

치근단 형성술(Apexification)에 있어서 MTA(Mineral Trioxide Aggregate)의 적용

백병주 · 전소희 · 김영신 · 김재곤

전북대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

소아환자에 있어 외상성 손상은 미완성된 치근의 발육을 방해할 수 있다. 미완성된 치아의 치수가 괴사된 경우 근관은 완전히 세척되어야 한다. 그러나 apical stop이 부족하고 얇고 부서지기 쉬운 치수벽 때문에 적절한 apical seal을 얻기 위해서는 치근단 형성술을 시행해야 한다. 지금까지 수산화 칼슘이 치근단 형성술의 선택약제가 되어왔다. 그러나, 수산화칼슘을 이용한 치근단 형성술은 치료시기가 다양하고, apical closure도 불확실하며, 환자 follow up이 어렵고, 치료가 늦어지는 한계가 있다. 이에 인공적인 apical barrier를 형성시켜 근관의 즉각적인 충전을 할 수 있는 MTA(Mineral Trioxide Aggregate, DENTSPLY Tulsa Dental, U. S. A)를 이용하였다.

MTA는 tricalcium silicate, tricalcium aluminate, tricalcium oxide와 silicate oxide와 같은 친수성 입자로 구성된다. 또한 소량의 mineral oxide와 bismuth oxide powder를 포함한다. MTA는 경화후 pH가 수산화칼슘 또는 Ca(OH)₂와 유사한 12.5로 항균작용을 지닌다. 용해도가 낮고, 상아질보다 약간 더 큰 방사선 불투과성을 보인다. 또한 다른 재료들보다 미세 누출이 상당히 적고 다른 재료들보다 경조직 형성 능력이 뛰어나다.

본 증례는 전북대학교 소아치과에 외상으로 인해 치근단이 미완성된 미성숙 영구치의 치근단 형성술을 위해 내원한 환아에 대해 MTA를 적용하여 양호한 결과를 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

주요어 : 치근단 형성술, MTA(Mineral Trioxide Aggregate), 항균작용, 용해도, 방사선 불투과성, 경조직 형성

I. 서 론

치근단 형성술(Apexification)이란 미성숙 치아의 치수가 생 활력을 상실한 경우 골백악질, 골상아질 혹은 그와 유사한 경조직의 침착을 촉진시켜 치근을 인위적으로 폐쇄(apical closure)시키는 술식이다¹⁾. 치근이 완성되지 못한 상태에서 무리하게 근관치료를 완료하려다 가는 치근단에 치근단 받침(apical stop)이 없는 상태에서 근관충전을 해야하기 때문에 과충전이나 불완전 충전이 되어 결국에는 근관치료를 실패할 수 있으므로 apical stop을 형성할 수 있는 약제인 수산화칼슘을 이용하였다²⁻⁴⁾. 그러나 수산화칼슘을 이용한 치근단 형성술시 근침이 완성되는데 걸리는 시간 및 근침완성후 완전한 근관치료 및 수복시간이 길고, 환자의 recall check이 안될 경우 불완전한 근관치료로 끝날 수가 있어서 환자가 비협조적인 경우에는 실패할 수 있다. 수산화칼슘 이용시 이런 한계를 극복하기 위한 방법으

로 MTA (Mineral Trioxide Aggregate)를 이용할 수 있다^{2,5)}.

MTA는 치아내부(근관계: root canal system)와 그 외부를 차단할 수 있는 새로운 충전재로 주위의 정상적인 치유과정을 도모하고^{5,13,16,17)}, 치근단 역충전⁶⁻¹⁰⁾이나 천공부위 수복시^{6,11-13)} 재료와 인접하여 새로운 백악질의 형성을 유도하고, 미세누출이 거의 없는 것으로 나타났으며⁶⁾, 경화시간이 길어 작업시간이 충분하다는 장점이 있다^{6,14)}. 또한 apical plug형성후 바로 완전한 근관치료 및 치아 수복이 가능하여 협조도가 불량한 환자에서 일반적인 근관치료시기로 치료를 끝낼 수 있는 장점이 있다.

본 증례는 전북대학교 소아치과에 외상으로 인해 치근단이 미완성된 미성숙 영구치의 치근단 형성술을 위해 내원한 환아에 대해 MTA를 적용하여 양호한 결과를 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 증례보고

1. 증례 1

- Age/Sex: 8/M
- Chief Complaint: 상악 우측 중절치(#11)의 동요와 정출성 탈구
- Present Illness: 내원 1시간 전에 교실에서 넘어져 C/C 보임

· Progress Note

- 2000. 4. 4 Examination & X-ray taking, Resin & wire splint
- 4. 7 #11 Access opening & Extirpation
- 4. 14 #11 Vitapex filling
- 4. 24 Splint removal, #11 Vitapex check
- 5. 18 #11 Canal shaping & MTA sealing
- 5. 26 #11 Canal obturation & Resin restoration
- 2001. 3. 30 #11 Follow up check

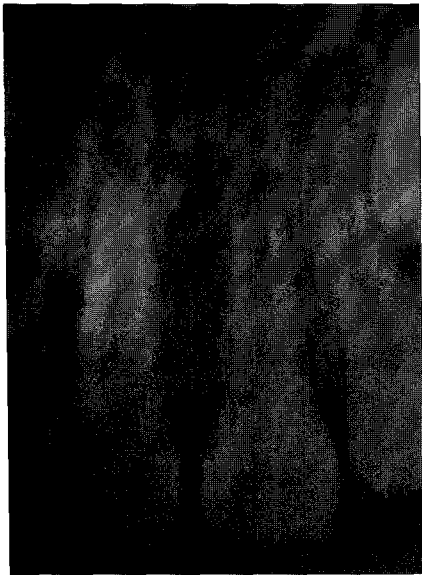


Fig.1-a. radiography of first visit



Fig.1-b. Working Length Determination on #11



Fig.1-c. radiography after Vitapex filling on #11

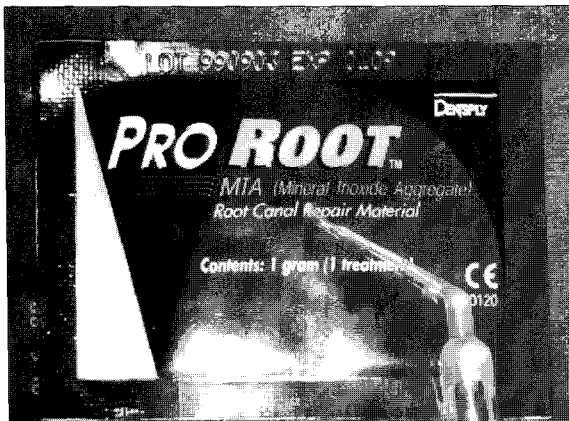


Fig.1-d. ProRoot MTA



Fig.1-e. MTA powder and liquid

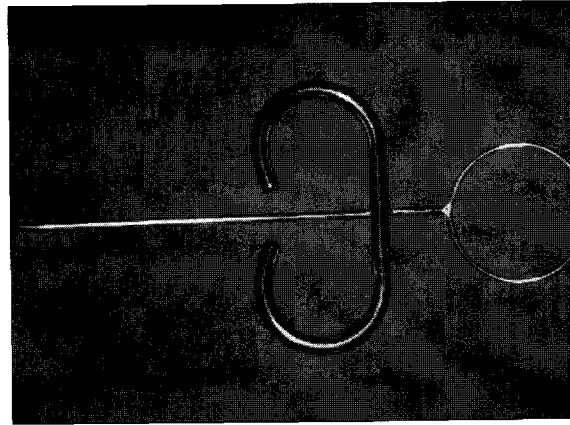


Fig.1-f. micro-carrier for MTA



Fig.1-g. radiography after MTA sealing

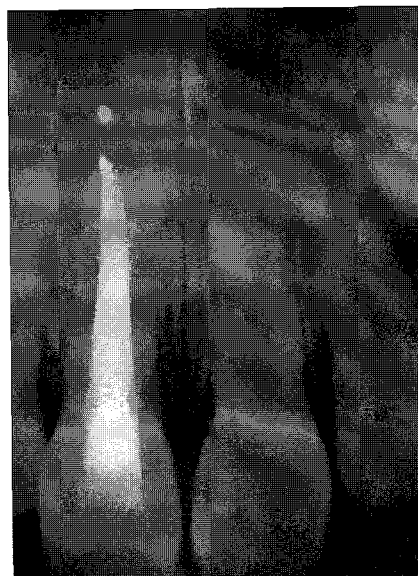


Fig.1-h. radiography after endodontic sealing and composite resin filling



Fig.1-i. radiography after 10 months

2. 증례 2

- Age/Sex: 24/M
- Chief Complaint: 상악 우측 중절치(#11)의 치관파절과 심한 변색
- Present Illness: 8세경 넘어져 #11 치관파절 보였으나 방치해오다 심한 변색 보임
- Progress Note
2000. 1. 11 Examination & X-ray taking

- #11 Access opening & pulp extirpation, Vitapex filling
- 3. 11 #11 Vitapex check
- 5. 11 #11 Vitapex check, COLLATAPE(Collat-Tec Inc, U.S.A.)과 MTA sealing
- 5. 18 #11 Canal shaping & sealing, Resin restoration
- 6. 10 #11 Check후 PFM 수복
- 2001. 4. 20 #11 Follow up check

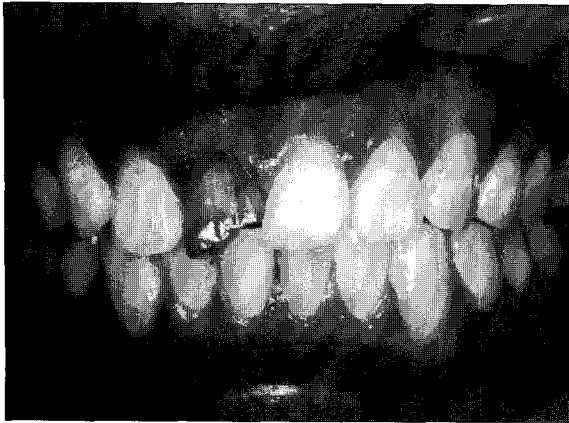


Fig.2-a. intraoral photography of first visit with crown fracture and severe discoloration

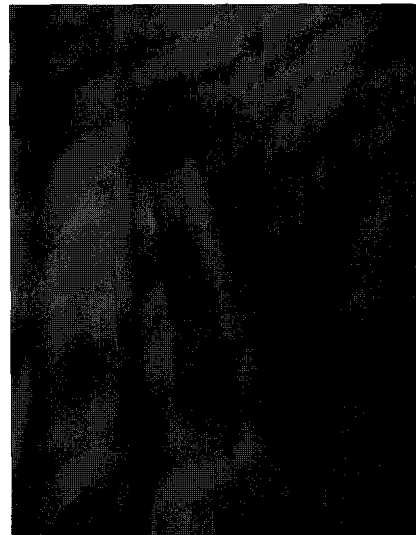


Fig.2-b. radiography of first visit



Fig.2-c. radiography after Vitapex filling on #11

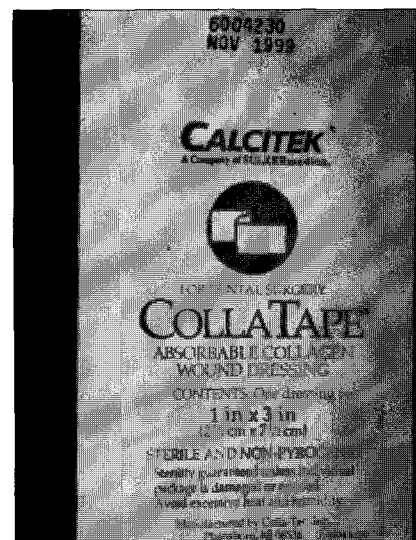


Fig.2-d. COLLATAPE for apical stop



Fig.2-e, f. intra-canal application of COLLATAPE and MTA, radiography



Fig.2-g, h. radiography and intraoral photography after 12months

III. 총괄 및 고찰

MTA(Mineral Trioxide Aggregate)는 1990년대 초 Loma Linda대학에서 치아내부와 그 외부를 차단할 수 있는 새로운 충전재로 소개되어 root end fillings, direct pulp capping, root furcation perforation repair, apexification, strip perforation, resorptive defect의 perforation등에 사용되고 있다. 'ProRoot MTA Root Canal Repair Material (DENTSPLY Tulsa Dental, U. S. A)' 라는 제품으로 출시되고 있는 MTA는 cementum overgrowth를 허용하고, 골 형성 및 치주인대 재생을 촉진시켜서 골에 적용시 이상적인 재료로 여겨지고 있다¹⁴⁾. MTA에 대하여 여러 논문학적 고찰을 살펴보면 다음과 같다.

1. Composition and physical properties

MTA는 tricalcium silicate, tricalcium aluminate, tricalcium oxide, silicate oxide의 미세한 친수성 입자로 구성된 분말이다. 또한 화학적, 물리적 성질을 변형시키는 다른 mineral oxides를 소량 포함한다. 분말이 증류수 또는 국소마취용액과 혼합되면서 수화되면 약 3시간 후에 고형화 되어 콜로이달 젤 형태로 된다^{5,6,14-16)}. 방사선 불투과성을 위해서 bismuth oxide가 첨가된다. MTA분말의 electron probe microanalysis결과에서 칼슘과 인이 주요한 이온으로 존재한다^{6,14)}.

MTA의 압축강도는 혼합후 24시간 후에는 약 40.0MPa, 21일후에는 67.3MPa로 IRM이나 Super-EBA등과 유사하다^{5,14)}.

MTA는 경화후 pH가 수산화칼슘과 유사한 12.5로 antimicrobial properties를 보인다. 또한 낮은 용해도, 상아질보다 다

소 큰 방사선 불투과성을 보인다. 반면 압축강도가 낮기 때문에 functional areas에 위치시켜서는 안된다^{5,6,14)}.

2. In Vitro leakage studies

미세누출은 치근단 충전과 천공 수복시 성공과 실패를 결정하는 중요한 요소로 여겨진다⁶⁾. Torabinejad 등¹⁸⁾은 아말감, SuperEBA, IRM으로 치근단 역충전시 3.8~14.9microns의 누출을 보인 반면 MTA이용 시에는 변연 누출을 보이지 않음을 보고하였다. 또 다른 연구에서 Torabinejad 등¹⁷⁾은 MTA가 아말감과 SuperEBA보다 누출이 상당히 적음을 발견하였다. 유사한 결과들이 Fischer 등¹⁶⁾에 의해 보고되었다. 치근단 역충전시 혈액의 영향에 대한 Torabinejad 등¹⁹⁾의 한 연구에서는 MTA가 아말감, SuperEBA, IRM보다 상당히 누출이 적었다. 특히 IRM과 SuperEBA는 blood contamination시 밀폐가 제대로 되지 않았다. Bates 등²⁰⁾은 MTA, SuperEBA, IRM의 sealing properties를 실험하기 위해 fluid filtration을 사용하였는데, 치근단 역충전시 미세누출을 차단하는데 있어 MTA가 아말감보다 우수하였으며, SuperEBA와는 비교할만함을 발견하였다.

Torabinejad 등²¹⁾은 MTA, 아말감, SuperEBA or IRM으로 3mm 치근단 역충전을 한 단근치 근관의 bacterial coronal microleakage를 평가하였다. 그 결과 MTA가 다른 재료들보다 유의하게 적은 누출을 보였다. 이들은 또한 다른 재료들은 연구 15~34일 사이에 누출이 시작된 반면 MTA로 충전된 치아는 연구가 끝날 때까지도 누출이 일어나지 않음을 관찰하였다. Adamo 등²²⁾에 의한 유사한 연구에서는 MTA, SuperEBA, dentin bonded amalgam, 복합레진에 있어서 bacterial pen-

etration 차이가 발견되지 않았다. endotoxin을 이용한 coronal microleakage 연구에서 Tang 등²³⁾은 MTA가 아말감, IRM보다 우수함을 보고하였다.

Nakata 등²⁴⁾의 연구에서 furcation repair시 *Fusobacterium nucleatum*의 누출을 방지하는데 있어 MTA가 아말감보다 우수하다고 보고하였다. Lee 등¹³⁾은 측방 치근 천공시 MTA가 IRM, 아말감보다 누출이 적다고 하였고, 또한 천공부위로 MTA가 overextrusion시 IRM, 아말감보다 훨씬 문제가 적다고 하였다.

3. Biocompatibility

Torabinejad 등은 MTA에 대해 일년의 biocompatibility 연구를 시행하였다. Kettering과 Torabinejad²⁵⁾은 MTA가 non-mutagenic하다고 하였고, Torabinejad 등¹⁵⁾은 MTA가 SuperEBA, IRM보다 덜 cytotoxic하다고 하였다. 동물 연구에서, MTA는 cementum overgrowth를 허용하는 유일한 재료로 연구되었다^{9,10)}. MTA는 돼지^{7,8,15)}, 개⁹⁾, 원숭이¹⁰⁾들에게 재식시 biocompatible하며, 아말감, SuperEBA or IRM보다 훨씬 biocompatible하다. 이러한 연구들은 MTA가 active하게 경조직 형성을 증진시킬 수 있음을 시사한다.

4. Antimicrobial properties

Torabinejad 등²⁶⁾은 9개의 통성 박테리아와 7개의 혐기성 박테리아에 대해 MTA, 아말감, ZOE, SuperEBA를 이용하여 실험한 결과 MTA는 5개의 통성 박테리아에 대해 antibacterial effect를 보인 반면 다른 혐기성 세균에는 전혀 효과가 없었고, 다른 재료들도 유사한 효과를 보였다.

5. In vivo studies

Torabinejad 등은 MTA 또는 Ca(OH)₂를 이용한 직접 치수 복조술시 원숭이에서의 반응(Pitt 등²⁷⁾)과 개에서의 반응(Abedi 등²⁸⁾)을 비교하였는데, 그 결과 MTA가 염증반응은 더 적고 dentin bridge 형성은 더 잘 이루어짐을 관찰하였다. Myers 등²⁹⁾은 개에서의 치수 복조제로 MTA와 Ca(OH)₂를 평가하였는데 2재료간에 있어 치수 상태나 dentin bridging에 있어 통계학적 유의한 차이가 없음을 보고하였다.

Pitt 등¹¹⁾은 개의 하악 소구치에서의 intentional furcation perforations시 즉시 또는 천공후 4개월 후에 MTA나 아말감으로 수복을 한 결과 MTA가 아말감보다 천공부위 수복에 더 적절하다고 결론지었다. 2명의 환자에 있어 Arens와 Torabinejad¹²⁾는 MTA로 이개부 천공 수복시 osseous repair가 일어남을 보고하였다.

Shabahang 등³⁰⁾은 개의 apexification시 MTA, osteogenic protein-1, Ca(OH)₂를 비교한 결과 MTA가 다른 실험 재료들

보다 훨씬 더 흔히 경조직 형성을 유도함을 발견하였고, 미성숙 치근의 apexification시 apical barrier로 MTA가 적절함을 보고하였다.

MTA는 endodontic surgery시 root-end filling material, 치근단 형성술시 apical plug, 치근 천공시 repair material, pulp capping material로 사용될 수 있다. MTA를 이용한 치근단 형성술식은 다음과 같다. 먼저 적절한 access preparation을 하고, 근관내 기구와 NaOCl로 근관 세척을 시행한 다음, 근관 소독을 위해 1주정도 수산화칼슘 paste를 적용한 후 다음 내원시 NaOCl로 근관에서 수산화칼슘을 세척하고, paper point로 건조시킨 후 MTA를 적용한다. MTA적용은 MTA powder와 증류수를 3 : 1의 비율로 glass/paper slab위에서 plastic이나 metal spatula로 혼합하여 작은 아말감 carrier나 messing gun을 이용하여 근관내 적용하고, 가는 plugger나 paper point로 치근의 apical end측으로 부드럽게 응축시킨다. 이후에 방사선 촬영을 하여 3~4mm apical MTA plug가 형성되었는지를 확인하고, 이상적인 plug형성이 안되었으면 증류수로 다시 MTA를 씻어내고 다시 과정을 반복한다. MTA를 적용할 때 apical opening이 심하고, 근관이 나팔총 모양으로 된 경우 MTA가 치근단 밖으로 밀려 나갈 수 있는데, 이를 방지하기 위해 증례 2에서처럼 흡수성의 COLLATAPE를 이용해 잘라 MTA 적용 전에 치근단 측으로 밀어넣은후 MTA를 적용할 수 있다. MTA는 수분존재하에서 경화되므로 근관 내에 젖은 cotton pellet을 놓고 최소 3~4시간 임시 충전재를 적용하여 MTA가 경화되도록 한다. MTA가 경화된 후 file등으로 apical 측에 적용시 적절한 저항감이 느껴지면 GP cone을 이용한 근관충전을 하고, 최종수복을 한다^{4,6,14)}.

그러나 MTA에 관한 지금까지의 연구 대부분은 Torabinejad등에 의해 이루어졌다. 독립적으로 많은 연구자들에 의해 더 많은 연구가 필요하고 동물실험에서의 결과가 항상 사람에게 같은 결과를 나타내는 것은 아니므로 사람에게 대한 clinical study가 필요하다. 또한 long term study를 통해 새로운 재료의 성공여부를 판단해야 할 것이지만 근관치료의 성공률을 높이기 위해 적절한 증례에 적용했을 때 좋은 결과를 보일 것으로 사료된다⁶⁾.

IV. 요약

외상으로 인해 치근단이 미완성된 영구치의 치근단 형성술에 있어 수산화칼슘 대신 MTA를 적용하여 일반적인 근관치료 기간으로 완전한 근관치료 및 최종 치아수복을 시행하였으며 양호한 결과를 얻었다.

참고문헌

1. Frank A : Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. J Am Dent Assoc

- 72:87-93, 1996.
2. Torabinejad M, Shabahang S, Boyne PP, et al. : A comparative study of root-end using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod* 25:1-5, 1999.
 3. Tronstad L : pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endod* 7:17-21, 1981.
 4. Schumacher JW, Rutledge RE : An alternative to apexification. *J Endod* 19:529-531, 1993.
 5. Torabinejad M, Chivian N : Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 25:197-205, 1999.
 6. Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, et al. : Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *J Am Dent Assoc* 130:967-975, 1999.
 7. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, et al. : Tissue reaction to implanted SuperEBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod* 21:569-571, 1995.
 8. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Abedi HR, et al. : Tibia and mandible reactions to implanted root-end filling materials. *J Endod* 23:263, 1997.
 9. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, et al. : Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod* 21:603-8, 1995.
 10. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, et al. : Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod* 23:225-228, 1997.
 11. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, et al. : Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 79:756-763, 1995.
 12. Arens DE, Torabinejad M : Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate: two case reports. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 82:84-88, 1996.
 13. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M : The sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *J Endod* 19:541-544, 1993.
 14. MSDS(Material safety data sheet) and DFU(Direction for use) of ProRoot MTA root canal repair material. DENTSPLY Tulsa Dental. 2000.
 15. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, et al. : Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod* 21:489-492, 1995.
 16. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH : Bacterial leakage of mineral trioxide as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and SuperEBA as a root-end filling material. *J Endod* 24:176-179, 1998.
 17. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR : The sealing ability of a mineral trioxide aggregate as a root end filling material. *J Endod* 19:591-595, 1993.
 18. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, et al. : Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod* 21:295-299, 1995.
 19. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, et al. : Dye leakage of four root-end filling materials: effects of blood contamination. *J Endod* 20:159-163, 1994.
 20. Bates CF, Carnes DL, del Rio CE : Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod* 22:575-578, 1996.
 21. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, et al. : Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod* 21:109-112, 1995.
 22. Adamo HL, Buruiana R, Rosenberg PA, et al. : Bacterial assay of coronal microleakage: MTA, SuperEBA, composite, amalgam retrofillings(abstract 33). *J Endod* 22:196, 1996.
 23. Tang HM, Morrow SG, Kettering JD, Buruiana R : Endotoxin leakage of four root-end filling materials(abstract 42). *J Endod* 23:259, 1997.
 24. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC : Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage mode. *J Endod* 24:184-186, 1998.
 25. Kettering JD, Torabinejad M : Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod* 21:537-542, 1995.
 26. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, et al. : Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endod* 21:403-406, 1995.
 27. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, et al. : Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc* 127:1491-1494, 1996.
 28. Abedi HR, Torabinejad M, Pitt Ford TR, et al. : The use of mineral trioxide aggregate cement(MTA) as a direct pulp capping agent(abstract 44). *J Endod* 22:199, 1996.

29. Myers K, Kaminski E, Lautenschlager E, et al. :
The effects of mineral trioxide aggregate on the dog
pulp(abstract 39). J Endod 22:198, 1996.
30. Shabahang S, Boyne PJ, Abedi HR, et al. :
Apexification in immature dog teeth using osteogenic
protein-1, mineral trioxide aggregate, and calcium
hydroxide(abstract 65). J Endod 23:265, 1997.

Abstract

CLINICAL APPLICATION OF MTA(MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE) FOR APEXIFICATION

Byeoung-Ju Baik, D.D.S., Ph.D., So-Hee Jeon, D.D.S.,
Young-Sin Kim, D.D.S., M.S.D., Jae-Gon Kim D.D.S., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry and Institute of Oral Bioscience,
School of Dentistry, Chonbuk National University*

Traumatic injuries in young patients can result in the interruption of the development of the incompletely formed roots. In teeth with incomplete root-end formation and necrotic pulps, the root canals must be completely debrided. Because of a lack of an apical stop and the presence of thin and fragile walls in these teeth, it is imperative to perform apexification to obtain an adequate apical seal. Calcium hydroxide has become the material of choice for apexification. Despite its popularity for the apexification procedure, calcium hydroxide therapy has some inherent disadvantages that include variability of treatment time, unpredictability of apical closure, difficulty in patient follow-up, and delayed treatment. An alternative treatment to long-term apexification procedure is the use of an artificial apical barrier that allows immediate obturation of the canal.

MTA(Mineral Trioxide Aggregate) is a powder consisting of fine hydrophilic particles of tricalcium silicate, tricalcium aluminate, tricalcium oxide and silicate oxide. MTA has a pH of 12.5 after setting, similar to calcium hydroxide. This may impart some antimicrobial properties. MTA has low solubility and a radiopacity slightly greater than that of dentin. Also, MTA leaked significantly less than other materials and induced hard-tissue formation more than other materials.

Key words : Apexification, MTA(Mineral Trioxide Aggregate), Antimicrobial properties, Solubility, Radiopacity, Hard-tissue formation