J Endod* 28:573-4,2002.
  33. Torabinejad M, Wilder Smith P, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root end filling materials. *J Endod* 21:295-9,1995.
  34. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the root-end sealing ability of MTA and Portland cement. *Aust Endod J* 31:59-62,2005.

## 국문초록

### MTA와 4-META/MMA & TBB레진 혼합 재료의 치근단 미세누출에 관한 연구

김진철 · 김미리 · 고현정 · 양원경\*

울산대학교 서울아산병원 치과 보존과

이 연구에서는 Mineral Trioxide Aggregate (MTA)와 4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META) / methyl methacrylate (MMA) & tri-n-butylborane (TBB) 레진을 혼합하여 치근단 역충전 재료로 사용하였을 때의 미세누출을 MTA, 포틀랜드 시멘트와 비교하였다.

발치된 사람 치아의 근관형성 및 충전 후 치근단 절제와 역충전 와동을 형성하였다. MTA, Portland cement, MTA와 4-META/MMA & TBB레진을 혼합한 각각의 재료로 치근단을 역충전한 후 methylene blue dye에 72시간 동안 침적하여 염료가 침투한 길이를 10배 현미경 하에서 측정하였다.

MTA와 4-META/MMA & TBB 레진 혼합 충전 군에서는 포틀랜드 시멘트나 MTA 충전군보다 통계적으로 유의하게 적은 미세 누출을 보였으며, 포틀랜드 시멘트와 MTA 충전군의 미세 누출 정도는 통계적으로 차이가 없었다.

이 실험의 결과로 보아 MTA와 4-META/MMA & TBB레진 혼합 재료는 치근단 역충전시 포틀랜드 시멘트나 MTA에 비해 낮은 초기 미세누출을 보여, 치근단 봉쇄 효과가 우수한 것으로 사료된다.

**주요단어:** 치근단 미세누출, MTA, 4-META/MMA & TBB 레진, 치근단 역충전 재료