

투고일 : 2010. 11. 9

심사일 : 2010. 11. 15

게재확정일 : 2010. 11. 17

MTA의 Myths & Facts

서울아산병원, 울산대학교 의과대학 치의학 교실
고 현 정

ABSTRACT

The Myths and Facts of MTA

Asan Medical Center, Univ. of Ulsan
Hyunjung Ko

Since MTA has many beneficial properties such as biocompatibility, great sealing capacity, antibacterial effects, low cytotoxicity, and stimulation of formation of mineralized tissue, it has been widely used as the material of choice in root-end filling, apexification, pulpotomy, perforation repair and so on.

However, despite its favorable characteristics, MTA presents working properties which are less than ideal. The resulting cement from the mixing of powder and water is difficult to manipulate, and its setting time has been reported to be 2 h 45 min whereas the working time is <4 minutes. Additional moisture is also required to activate the setting of the cement. Moreover, according to recent studies, the physical properties of MTA may be hampered by acidic environment or blood contamination. Therefore, practitioners may have surprisingly worse results than they expected when they are not fully acquainted with the characteristics and manipulation method of MTA.

Key words : mineral trioxide aggregate, root perforation, apexification, root-end filling material

I. 서론

MTA(mineral trioxide aggregate) 는 치아와 그 주위조직간에 개통이 생겼을 때에 - 의원성(iatrogenic) 또는 병적인 원인에 의해 - 그 개통된 부분을 매워주기(sealing) 위한 목적으로, 1993년 Loma Linda 대학교의 Torabinejad 등에 의해 개발되었다¹⁾. 그 이후로 MTA 에 대해 많은 연구를 거듭

한 결과 MTA는 생체친화적(biocompatible)이고, sealing 능력이 뛰어나며, 항균효과가 좋고, 돌연변이를 유발하지 않으며, 광화조직(mineralized tissue)의 형성을 촉진시키고, 치주인대의 재생을 돕는 등의 성질, 즉 치과재료가 가져야 하는 이상적인 성질을 다수 지니고 있다는 것이 밝혀졌고²⁾, 이에 따라 MTA는 치수복조술, 치수절단술, 치근천공의 수복, 치근침 형성술, 치근단 역충전, 근관충전 등에 광범위하게 사용

되어지기 시작했다³⁾.

하지만, 이러한 많은 장점에도 불구하고, MTA에도 한계점이 존재한다. 즉, 다루기 힘들고, 작업시간이 짧고(4분 이내), 경화시간은 길며(연구에 따라 75분에서 72시간까지), 치아를 변색시킬수 있고, 독성물질을 함유하고 있으며, 일단 경화된 다음엔 제거하기가 힘들다는 점 등이 그 한계점이라 할수 있겠다^{4~7)}.

따라서 근관치료 영역의 거의 전 영역에 걸쳐서 우수한 재료로 인정되어 거의 만병통치약처럼 여겨지며 사용되어지고 있는 MTA 의 한계점에 대해 연구한 논문들과 그 한계점을 극복하기 위한 여러가지 노력들에 대한 논문을 고찰하여 MTA 의 임상적용에 도움이 되고자 한다.

II. 고찰방법

PubMed 에서 검색한 1993년 11월부터 2010년 11월까지 발표된 MTA 관련 논문들을 고찰하였다.

III. 고찰

MTA의 고유의 물성에 따른 한계점

1. 경화시간

MTA 의 긴 경화시간은 MTA 의 가장 두드러진 단점 중 하나이다. 느린 경화과정 중에 물성의 변화가 생길수도 있고, MTA 로 충전하자마자 그 부위를 세척할 경우 세척액에 MTA 가 씻겨 나갈 우려도 있다. 또, MTA 로 충전된 부위의 경화를 확인하고 그 상부를 수복하기 위해 환자를 한번 더 내원하게 해야하는 번거로움도 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위한 많은 연구가 이루어져왔다.

2006년 Kogan 등은 경화시간을 줄이기 위해서 멸균증류수 대신 생리식염수, 2% 리도카인, NaOCl 젤,

K-Y 젤리, 5% 염화칼슘 등과 MTA 분말을 혼합하는 실험을 하였는데, 그 결과, NaOCl 젤, K-Y 젤리, 5% 염화칼슘 등을 사용한 실험군에서 경화시간이 20-25분 정도로 빨라졌다. 하지만, 이들 실험군에서 압축강도가 증류수를 사용했을때보다 현저히 감소했다⁸⁾.

반면 Ber 등은 MTA와 1% 염화칼슘을 혼합한 결과 경화시간이 감소하고 압축강도도 증류수를 사용했을 때와 비슷한 값을 얻었다고 보고하였다⁹⁾. 염화칼슘 이외에도 질화칼슘, 불화칼슘 등의 칼슘 화합물을 이용하여 경화시간을 감소시키고자 하는 노력이 있어왔는데, 이들이 확실히 경화시간을 단축시킨 하지만, pH 를 높인다던가, 칼슘이온이 너무 많이 유리되어 세포성장을 방해한다던가 하는 등의 단점도 아울러 발견되었다^{10,11)}.

따라서, 현재까지는 MTA 의 물성을 약화시키지 않는 범위에서 성공적으로 경화시간을 단축시키는 방법은 없다고 봐야 하며, 이를 위한 노력이 계속되고 있다.

2. 변색

처음으로 소개되어 사용되고 있는 gray MTA 의 치아를 변색시키는 성질 때문에 제조회사에서는 새로운 조성의 white MTA를 개발하였다²⁾. 하지만 몇몇 연구에 의하면 white MTA 역시 치아에 변색을 일으킬 수 있다고 보고되었다^{13,14)}. 이렇게 치아를 변색시키는 성질은 MTA 구성성분 중 철분과 망간이 원인이라고 추정되고 있다.

3. 독성물질 함유

MTA의 구성성분 중에는 비소가 포함되어 있다. 하지만 MTA로부터 유리되는 비소의 양은 매우 적다고 보고되었다. 비록 MTA가 비소를 함유하고 있지만, 그 사실이 그다지 중요하지 않다고 알려졌는데, 그 이유는 MTA의 구성성분 중 산화제2철이 존재하여 이산화제2철이 MTA 내에서 비소성분을 안정화 시켜주고, MTA 자체가 불용성이기 때문이다¹⁵⁾.

현재까지 세계적으로 시판되고 있는 거의 모든 MTA 제품들에서 비소가 발견되었는데, 최근 국내에서 개발된 OrthoMTA 는 제조회사에 따르면 비소 등의 중금속을 배제하였다고 한다(biomta.com). 하지만 아직은 OrthoMTA 에 대한 연구가 많이 이루어지지 않은 상태이므로 앞으로 관련 연구들이 이루어질 것으로 생각된다.

4. 제거의 어려움

MTA는 일단 경화가 완료되면 제거하기가 어렵다. 따라서, apical barrier 로 사용되거나, 근관충전재로 사용된 경우에 근관으로부터의 제거가 불가능하다. 한 연구에 의하면 전동파일과 초음파기구를 이용하여 근관충전된 MTA를 제거해 본 결과 경화된 MTA 는 완전히 제거될수 없었다¹⁶⁾.

또한 현재까지 알려진 바로는 MTA를 녹일 수 있는 용해제도 없다. BioPure MTAD 를 white MTA 에 5분동안 적용시켰을 때 MTA 가 부분적으로 용해된다고 보고되었지만¹⁷⁾, 그 이후로 이에 대해 후속 연구가 이루어지지 않고 있다.

따라서, 현 시점에서는 비록 MTA 가 많은 생물학적, 기계적 장점을 가지고 있더라도 근관충전재로 사용하는 것은 신중을 기해야 할 것으로 생각된다.

5. 그 밖의 한계점

그 밖에도 MTA가 고가의 재료라는 것도 한계점이라고 할 수 있다. 애초에 MTA가 개발될 당시부터, MTA가 Portland cement 와 거의 대부분의 성분을 공유하고 있고, 상대적으로 가격이 많이 저렴하다는 이유로, Portland cement를 MTA 대용으로 사용하는 경우도 많이 있었다. 하지만, MTA에 비해 Portland cement는 생체친화성 등의 성질에 있어서 MTA에 비해 열등한 결과를 나타내어, 그다지 선호되지 않고 있는 실정이다.

또한, MTA 는 조작이 어렵다는 한계점을 가지고 있다. 조작이 어려워 충분한 연습이 필요할 뿐만 아니라,

MTA를 적용시키기 위한 특수한 기구가 필요하기도 하다.

최근, 국내외에서 MTA를 보다 저렴하고 조작이 간단한 상품형태로 개발하려는 노력이 계속 진행되고 있으므로, 가까운 미래에는 이러한 한계점들은 어느정도 극복할 수 있으리라 기대된다.

주변 환경에 의한 물성의 약화

앞에서 언급한 MTA 가 가진 고유의 한계점 이외에도, 주변 환경에 따라, MTA 가 가지고 있는 좋은 성질도 충분히 발휘되지 못하는 경우가 있다. 이에 대해 고찰해 보도록 한다.

1. 혈액이나 혈청에 의한 오염

대부분의 물성 실험이 in vitro 에서 이루어지게 되는데, 이때 실제 임상에서 나타나는 현상들은 간과되기 쉽다. MTA를 임상에서 적용하게 될 때, 치근천공의 수복이나, 치근단 역충전의 경우, 치료부위를 혈액이나 혈청의 오염이 전혀 없도록 유지하는건 거의 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 현재까지 알려진 MTA 의 이상적인 물성들은 이러한 오염이 없는 환경에서 이루어졌다고 봐야하는 바, 최근 이러한 임상에서의 환경을 재현하여 물성을 파악하는 연구들이 보고되고 있다.

Nekoofar등^{18,19)}에 의하면 gray MTA 와 white MTA 를 혈액과 혈청에 노출시킨 결과 그렇지 않은 대조군에 비해 압축강도와 표면 미세경도가 현저히 감소했으며, 표면의 미세구조도 변화되었다. 즉, 혈액과 혈청에 노출된 실험군의 표면에서는 바늘모양의 결정구조가 발견되지 않았는데, 이 바늘모양의 결정구조가 결정들 간의 결합에 기여하는 역할을 하기 때문에, 이들의 결합이 곧 미세경도의 감소로 이어진다고 추정되었다. 그런데 이때 미세경도의 감소정도가 white MTA 보다 gray MTA 에서 더 현저히 나타났으므로 저자들은 혈액 또는 혈청의 오염을 피할 수 없는 경우

라면 gray MTA 보다는 white MTA 를 사용할 것을 권장하였다.

또 다른 연구에서는 치근천공을 MTA 로 수복할 때 혈액으로 오염시키는 실험을 한 결과 혈액으로 오염되었을 때, 탈락에 대한 저항이 훨씬 약해졌음을 보고하였다²⁰⁾. 따라서 치근천공을 수복할 때 혈액의 오염을 최소화 하는 노력을 기울여야 할 것이다. 아울러 탈락에 대한 저항은 7일이 지나야 최대치가 되기 때문에, 수복한지 7일이 지난 이후에 치관부의 수복을 시행해야 한다고 하였다.

2. pH

임상에서 MTA를 사용하게 되는 경우 중 많은 경우에 있어서, MTA는 감염된 부위에 적용되게 된다. 감염된 부위는 산성을 띠게 되며, 산성 환경에 노출된 MTA의 성질의 변화에 대한 많은 연구가 이루어져왔다.

이 연구들에 의하면, MTA의 물리적, 화학적 성질은 산성 환경에 많은 영향을 받게 되는데, 인장강도가 약해지고, 상아질에 대한 push-out 결합강도가 감소하고, 표면 경도도 감소하고, sealing ability 도 약해진다고 하였다. SEM으로 관찰한 결과 표면에 porosity가 증가했고, 혈액에 노출되었을 때와 마찬가지로, 바늘모양의 결정구조가 결여된 것을 볼 수 있었다^{21,22)}.

그러므로, 산성환경에서 MTA를 적용할 때는 결합강도의 감소를 상쇄하기 위해 MTA를 충분히 두껍게 충전해야 한다고 권장되었고, 또한 산성환경을 중화시키기 위해 수산화칼슘을 사용할 것이 추천되기도 했는데, 수산화칼슘의 사용이 도움이 되는지 여부에 대한 논란이 계속 진행되고 있으며, 이에 대해선 뒷부분에서 다루고자 한다.

3. 조작 방법

2007년 Nekoofar 등의 연구²³⁾에 의하면, MTA 를 적용할 때의 condensation pressure 가 강할수록 표면경도나 압축강도는 감소함을 보고하였다. 이는

condensation pressure 가 강하면 결정과 결정간의 물이 들어갈 공간이 작아져 결과적으로 결합강도를 낮추기 때문으로 추정되었다. 따라서 저지들은 MTA 를 적용할 때 가능한 적은 condensation pressure(3.22MPa) 를 가하는 것을 추천하였다. 또, 다른 연구에서, Nekoofar 등²⁴⁾은 MTA 혼합방법 및 적용방법에 따른 물성의 변화에 대해 연구하였는데, MTA 를 손으로 혼합하는 방법과 미리 셋팅된 튜브안에서 아말가메이터를 이용해서 혼합하는 방법 간의 물성에는 차이가 없었고, 손으로 condensation 하는 방법과 초음파기구를 사용해서 condensation 하는 방법을 비교한 결과, 초음파기구를 사용한 경우가 표면경도와 압축강도가 유의성 있게 증가되었다.

4. 보관 온도

최근 MTA 를 보관하는 온도에 따라서도 물성이 달라질 수 있다는 연구가 보고되었다. 술자에 따라서 MTA 를 냉장고에 보관하는 경우도 있고, 또, 열대지방에서도 MTA 를 사용하고 있기 때문에, 섭씨 4도, 25도, 40도에서의 MTA 의 물성을 비교한 결과, 25도나 40도의 환경에 비해서 4도에서 표면경도가 유의성 있게 낮은 것으로 나타났고, 표면에 기포도 더 많이 생긴 것으로 보고되었다²⁵⁾.

5. 근관내 침약

Bidar 등은²⁶⁾ MTA 를 이용한 치근침 형성술 시에, MTA 를 적용하기 전에 수산화칼슘을 미리 적용하였을 때 MTA의 변연적합성이 좋아졌다고 보고하였는데, 그 이유는 NaOCl 로 세척한 후 남아있는 여분의 수산화칼슘과 MTA 간의 반응으로 수산화칼슘이 탄산칼슘으로 치환되어 이 탄산칼슘이 변연 간극을 메워주기 때문이라고 여겨진다.

반면 Saghiri등은²⁷⁾ 수산화칼슘을 적용했던 경우, 즉 알칼리성 환경에서, MTA 와 상아질 간의 결합강도가 감소됨을 보고하였다. 따라서 수산화칼슘이 MTA 의 물리적 성질에 미치는 영향에 대한 연구는 앞으로 더 진행

되어야 할 필요가 있겠다.

또한, phosphate-buffered saline(PBS)을 근관 내에 세척액으로 사용한 경우, MTA apical plug 와 상아질 사이에 apatite 가 침착되어 변연누출을 감소시켜 줄 수 있다는 연구도 보고되었다²⁷⁾. 이 연구의 저자들은 MTA 를 근관내에 적용할 때, 즉, 근첨형성술이나 근관 충전재로 MTA 를 사용하는 경우에, PBS 를 근관세척액으로 사용할 것을 권장하였다. 하지만 이 연구 또한 ex vivo 로 진행된 연구인 만큼, 앞으로 in vivo 의 연구결과가 뒷받침 되어야 할 것이다.

IV. 결론

MTA 가 기존에 사용하던 재료들에 비해 월등히 우수한 성질을 가지고 있는 것은 의심의 여지가 없는 사실이지만, MTA 가 가지고 있는 장점들을 극대화시키기 위해서는 재료가 가진 한계를 파악하고, 환경에 따라 재료의 화학적 물리적 성질이 어떻게 영향을 받을 수 있는지를 완전히 숙지하고 있어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;19:541-544.
2. Queiroz AM, Assed S, Leonardo MR, Nelson-Filho P, Silva LA. MTA and calcium hydroxide for pulp capping. *J Appl Oral Sci* 2005;13:126-130.
3. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-Part I; chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 2010;36:16-27.
4. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995;21:349-353.
5. Matt GD, Thorpe JR, Strother JM, McClanahan SB. Comparative study of white and gray mineral trioxide aggregate (MTA) simulating a one- or two-step apical barrier technique. *J Endod* 2004;30:876-879.
6. Maroto M, Barberia E, Planells P, Garcia Godoy F. Dentin bridge formation after mineral trioxide aggregate (MTA) pulp tomies in primary teeth. *Am J Dent* 2005;18:151-4.
7. Wiltbank KB, Schwartz SA, Schindler WG. Effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 2007;33:1235-1238.
8. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod* 2006;32:569-72.
9. Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of Proroot MTA to improve handling characteristics and decrease setting time. *J Endod* 2007;33:1231-1234.
10. Autunes Bortoluzzi E, Juarez Broom N, Antonio Hungaro Duarte M, de Oliveira Demarchi AC, Monteiro Bramante C. 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* 2006;32:1194-1197.
11. Midy V, Dard M, Hollande E. Evaluation of the effect of three calcium phosphate powders on osteoblast cells. *J Mater Sci Mater Med* 2001;12:259-265.
12. Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. Effects of pH and mixing agents on the

참고 문헌

- temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2007;33:970-973.
13. Boutsoukis C, Noula G, Lambrianidis T. Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material. *J Endod* 2008;34:1239-1242.
 14. Duarte MA, De Oliveira Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, De Campos Fraga S. Arsenic release provided by MTA and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;99:648-650.
 15. Mishra D, Farrell J. Evaluation of mixed valent iron oxides as reactive adsorbents for arsenic removal. *Environ Sci Technol* 2005;39:9689-9694.
 16. Ling J, Xu Q, Wei X. Microscopic management of teeth with open apices using mineral trioxide aggregate. *Pract Proced Aesthet Dent* 2008;20:49-51.
 17. Smith JB, Loushine RJ, Weller RN et al. Metrologic evaluation of the surface of white MTA after the use of two endodontic irrigants. *J Endod* 2007;33:463-467.
 18. Nekoofar MH, Oloomi K, Sheykhrezae MS, Tabor R et al. An evaluation of the effect of blood and human serum on the surface microhardness and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2010;43:849-858.
 19. Nekoofar MH, Stone DF, Dummer PM. The effect of blood contamination on the compressive strength and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2010;43:782-91.
 20. Vanderweele RA, Schwartz SA, Beeson TJ. Effect of blood contamination on retention characteristics of MTA when mixed with different liquids. *J Endod* 2006;32:421-4.
 21. Guilliani V, Nieri M, Pace R, Pagavino G. Effects of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate and Aureoseal : an in vitro study. *J Endod* 2010;36:1883-6.
 22. Saghiri MA, Shokouhinejad N, Lotfi M, Aminsobhani M, Saghiri AM. Push-out bond strength of mineral trioxide aggregate in the presence of alkaline pH. *J Endod* 2010;36:1856-9.
 23. Nekoofar MH, Adusei G, Sheykhrezae MS, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM. The effect of condensation pressure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2007;40:453-761.
 24. Nekoofar MH, Asseley Z, Dummer PM. The effect of various mixing techniques on the surface microhardness of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2010;43:312-320.
 25. Saghiri MA, Lotfi M, Joupari MD, Aelnehchi M, Saghiri AM. Effects of storage temperature on surface hardness, microstructure, and phase formation of white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2010;36:1414-1418.
 26. Bidar M, Disfani R, Charagozloo S, Khoyneshad S, Rouhani A. Medication with calcium hydroxide improved marginal adaptation of mineral trioxide aggregate apical barrier. *J Endod* 2010;36:1679-1682.
 27. Jessie F, Reyes-Carmona, Mara S, Felipe, Wilson T, Felipe. A Phosphate-buffered saline intracanal dressing improves the biomineralization ability of mineral trioxide aggregate apical plugs. *J Endod* 2010;36:1648-52.