

수증 수복재의 조골세포 유사세포 증식 및 골조직 반응에 미치는 영향

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

김현선 · 홍찬의 · 김종여

EFFECTS OF SOME RESTORATIVE MATERIALS ON THE PROLIFERATION OF OSTEOBLASTIC CELL AND THE TISSUE REACTION OF BONE

Hyun-Sun Kim, Chan-Ui Hong, Jong-Yeo Kim

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Dankook University

Numerous materials such as amalgam, IRM, SuperEBA, dessicated ZOE, and Ketac-Silver have been used as a root-end filling material or to repair furcation perforations. But so far no material has been found to satisfy all of the requirements of an ideal restorative material. Recently, mineral trioxide aggregate (MTA) has been suggested for use as a root end filling material and for the repair of furcation perforations.

The purpose of this study was to compare the effect of MTA on the proliferation of MC3T3/E1 osteoblastic cell, formation of bone nodule, alkaline phosphatase activity, and finally the tissue reaction of bone with those of amalgam, IRM, SuperEBA, dessicated ZOE, and Ketac-Silver.

The following conclusions were drawn within the limits of the experimental results :

1. MTA showed a excellent proliferation of osteoblastic cell and Ketac-Silver showed moderate proliferation of osteoblastic cell. The rest of test materials showed no proliferation of osteoblastic cell.
2. Many of definite bone nodules were found in the MTA group. In contrast, Ketac-Silver group showed no definite bone formation but only showed mild sign of bone formation.
3. Alkaline phosphatase activity of Ketac-Silver and MTA showed similar results. But both of them showed higher activity than that of other materials ($p < 0.005$).
4. The tissue reaction to implanted MTA in the calbarium of mouse was milder than that observed with other materials. The tissue reaction of dessicated ZOE showed the worst results among the test materials.

I. 서 론

여러 원인에 의해 감염된 부패근관내에는 수많은 세균 및 부산물들이 존재하며 만약 이들을 제거하지 않으면 거의 대부분 자극원으로 작용하여 치근단 주위조직으로 넘어가 치근단 병변을 야기하게 된다⁶⁴⁾. 따라서 이러한 자극원들을 제거하고 근관을 완전 밀폐시키는 것이 근관치료의 주 목적이라 할 수 있다. 그러나 근관계의 복잡성^{15, 36)}, 현존하는 기구와 방법으로는 근관형성 및 세정을 완벽하게 할 수 없다는 점⁶⁴⁾, 또한 술자의 부주의 등으로 인하여 통법에 의한 근관치료가 항상 성공하는 것만은 아니다.

근관치료가 실패하였을 때 재치료를 시도하는 것이 가장 이상적인 방법이나 여러 원인등으로 인하여 효과적인 재치료가 불가능하거나, 재치료를 하였지만 또다시 실패하는 경우에는 통상 치근단절제술을 시행하여 치아를 보존시키고자 한다⁵⁾. Ingle 등³⁰⁾은 근관치료의 주 실패원인은 불완전한 근관형성 및 근관충전때문이라 하였고, Harty 등²⁷⁾은 수년간의 임상관찰 결과, 치근단 밀폐유무가 외과적 근관치료의 성공에 가장 중요한 요소라고 보고한 바 있다. 이에 따라 많은 연구자들^{23, 41, 56)}은 치근단절제시 치근단 역충전(이하 역충전)을 권고하고 있다. 이러한 역충전용 재료중에서 은 아말감이 현재까지도 가장 널리 권장, 사용되고 있는⁵⁰⁾ 재료이나, 밀폐효과에 의문이 제기되고^{35, 47, 49, 63)} 또한 여러가지 단점들이 보고됨에²⁴⁾ 따라 아연화-유지놀 시멘트계인 SuperEBA와 IRM도 최근에 많이 권장, 사용되고^{17, 39, 49, 54)} 있는 실정이다. 그러나 SuperEBA나 IRM도 수분과 접촉하게 되면 밀폐효과가 저하되며, 높은 용해도, 아말감처럼 조작 및 취급이 쉽지 않으며, 특히 두 재료 모두 유지놀액을 사용하고 있기 때문에 유리되는 유지놀에 의해 치근단주위조직이 손상받을 수 있다는 등의 단점^{24, 29, 42)}을 가지고 있다. 이외에도 다수의 재료들이 치근단절제후 역충전재로 소개되었고 또한 이들의 근관밀폐효과 및 생체친화력 등에 관한 다수의 연구결과가 발표되었으나, 아직까지 역충전재

로서의 이상적인 요구조건을 충족시키는 재료는 없는 것으로 보고되고 있다²³⁾. 따라서 보다 이상적인 재료의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

한편, 근관치료 도중, 가끔 우발적인 사고가 발생하게 되며, 이러한 우발적인 사고중의 하나가 치근천공(root perforation)이다. 1961년 Ingle³¹⁾은 근관치료후 실패원인을 분석한 결과, 치근천공이 9.6%로 두번째로 많은 비율을 차지하고 있음을 보고하였고, 1967년 Seltzer 등⁵⁸⁾은 3.5%의 실패율을 보고한 바 있다. 근관치료중 치근천공, 특히 치근이개부나 치경부 천공은 근관치료후 예후에 지대한 영향을 끼치게 된다. Frank 등²⁰⁾ 및 Sinai⁵⁹⁾는 치근이개부 천공이 발생시 천공부의 치주인대 및 골조직에 염증반응이 일어나 치주조직의 결손을 초래하게 되며 대부분의 경우 회복이 불가능하여 실패를 초래하게 된다고 보고하고 있다.

치근 천공부위에 대한 수복후 주변 치주조직 반응에 대해 ElDeeb 등¹⁸⁾, Petersson 등⁵¹⁾, Himmel 등²⁸⁾ 및 Bramante와 Berbert¹²⁾는 개를 사용하여, Seltzer 등⁵⁸⁾, Beavers 등⁷⁾ 및 Balla 등⁶⁾은 원숭이를 사용하여 실험하였고, Martin 등⁴⁵⁾, Roane과 Benenati⁵⁵⁾ 및 Harbert²⁶⁾는 환자에게 직접 수종의 수복재로 천공부위를 수복한 후 임상적인 관찰결과를 보고한 바 있다. 상기 연구자들의 연구결과 중 공통점은 치근단부나 치근중양부에 발생한 천공이 치경부나 치근이개부에 발생한 천공보다 예후가 양호하였다는 점과 치근천공이 발생시 즉각적인 수복을 권장하고 있다는 점이다.

치근천공시 수복의 궁극적인 목적은 천공 주위조직을 건전하게 유지시키거나 파괴된 조직을 재생시키는 것이며, 이러한 목적으로 은 아말감, Cavit, 아연화-유지놀 시멘트, 수산화칼슘, 인산 시멘트, glass ionomer, tricalcium phosphate, hydroxylapatite 등 많은 재료가 소개, 사용되어 왔으나 역충전재와 마찬가지로 이상적인 재료는 아직 없는 것으로 보고되고 있다. 이 중에서도 은 아말감이 많은 단점이 있음에도 불구하고 현재까지도 최적의 수복재로 권장, 사용되고 있는 실정이다.

최근 미국 Loma Linda 치과대학에서 개발한

mineral trioxide aggregate (MTA)는 원래 치근단절제후 역충전재로 사용할 목적으로 개발된 재료로, 주 구성성분이 tricalcium silicate, tricalcium aluminate, tricalcium oxide 및 silicate oxide이며 화학적, 물리적 성질을 높이기 위해 소량의 다른 oxide들을 첨가한 재료이다. 이 재료는 외관상 건축용 시멘트와 유사한 색상과 분말크기를 가지고 있으며 특징적인 점은 건축용 시멘트와 마찬가지로 물과 혼합하여 경화시킨다는 점이다. 이 재료는 혼합 및 와동내 적용이 쉽고, 아말감처럼 조직내에 많은 양의 잔사를 저류시키지 않으며, 조직내에 저류된 잔사가 있더라도 세척에 의해 쉽게 제거되며, 아말감과 유사한 압축강도를 나타내며, 아연화-유지놀 시멘트계인 IRM이나 SuperEBA의 단점인 유리유지놀에 의한 조직위해작용도 없으며, bismuth trioxide를 첨가하여 방사선 불투과성이 우수하며, 물과 혼합하여 사용하기 때문에 와동내를 완전 건조시키지 않아도 무방하다라는 등의 장점을 가지고 있다. Torabinejad 등⁶⁰⁾은 이 재료를 역충전재로 사용한 결과 근관밀폐효과가 아말감이나 아연화-유지놀 시멘트계인 SuperEBA보다 우수하였다 하였고, Torabinejad 등⁶⁰⁾은 역충전 와동내에 혈액이 존재하는 상태에서도 MTA의 근관밀폐효과가 우수하였다고 보고한 바 있다. 한편 Lee 등⁶⁰⁾은 발거한 대구치 근관에 인위적으로 측방 치근천공을 유발시킨 다음 아말감, IRM 및 MTA로 천공부를 충전한 결과 MTA의 천공벽 밀폐효과가 가장 우수하였다고 보고하였다. 또한 최근의 *in vitro* 및 동물실험결과에 의하면 역충전재로서 필수적인 근관밀폐효과뿐만 아니라 생체친화력^{53, 67)} 및 항균효과⁶⁶⁾도 다른 재료보다 우수한 것으로 보고되고 있다.

치근단 절제후 역충전재로 사용되는 재료나 치근천공, 특히 치경부 천공시 수복재로 사용되는 재료는 치료의 특성상 모두 골조직과 접촉하고 있으나 이러한 목적으로 널리 사용되고 있는 수복재의 골세포 증식이나 골조직 반응에 관한 보고는 아직 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 역충전이나 치경부 천공부에 대한 수복재로 널리 권장, 사용되고

있는 재료들의 골세포 증식 및 골조직 반응에 미치는 영향을 관찰해 보고자 하였고 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험재료로는 아말감, IRM, SuperEBA, dessicated ZOE, Ketac-Silver 및 MTA 등 6종의 재료를 사용하였다(표 1).

표1. 실험에 사용된 재료

Materials	Manufacturer
Amalgam	Dong Myung Co., Korea
I R M	L.D. Caulk Co., DE, USA
SuperEBA	Harry J. Bosworth Co., IL, USA
Dessicated ZOE	Sultan Chemists Inc., NJ, USA
Ketac-Silver	ESPE, Seefeld/Overby, Germany
M T A	Loma Linda Univ., CA, USA

2. 실험대상 및 방법

실험재료의 크기를 표준화하기 위해 외경이 10 mm이고 내경이 8 mm인 high density polyethylene(HDPE) tubing(Hudson Extrusions, OH, USA)를 사용하였다. HDPE tubing을 높이가 3 mm 되도록 절단한 다음, 절단된 HDPE tubing을 멸균하여 각 실험재료에 대한 mold로 사용하였다. 실험재료를 제조회사의 지시대로 혼합한 다음 HDPE mold에 충전하고 각 실험재료가 경화된 다음 mold를 제거하였다(그림 1). 각 실험재료마다 10개씩의 시편을 제작하였으며 시편제작후 ethylene oxide gas 살균법으로 시편을 살균하였다.

(1) 골세포 증식에 미치는 영향

본 실험을 위해 조골세포 유사세포인 계대 배양중인 MC3T3/E1 mouse osteoblastic cell을 사용하였으며 10% fetal bovine serum(FBS)이 첨가된 MEM으로 37°C, 95% 습도, 5% CO₂, 95% 공기중에서 배양하였다. 6 well culture dish에 각 시편을 정중앙에 부착시킨 다음 조골세포 유사세포를 1-2×10⁴ 개씩 분주하였고,

7일간 다시 배양시킨 다음 세포의 증식유무를 광학현미경하에서 관찰하였다.

(2) Bone nodule 형성에 미치는 영향

조골세포 유사세포 증식반응에서 양성반응을 나타내는 Ketac-Silver 군과 MTA 군의 bone nodule 형성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 두 군의 배양된 조골세포 유사세포를 50 μ /g/ml ascorbic acid, 10mM β -glycerophosphate 및 15% FBS가 첨가된 α -MEM으로 21일간 배양하다가 10% 완충 포르말린으로 고정된 다음 von Kossa 염색을 시행하여 bone nodule의 형성유무를 광학현미경하에서 관찰하였다.

(3) Alkaline phosphatase 활성도에 미치는 영향

각 재료의 alkaline phosphatase 활성도를 검사하기 위해서 96 well plate 바닥에 각각의 실험재료를 혼합하여 넣고 EO gas로 멸균한 후 MC3T3/E1 mouse osteoblastic cell을 분주하여 0.4% FBS가 포함된 α -MEM으로 48시간 배양하였다. 배양후 세포를 0.1% Triton X-100/saline으로 37 $^{\circ}$ C에서 30분간 처리하였다. 세포처리액을 기질인 100 mM의 p-nitrophenyl phosphate(PNPP) 존재하에 0.1M glycine-NaOH buffer(pH 10.3)와 함께 37 $^{\circ}$ C에서 10분간 반응시킨후 0.1 N NaOH로 반응을 정지시켰다. 효소작용에 의해 기질인 PNPP로부터 유리되어 나온 p-nitrophenol(PNP)의 양을 측정하기 위하여 반응액을 microplate reader로 옮겨 spectrophotometer를 사용하여 405 nm 파장하에서 비색정량하였다. 한편 실험재료를 넣지 않고 세포를 처리한 군을 대조군으로 사용하였으며 나타난 결과는 oneway ANOVA test와 Scheffe test로 각 군간 유의성 검정을 시행하였다.

(4) 골조직 반응에 미치는 영향

본 연구를 위해 Srague-Dawley계의 흰쥐를 실험대상으로 하였고 ketamine hydrochloride (Ketalar, 유한양행, 한국)를 Kg당 0.3 ml씩 복강내 근육주사하여 마취시킨 다음, 두피조직을 절개하여 두개골 부위를 노출시켰다. 노출된 골조직에 고속용 handpiece와 # 2 round bur를 사용하여 직경 6mm의 구멍이를 각 실험

군당 6개씩 형성한 다음 각 실험재료를 제조회사의 지시대로 혼합하여 형성된 구멍이에 삽입한 다음(그림 3) 두피조직을 다시 봉합하였다. 실험 4주 군의 경우, 골조직이 재생되는 부위를 관찰하기 위해 희생 3일 전에 형광물질인 calcein을 투여하였다. 실험 2주 및 4주후에 실험동물을 희생하여 실험부위를 block section하였고 조직표본 제작은 두가지 방법으로 시행하였다. 충전재 주변의 염증상태 및 조직 반응을 관찰하기 위해 고정된 조직표본을 통법에 의해 탈회, 수세, 탈수, 명화 및 파라핀 포매하였고, 5 μ m 두께로 절단한 다음 H-E, Gomori 및 Masson's trichrome 염색을 시행하였다. 또한 충전재 주변의 골조직 흡수 및 재생 정도를 관찰하기 위해 고정된 일부 조직표본을 3일간 Vilanueva 골염색용액에 침전시킨후 통법에 의해 탈수, 치환을 거쳐 Spurr 레진에 포매하였으며 500 μ m 두께로 절편을 제작한 후 다시 10-30 μ m 두께가 되도록 사포와 다이아몬드 연마지로 연마하였다. 각각의 결과는 광학현미경과 형광현미경을 통하여 관찰하였다.

III. 실험 결과

1. 골세포 증식에 미치는 영향

아말감, IRM, SuperEBA 및 dessicated ZOE 군의 경우 실험기간 동안 조골세포 유사세포의 증식은 발견할 수 없었으며, 오히려 세포가 모두 죽어 있는 양상을 보였다(그림 3, 4, 5, 6). Ketac-Silver 군의 경우 재료와 접촉된 부위에서는 조골세포 유사세포가 죽어 있는 양상을 보였으나 재료와 떨어진 부위에서는 세포가 죽지 않고 증식되어 있는 양상을 보였으며(그림 7), MTA 군의 경우 Ketac-Silver 군과는 달리 재료와 접촉된 부위에서도 조골세포 유사세포의 양호한 증식상태를 나타내 실험재료 중에서 가장 양호한 결과를 보였다(그림 8).

2. Bone nodule 형성에 미치는 영향

조골세포 유사세포의 증식을 보이는 Ketac-Silver 군과 MTA 군이 bone nodule 형성에

미치는 정도를 Von Kossa 염색하여 확인하여 본 결과, MTA 군에서는 명확한 다수의 bone nodule을 발견하였으며(그림 9, 10), Ketac-Silver 군에서는 명확하지 않지만 양성반응을 나타내는 소수의 반점들을 관찰할 수 있었다(그림 11, 12).

3. Alkaline phosphatase 활성도에 미치는 영향

각 재료의 alkaline phosphatase 활성도는 표 2와 같다. 실험재료를 넣지 않은 대조군이 0.142 ± 0.020 , Amalgam 군이 0.145 ± 0.014 , IRM 군이 0.141 ± 0.009 , SuperEBA 군이 0.143 ± 0.003 , desiccated ZOE 군이 0.130 ± 0.008 , Ketac-Silver 군이 0.164 ± 0.010 , MTA 군이 0.169 ± 0.011 n mol substrate cleaved/hr/mg protein을 나타냈다. 각 실험군마다 10 개씩의 시편을 마련하여 96 well plate에 넣어 실험하였으나 well plate의 최 외각부에 위치한 시편의 경우 실험의 특성상 판독에 문제점이 있어 본 실험결과에서 제외하였으며 따라서 각 실험군당 9개씩의 결과를 얻었다. 각 실험군간

유의성 검정결과(표 3), 실험군 중에서 MTA 군의 alkaline phosphatase 활성도가 가장 우수한 것으로 나타났으나 Ketac-Silver 군과는 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 반면, Amalgam 군, IRM 군, SuperEBA 군 및 desiccated ZOE 군은 각 군간 유의한 차이 없이 대조군과 유사한 수치를 보여 alkaline phosphatase 활성도가 거의 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 MTA 군과 Ketac-Silver 군의 alkaline phosphatase 활성도가 다른 군보다 우수한 것으로 나타났다($p < 0.005$).

4. 골조직 반응에 미치는 영향

아말감 충전군의 경우, 2주 소견에서는 재료와 접촉하고 있는 부위 및 하부 골조직에 골세포들이 모두 죽어있는 양상을 보이고 있으며 골조직 재생의 징후는 보이지 않았다. 4주 소견의 경우 재료와 접촉한 하부에서는 별다른 골흡수 양상을 관찰할 수 없으나(그림 13), 측방에서는 재료와 골조직이 직접 접촉하지 못하고 심한 염증소견을 보이고 있었다(그림 14). 또한 일부에서는 재료하방에 있는 골조

표2. Alkaline phosphatase 활성도 측정

Materials	Mean \pm S.D	No. of Sample
Control	0.142 ± 0.020	4
Amalgam	0.145 ± 0.014	9
IRM	0.141 ± 0.009	9
SuperEBA	0.143 ± 0.003	9
ZOE	0.130 ± 0.008	9
Ketac-Silver	0.164 ± 0.010	9
MTA	0.169 ± 0.011	9

(Unit : n mol substrate cleaved/hr/mg protein)

표3. 각 군간 유의성 검정(Scheffe test)

	AM	IRM	EBA	ZOE	K-S	MTA
AM						
IRM						
EBA						
ZOE						
K-S	*	*	*	*		
MTA	*	*	*	*	*	

* : $p < 0.005$, AM : Amalgam, EBA : SuperEBA, K-S : Ketac-Silver,

직부위에 골개조가 일어난 양상을 보이나 아말감이 하부 골조직과 직접 접촉되지 못하고 확장된 혈관이 많이 분포한 염증조직으로 둘러싸여 있는 상태도 관찰되었다.

IRM 충전군과 SuperEBA 충전군의 경우, 2주 소견에서는 아말감 충전군과는 달리 재료와 접촉하고 있는 부위 및 하부 골조직에 골세포들이 대부분 살아있는 양상을 보이고 있으나 골조직 재생의 징후는 보이지 않았다. IRM 충전군의 4주 소견에서는 재료와 접하는 측방부에서 다소 골흡수가 진행되어 있었으며 재료의 상부와 측방, 하부의 일부에서 결체조직으로 둘러싸여 있었다. 그러나 두개골 하부에서는 새로운 신생골의 형성이 일어나고 있었다(그림 15, 16). SuperEBA 충전군의 4주 소견에서는 재료와 접촉한 하부에서 골조직과 재료가 직접 접촉되지 못하고 재료주변의 골조직에 흡수가 일어났으며 특히 측방에서 심한 골조직의 흡수가 관찰되었고 결체조직으로 둘러싸인 양상을 보였다(그림 17). 그러나 골흡수된 부위의 하방과 두개골의 기저부에서는 골조직 재생이 일부 일어나고 있는 상태를 보였다(그림 18).

Dessicated ZOE 충전군의 경우 2주 소견에서는 재료와 접촉하고 있는 부위의 골세포들은 대부분 죽어있는 양상을 보이나 재료와 떨어진 곳에서는 골세포들이 살아있는 양상을 보였다. 그러나 골조직 재생의 징후는 발견할 수 없었다. 4주 소견에서는 재료와 접촉한 하부에서 골조직 흡수양상(그림 19) 및 심한 염증소견을 관찰할 수 있었다(그림 20). 또한 재료 하방의 골조직들은 모든 부분이 새로 골개조가 일어나 신생골로 이루어져 있으며 대부분 미성숙 교직골의 형태로 두개골의 피질판과는 달리 해면골의 형태로 재생되고 있었다. 실험 4주후 다른 군에 비해 가장 불량한 상태를 보인 것으로 나타났다.

Ketac-Silver 충전군의 경우 2주 소견에서는 재료와 접촉하고 있는 부위 및 하부 골조직에 골세포들이 대부분 살아있는 양상을 보이고 있으며 주변에서 미약하나마 골조직 재생의 징후를 보였다. 4주 소견에서는 재료가 골조

직과 직접 접촉되지 못하고 결체조직에 의해 둘러싸여 있는 양상을 보였으며 별다른 염증반응은 발견할 수 없었다(그림 21 및 22).

MTA 충전군의 경우 2주 소견에서는 재료와 접촉하고 있는 부위 및 하부 골조직에 골세포들이 대부분 살아 있는 양상을 보이고 있으며 주변에서 왕성한 골조직 재생을 나타냈다. 4주 소견에서는 다른 충전군에서 발견되는 결체조직과 염증반응은 발견할 수 없었고 재료와 골조직사이에 재료도 골조직도 아닌, 마치 레진의 hybrid layer같은 층이 관찰되었다. 또한 재료의 상부에서도 정확치는 않으나 신생 골조직처럼 보이는 층이 형성되고 있는 듯한 양상도 관찰할 수 있었다(그림 23 및 24).

IV. 총괄 및 고안

일반적으로 근관치료분야에서 사용하는 재료의 좋고 나쁨을 평가할 때 밀폐효과와 생체친화력을 가장 중요하게 여기며 이 두가지 기능이 결여된다면 다른 기능이 아무리 우수하더라도 충전재로서 아무런 가치가 없다. 치근단절제후 실패의 주원인은 근관내에 잔존하고 있던 자극원들이 치근단주위조직으로 빠져나가기 때문이며 이를 미연에 방지하기 위해 통상 역충전을 병행한다. 따라서 역충전제는 무엇보다도 밀폐효과가 우수한 재료이어야 한다. 한편 우발적인 사고에 의해 발생한 치근 천공시 즉각적인 수복을 해 주어야 하며 이 때도 역시 밀폐효과가 우수한 재료를 선택해야 한다.

치근이개부나 치경부에 천공 발생은 주로 근관와동이나 근관입구 또는 post space를 형성할 때 bur, file, 혹은 Gates-Glidden drill의 방향을 치근과 평행하게 위치시키지 않거나 과도하게 사용하는 경우에 발생하게 되며, 석회화된 근관입구를 찾는 과정에서도 일어나게 된다. 치근천공이 발생시 천공시 치주인대의 손상정도, 천공의 크기 및 위치, 수복시기, 과충전 유무, 수복재의 천공벽 밀폐효과 및 생체친화력 등이 치료후 예후에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이 중에서 천공의 위치가 예후에 가장 지대한 영향을 미치는 바, 치근

천공이 치은열구에 근접한 치경부 1/3에 존재할 때 주변 치주조직의 점진적 파괴를 유발시킨다. 이런 경우, 가장 팔목할만하게 관찰되는 점은 천공부위로부터 염증이 치주인대 공간을 따라 구강내쪽으로 파급되어 결국 치주인대 및 주변 골조직을 파괴시킨다는 점이다. 이렇게 파급된 염증은 상부의 열구상피에 영향을 미쳐 열구상피의 치근단 이동과 상부 치조골의 소실을 가져오게 된다. 이 때 주변 결합조직에 의한 방어기 시도되지만 결국은 진행된 치주염 및 농양의 발생을 초래하여 결과적으로 치아의 상실을 초래하게 되기도 한다. 그러나 천공부위가 치근 중앙부에 존재할 때는 명확한 치유 반응이 나타나게 된다. 이런 경우 주변 골조직과 치주인대가 천공시 발생하는 파괴적 염증반응에 대해 적절한 방어벽 역할을 담당하여 염증이 치유되는 동안 치주인대의 구조를 유지시켜 궁극적으로 섬유조직 형성에 의한 치유를 유도한다. 따라서 천공부의 위치가 치유에 지대한 영향을 미치게 되며 치근단으로 내려갈수록 예후는 좋아지게 된다.^{6, 7, 18, 20, 51} Jew 등³³은 천공부의 위치가 치은열구에 가까울수록 치주조직의 파괴가 심하게 나타나고, 수복여부에 관계없이 열구상피의 증식을 초래하여 회복가능성을 방해하지만 천공부위가 치은열구에서 멀리 떨어진 경우는 천공부를 수복하지 않은 경우에서도 양호한 예후를 나타냈다고 보고한 바 있다.

앞서 언급한 바와 같이 치근단 절제후 역충전이나 치근천공후 수복하는 경우 치료의 특성상 수복재가 모두 골조직과 접촉하게 된다. 따라서 재료의 선택시 우수한 밀폐효과뿐만 아니라 양호한 생체친화력이 요구된다라는 점에서 대개 공통적인 재료가 사용된다. 현재까지 치근단 역충전재로 소개된 재료중 아말감, SuperEBA 및 IRM 등이, 치근천공시 수복재로는 아말감, SuperEBA, IRM, dessicated ZOE, silver-glass ionomer 등이 널리 사용되고 있다. 이 중에서 여러 연구가들^{5, 22, 25}에 의해 최적의 역충전재로 권장되었던 아말감은 여러 장점들도 있으나 밀폐성 저하, 부식에 의한 독성 및 금속이온의 방출과 수은의 독성이 문제가 되기도

한다.⁵² Moodnik 등⁴⁷과 Tanzilli 등⁶³은 주사 전자현미경으로, Kaplan 등³⁵은 methylene blue 염색법을 이용하여 관찰한 결과 근관벽과 아말감 사이에 6-150 μ m의 비교적 넓은 틈이 존재함을 관찰하였고, 따라서 역충전재로서의 아말감의 밀폐효과에 의문을 제기하였다. 한편 Omnell⁴⁸은 아연이 함유된 아말감을 역충전 재료로 사용하는 경우 아연화탄산염 침전의 전기분해 현상을 보고한 바 있으며, Kaga 등³⁴은 아연이 함유된 아말감에서 아연은 1% 이하에서도 아말감 표면에 축적되고 쉽게 용해되기 때문에 아연이 세포독성의 주된 인자라 하여 아연이 함유되지 않은 아말감의 사용을 주장하였다. 아말감의 생체친화력에 대한 보고로 최근 Aguirre 등³은 성견 소구치의 치근이개부에 천공을 유발시키고 아말감과 gutta-percha로 수복한 다음 관찰한 결과 두 재료 모두 양호한 치유를 보였다 하였고, Flanders 등¹⁹도 아말감을 쥐의 피하조직에 6개월간, Marcotte 등⁴³은 원숭이 전치의 치근단조직부위에 15주간 매식하여 조직학적으로 관찰한 결과 모두 양호한 반응을 보였다 하였으나, Oynick와 Oynick⁴⁹ 및 Kawahara 등³⁸은 반응하지 않은 유리수은이 치근단주위조직에 세포독성을 나타냈다고 하였다.

이러한 아말감의 효과에 의문이 제기됨에 따라 아연화-유지놀 시멘트계인 SuperEBA와 IRM도 역충전재로 많이 사용되는 바, Oynick와 Oynick⁴⁹에 의해 제안된 SuperEBA에 대해 Szeremeta-Browar 등⁶², Beltes 등⁹ 및 King 등³⁹은 아말감과 SuperEBA간의 근관밀폐효과를 비교한 결과 아말감보다 SuperEBA가 우수하였다고 보고하여 SuperEBA의 사용을 권장하였으나, Tuggle 등⁷⁰은 아말감 군, varnish로 와동처리한 아말감 군 및 SuperEBA 군간의 근관밀폐효과를 비교한 결과 varnish로 와동처리한 아말감 군이 가장 우수하였으며 varnish로 와동처리하지 않은 아말감 군과 SuperEBA 군간에는 차이가 없었다고 보고하여 SuperEBA의 효과에 의문을 제기하였다.

IRM은 아연화-유지놀 시멘트계로 물리적 성질을 증진시키기 위해 poly methyl methacr-

ylate 등을 첨가시킨 재료이다. 원래 이 재료는 임시 와동충전재로 사용하여 왔으나 최근에는 역충전재로 추천되고 있다²²⁾. Inoue 등³²⁾, Smeed 등⁶¹⁾ 및 Bondra 등¹¹⁾은 발거한 치아에서 역충전재로 사용한 결과 아말감보다 우수한 근관 밀폐효과를 나타내 치근단절제후 역충전재로서의 가능성을 제시한 바 있으며, Dorn과 Gartner¹⁷⁾ 및 Rapp 등⁶⁴⁾은 SuperEBA, IRM 및 아말감으로 역충전한 임상예를 장기간 관찰한 결과 SuperEBA와 IRM간에는 별다른 차이가 없었으나 두 재료 모두 아말감보다 현저히 높은 성공율을 나타냈다고 보고하여 치근단절제후 역충전재로서의 사용을 권장하였다. Crook 등¹⁴⁾ 역시 IRM을 역충전재로 사용한 결과 만족할만한 근관밀폐효과를 얻었으며 여기에는 분말-액 비율이 영향을 미친다고 하였다. Hume²⁹⁾은 아연화-유지늘 시멘트에서 분말-액 비율이 유지늘의 유리량에 미치는 영향을 조사한 결과 분말-액 비율이 감소할수록, 즉 액(유지늘)의 함량이 증가할수록 유리유지늘이 증가함을 보고한 바 있다. 이러한 유리유지늘의 조직반응에 대해 Maher 등⁴²⁾은 족제비 견치에 IRM으로 역충전한 후 15주 동안 조직학적으로 조사한 결과, 치근단 골조직에 급성 및 활동성 염증이 존재하고 있었으며 IRM주위 1 mm 이내에 신생골 형성을 보이는 표본은 하나도 없었다 하였다. Crane 등¹³⁾은 피하조직에 아연화-유지늘 시멘트를 매식후 6개월 경과후에도 심한 염증반응을 나타냈다고 하였고, becker 등⁸⁾도 1년이상 경과후에도 아연화-유지늘 혼합물에서 유지늘이 유출되고 있음을 관찰하였다. 한편 Markowitz 등⁴⁴⁾은 저농도의 유지늘은 유익한 소염효과를 보이나 고농도의 유지늘은 조직에 위해작용을 가한다고 보고한 바 있다. 따라서 위의 연구자들의 결과를 종합해 볼 때 IRM을 적당히 되게 혼합하는 것(유지늘 함량을 적게 하는 것)이 주위조직에 위해작용을 가능한 적게 주는 방법이라 사료된다. 그러나 SuperEBA나 IRM은 조직에 자극성이 많은 것으로 알려진 유지늘을 함유하고 있으며, 특히 SuperEBA의 경우는 끈끈함때문에 혼합이 힘들며 와동적용시 기구에 딸려나오는 등의 단점⁷⁰⁾을

가지고 있다.

Ketac-Silver는 생체친화력이 우수한 것으로 알려진 glass ionomer에 은 입자를 sintering한 silver-containing glass ionomer(SGI) 시멘트의 일종이다. 일반적으로 glass ionomer 시멘트는 치질과 화학적 결합을 하여 밀폐효과가 우수하고, 불소이온을 함유하고 있어 우식에 대한 예방효과가 좋으며, 생체친화력이 우수한 것으로 보고되고 있다^{10, 37, 71)}. 은 입자가 포함된 SGI 시멘트는 경화시간이 짧고, 방사선 불투과성이며, 조작이 용이하고, 기본적으로 glass ionomer의 장점을 가지고 있어 최근 역충전재 및 치근이개부 천공에 대한 수복재로 자주 사용된다. Inoue 등³²⁾은 SGI 시멘트인 Miracle Mix를, Pissitis 등⁵²⁾, Schwartz와 Alexander⁵⁷⁾ 및 Alhadainy 등⁴⁾은 Ketac-Silver를 역충전재로 사용한 결과 아말감보다 근관밀폐효과가 우수하였다고 보고한 바 있으나, King 등³⁹⁾은 아말감, SuperEBA 및 Ketac-Silver간의 역충전효과를 비교한 결과 Ketac-Silver의 효과가 가장 불량하였다 하였고, Moloney 등⁴⁶⁾도 발거한 단근치 치근에 측방천공을 시키고 아말감, SuperEBA 및 Ketac-Silver로 천공부를 수복한 다음 방사선 동위원소법으로 변연누출을 조사한 결과 역시 Ketac-Silver의 천공벽 밀폐효과가 가장 불량하였다고 보고한 바 있다.

Mineral trioxide aggregate (MTA)는 원래 역충전재로 사용할 목적으로 개발된 재료로, 주 구성성분이 trioxide 집합체로서 glass ionomer 시멘트와 유사한 화학적 성분을 가지고 있으며, 화학적, 물리적 성질을 높이기 위해 소량의 다른 oxide들을 첨가한 재료이다. 이 재료의 특징은 물과 혼합하여 경화시킨다는 점이며, 와동내에 적용하기가 쉽고, 아말감처럼 조직에 잔사를 남기지 않으며 혹시 잔사가 발생된다 하더라도 세척에 의해 쉽게 제거할 수 있다. 단점으로는 경화시간이 길어 완전한 경화가 일어나려면 최대 4시간 정도 걸린다. 그러나 통상 이 재료를 치근단 역충전재나 천공 수복재로 사용하는데는 이러한 단점이 별다른 영향을 미치지 못한다. 이 재료에 대한 보고를 살펴보면 Torabinejad 등⁶⁹⁾은 발거한 치아에 3

mm 깊이의 역충전와동을 형성하고 아말감, SuperEBA 및 MTA로 역충전한 다음 rhodamine B fluorescent dye에 24시간 처리한 후 치아를 장축으로 절단하여 각 재료의 근관 밀폐효과를 confocal microscope로 관찰한 결과, MTA의 근관 밀폐효과가 아말감이나 SuperEBA보다 우수하였다고 보고한 바 있으며, Torabinejad 등⁶⁵⁾은 역충전 와동내에 혈액의 잔존유무가 역충전제의 변연누출에 미치는 영향을 관찰한 결과, MTA의 경우 혈액의 잔존유무에 관계없이 아말감, SuperEBA 및 IRM보다 낮은 변연누출을 보였다고 보고한 바 있다. 또한 Lee 등⁴⁰⁾은 발거한 대구치의 근관을 치근이개부 하방에서 천공시키고 아말감, IRM 및 MTA로 천공부위를 충전한 다음 methylene blue 색소 침투법으로 관찰한 결과 MTA가 아말감이나 IRM보다 낮은 변연누출을 보였다 하여 MTA의 우수한 천공벽 밀폐효과를 보고하였다. 한편, Torabinejad 등⁶⁷⁾은 쥐의 L929 섬유세포를 배양하여 아말감, IRM, SuperEBA 및 MTA의 세포독성을 agar overlay법과 radiochromium release법으로 조사한 결과 아말감의 세포독성이 가장 낮았고, 그 다음이 MTA였으며 IRM의 세포독성이 가장 높게 나타났다고 보고한 바 있다. 그러나 위의 보고 및 근관 밀폐효과에 대한 대부분의 연구들은 in vitro에서 시행하였기 때문에 이 때 나타난 결과는 실제 임상 적용시 나타나는 결과와 항상 일치하는 것은 아니다^{16, 22)}. 이러한 이유로 조 등¹⁾은 수중 치근단 역충전제가 치근단 주위조직 치유에 미치는 영향을 알아보려고 성견의 치근단에 아말감, IRM, Ketac-Silver 및 MTA로 역충전한 다음 16주 후 치근단 부위를 조직학적으로 관찰한 결과, 아말감과 IRM으로 역충전한 군은 충전재주위와 골조직에 심한 염증세포의 침윤을 보인 반면 MTA 역충전군은 조직화되고 광화된 피질골과 다량의 신생골을 관찰하였다고 보고하였다. 홍 등²⁾은 치근이개부 천공벽에 대한 수중 수복제의 밀폐효과 및 생체친화력을 알아보려고 성견 소구치의 이개부위에 인위적으로 천공을 유발한 다음 아말감, IRM, Ketac-Silver, Vitapex 및 MTA로 천공부위를 수복한 다음 조직병리학적

으로 관찰하였는 바, 아말감과 Ketac-Silver 충전군의 경우 두 군간에 유의한 차이없이 대부분 심한 염증반응 및 골조직흡수를 나타내 가장 불량한 결과를 보였고, IRM과 Vitapex 충전군의 경우는 대부분 정도의 염증반응 및 골조직 흡수를 나타내 아말감과 Ketac-Silver 충전군보다 양호한 결과를 보였으며, MTA 충전군의 경우는 대부분 염증반응이나 골조직 흡수없이 정상 골조직으로 치유되는 양상을 나타내 가장 양호한 결과를 보였다고 하였다. 또한 Pitt Ford 등⁵³⁾도 beagle dog의 소구치 근관(furcation 부위)을 인위적으로 천공시키고 천공부위를 아말감과 MTA로 충전한 다음 4개월 후 희생시켜 조직학적으로 관찰한 결과 아말감의 경우는 충전부위에 중등도의 염증반응을 보인 반면, MTA의 경우는 일부 시편에서 정도의 염증반응을 보였으나 대부분 염증반응을 보이지 않았고, 또한 염증반응을 보이지 않은 경우에는 MTA와 주위조직사이에 미약하나마 골조직과 유사한 경조직이 형성되어 있는 모습을 관찰하였다 하여 MTA의 우수한 생체친화력을 보고하였다.

각 실험재료의 조골세포 유사세포 증식 및 bone nodule 형성에 미치는 영향에 대한 본 실험결과를 살펴보면, 아말감, IRM, SuperEBA 및 dessicated ZOE 군의 경우 실험기간 동안 증식된 세포는 발견할 수 없었으며, 오히려 세포가 모두 죽어 있는 양상을 보였다. 반면 Ketac-Silver 군의 경우 재료와 접촉된 부위에서는 세포가 죽어 있는 양상을 보였으나 재료와 떨어진 부위에서는 세포가 죽지 않고 증식되어 있는 양상을 보였으며, MTA 군의 경우 Ketac-Silver 군과는 달리 재료와 접촉된 부위에서도 세포의 양호한 증식상태를 나타내 실험재료 중에서 가장 양호한 결과를 보였다. 이러한 조골세포 유사세포의 증식을 보이는 Ketac-Silver 군과 MTA 군이 bone nodule 형성에 미치는 정도를 Von Kossa 염색하여 확인하여 본 결과, MTA 군에서는 명확한 다수의 bone nodule을 발견하였으며, Ketac-Silver 군에서는 명확하지 않지만 양성반응을 나타내는 소수의 반점들을 관찰할 수 있었다.

한편 실험재료가 조골세포 유사세포의 활성화도에 미치는 영향을 관찰하였는 바, 실험군 중에서 MTA 군의 alkaline phosphatase 활성도가 가장 우수한 것으로 나타났으나 Ketac-Silver 군과는 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. Amalgam 군, IRM 군, SuperEBA 군 및 dessicated ZOE 군은 각 군간 유의한 차이 없이 대조군과 유사한 수치를 보여 alkaline phosphatase 활성도가 거의 없는 것으로 나타나 결과적으로 MTA 군과 Ketac-Silver 군의 alkaline phosphatase 활성도가 다른 군보다 우수한 것으로 나타났다($p < 0.005$). 이러한 결과는 MTA와 Ketac-Silver가 골조직 재생에 긍정적인 영향을 미친다고 추론할 수도 있겠으나 골조직 재생에 영향을 미치는 인자가 이외에도 많고, 아직까지 이에 대한 보고가 없기 때문에 본 실험결과에 완전한 신빙성을 부여하기는 힘들다.

재료의 골조직 반응에 대한 본 실험의 조직학적 결과에 대해서 다른 군들은 다소의 차이는 있으나 대부분 염증반응을 보였고 결체조직이 재료와 골조직사이에 개재되어 있었으나 MTA 충전군의 경우는 다른 충전군에서 발견되는 결체조직과 염증반응은 발견할 수 없었고 주변에서 왕성한 골조직 재생을 나타냈으며, 재료와 골조직사이에 마치 레진의 hybrid layer 같은 층이 관찰되었다. 또한 재료의 상부에서도 정확치는 않으나 신생 골조직처럼 보이는 층이 형성되고 있는 듯한 양상도 관찰할 수 있었다. MTA가 조골세포 유사세포 및 골조직에 양호한 반응을 보이는 것은 Torabinejad 등⁶⁸⁾의 보고처럼 MTA 분말의 주성분이 치아 경조직의 주 성분과 같은 칼슘과 인 때문이며 경조직 형성을 유도하는 것은 수산화 칼슘과 유사한 정도의 알칼리성(pH 12.5)때문이 아닌가 사료된다. 또한 본 실험결과는 Crane 등¹³⁾, Maher 등⁴²⁾, 조 등¹⁾, 홍 등²⁾ 및 Pitt Ford 등⁵³⁾의 결과와 일치되는 소견을 보이고 있으나, Blackman 등¹⁰⁾, Flanders 등¹⁹⁾, Marcotte 등⁴³⁾ 및 Oynick와 Oynick⁴⁹⁾의 결과와는 상반되는 소견을 보였다.

결론적으로 MTA에 관한 본 실험결과 및 다른

보고들을 종합해볼 때 MTA의 근관밀폐효과뿐만 아니라 생체친화력도 우수하다고 사료되며 따라서 앞으로 치근단 역충전재료나 천공시 수복재로 가장 추천할만한 재료라고 추론할 수 있으나 본 실험에서는 동물세포 및 골조직을 실험대상으로 하였기 때문에 인간의 조건과 같다고는 할 수 없다. 따라서 본 실험에서 나타난 결과에 대해 완전한 신빙성을 부여하기는 힘들며 이를 규명하기 위해서는 장기간에 걸친 임상실험이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

치근단절제후 역충전이나 치근천공시 수복재로 널리 사용되고 있는 아말감, IRM, SuperEBA, Ketac-Silver, dessicated ZOE 및 MTA에 대한 조골세포 유사세포 증식 및 골조직 반응을 비교, 평가하고자 쥐의 조골세포 유사세포인 MC3T3/E1를 이용하여 조골세포 유사세포의 증식정도, bone nodule 형성정도 및 alkaline phosphatase 활성도를 관찰하였고 쥐의 두개골 부위의 골조직에 일정 크기의 구멍이를 형성하고 상기의 재료들을 매식하여 골조직 반응을 관찰하였는 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조골세포 유사세포의 증식정도를 관찰한 결과 MTA 군이 가장 활발한 증식을 보였고, Ketac-Silver 군의 경우 미약한 증식상을 보였으며 나머지 군들은 전혀 세포의 증식을 관찰할 수 없었다.
2. 조골세포 유사세포의 증식을 보이는 Ketac-Silver와 MTA 군에 의한 bone nodule 형성정도를 관찰한 결과 Ketac-Silver 군의 경우 명확한 bone nodule 형성없이 징후만을 보인 반면, MTA 군은 명확한 다수의 bone nodule 형성을 보였다.
3. MTA 군과 Ketac-Silver 군의 alkaline phosphatase 활성도가 서로 유의한 차이없이 다른 군들보다 우수한 것으로 나타났다($p < 0.005$).
4. 재료들의 골조직 반응을 관찰한 결과 dessi-

cated ZOE 충전군의 경우가 가장 불량하게 나타났다. 아말감, IRM, SuperEBA, Ketac-Silver 충전군의 경우 정도의 차이는 있으나 비슷한 양상을 보였으며, MTA 충전군이 가장 양호한 골조직 반응을 보였다.

참 고 문 헌

1. 조용범, 홍찬의, 신동훈 : 수중 치근단 역충전재가 치근단 조직치유에 미치는 영향. 대한치과보존학회지 20 : 17-31, 1995.
2. 홍한표, 홍찬의, 신동훈 : 치근이개부 천공부위에 대한 수중 수복재의 치유효과에 대한 조직병리학적 연구. 대한치과보존학회지 20 : 610-26, 1995.
3. Aguirre R, Eldeeb ME, ElDeeb M : Evaluation of the repair of mechanical furcation perforations using amalgam, gutta-percha, or indium foil. J Endodon 12 : 249-56, 1986.
4. Alhadainy HA, Elsaed HY, Elbaghdady YM : An electrochemical study of the sealing ability of different retrofilling materials. J Endodon 19 : 508-11, 1993.
5. Arens DE, Adams WR, DeCastro RA : Endodontic surgery. Philadelphia : Harper & Row, 154-7, 1981.
6. Balla R, LoMonaco CJ, Skribner J, Lim LM : Histological study of furcation perforations treated with tricalcium phosphate, hydroxylapatite, amalgam and Life. J Endodon 17 : 234-8, 1991.
7. Beavers RA, Bergenholz G, Cox CF : Periodontal wound healing following intentional root perforations in permanent teeth of Macaca mulatta. Int Endod J 19 : 36-44, 1986.
8. Becker RM, Hume WR, Wolinsky LE : Release of eugenol from mixtures of zinc oxide and eugenol in vitro. J Pedodont 8 : 71-7, 1983.
9. Beltes P, Zervas P, Lambrianidis T, Molyvdas I : In vitro study of the sealing ability of four retrograde filling materials. Endod Dent Traumatol 4 : 82-4, 1988.
10. Blackman R, Ross M, Seltzer S : An evaluation of the biocompatibility of a glass ionomer-silver cement in rat connective tissue. J Endodon 15 : 76-9, 1989.
11. Bondra DL, Hartwell GR, MacPherson MG, Portell FR : Leakage in vitro with IRM, high copper amalgam, and EBA cement as retrofilling materials. J Endodon 15 : 157-60, 1989.
12. Bramante CM, Berbert A : Root perforations dressed with calcium hydroxide and zinc oxide-eugenol. J Endodon 13 : 392-5, 1987.
13. Crane DL, Heuer MA, Kaminski EJ, Mosser JB : Biological and physical properties of an experimental root canal sealer without eugenol. J Endodon 6 : 438-45, 1980.
14. Crooks WG, Anderson RW, Powell BJ, Kimbrough WF : Longitudinal evaluation of the seal of IRM root end fillings. J Endodon 20 : 250-2, 1994.
15. Davis SR, Brayton SM, Goldman M : The morphology of the prepared root canal : a study utilizing injectable silicone. Oral Surg 34 : 642-8, 1972.
16. Delivanis P, Tabibi A : A comparative sealability study of different retro filling materials. Oral Surg 45 : 273-81, 1978.
17. Dorn SO, Gartner AH : Retrograde filling materials : a retrospective success-failure study of amalgam, EBA, and IRM. J Endodon 16 : 391-3, 1990.
18. ElDeeb ME, ElDeeb M, Tabibi A, Jensen TR : An evaluation of the use of amalgam, Cavit, and calcium hydroxide in the repair of furcation perforations. J Endodon 8 : 459-66, 1982.
19. Flanders DH, James GA, Burch B, Doc-

- kum N : Comparative histologic study of Zinc-free amalgam and Cavit in connective tissue of the rat. *J Endodon* 1 : 56–9, 1975.
20. Frank AL, Simon JHS, Abou-Rass M, Glick DH : Clinical and surgical endodontics. Philadelphia : JB Lippincott 154–62, 1983.
 21. Frank AL : Resorption, perforations and fractures. *Dent Clin North Am* 18 : 465–87, 1974.
 22. Friedman S, Rotstein I, Mahamid A : In vivo efficacy of various retrofills and of CO₂ laser in apical surgery. *Endod Dent Traumatol* 7 : 19–25, 1991.
 23. Friedman S : Retrograde approaches in endodontic therapy. *Endod Dent Traumatol* 7 : 97–107, 1991.
 24. Gartner AH, Dorn SO : Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am* 36 : 357–78, 1992.
 25. Grossman LI : Endodontic practice 10th ed. Philadelphia : Lea & Febiger, 373, 1981.
 26. Harbert H : Generic tricalcium phosphate plugs : and adjunct in endodontics. *J Endodon* 17 : 131–4, 1991.
 27. Harty FJ, Parkins BJ, Wengraf AM : The success rate of apicoectomy. *Br Dent J* 129 : 407–13, 1970.
 28. Himel R, Brady J Jr, Weir J Jr : Evaluation of repair of mechanical perforations of the pulp chamber floor using biodegradable tricalcium phosphate or calcium hydroxide. *J Endodon* 11 : 161–5, 1985.
 29. Hume WR : An analysis of the release and diffusion through dentin of eugenol from zinc oxide-eugenol mixtures. *J Dent Res* 63 : 881–4, 1984.
 30. Ingle JI, Beveridge EE, Glick DH, Weichman JA, Abou-Rass M : Modern endodontic therapy. In : Ingle JI, Tainter JF, eds. Endodontics. 3rd ed. Philadelphia : Lea & Febiger. 36, 1985.
 31. Ingle JI : A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surg* 14 : 83–91, 1961.
 32. Inoue S, Yoshimura M, Tinkle JS, Marshall FJ : A 24-week study of the microleakage of four retrofilling materials using a fluid filtration method. *J Endodon* 17 : 369–75, 1991.
 33. Jew RCK, Weine FS, Keen JJ Jr, Smulson MH : A histologic evaluation of periodontal tissues adjacent root perforations filled with Cavit. *Oral Surg* 54 : 124–35, 1982.
 34. Kaga M, Seale NS, Hanawa T, Ferracane JL, Okabe T : cytotoxicity of amalgams. *J Dent Res* 67 : 1221–4, 1988.
 35. Kaplan SD, Tanzilli JP, Raphael D, Moodnik RM : A comparison of the marginal leakage of retrograde techniques. *Oral Surg* 54 : 583–5, 1982.
 36. Kasahara E, Yasuda E, Yamada H, Miyazawa A : An evaluation of guide lines for the apical enlargement of maxillary premolars. *J Endodon* 17 : 1–7, 1991.
 37. Kawahara H, Imanishi Y, Oshima H : Biological evaluation of glass ionomer cement. *J Dent Res* 58 : 1080–6, 1979.
 38. Kawahara H, Nakamura M, Yamagami A, Nakanishi T : Cellular responses to dental amalgam in vitro. *J Dent Res* 54 : 394–401, 1975.
 39. King KT, Anderson RW, Pashley DH, Pantera EA : Longitudinal evaluation of the seal of endodontic retrofillings. *J Endodon* 16 : 307–10, 1990.
 40. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M : Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endodon* 19 : 541–4, 1993.
 41. Lin L, Skribner J, Shovlin F, Langeland

- K : Periapical surgery of mandibular molar teeth : anatomical and surgical considerations. *J Endodon* 9 : 496–501, 1983.
42. Maher WP, Johnson RL, Hess J, Steiman HR : Biocompatibility of retrograde filling materials in the ferret canine. *Oral Surg* 73 : 738–45, 1992.
 43. Marcotte LR, Dowson J, Rowe NH : Apical healing with retrofilling materials amalgam and gutta-percha. *J Endodon* 1 : 63–5, 1975.
 44. Markowitz K, Moynihan M, Liu M, Kim S : Biologic properties of eugenol and zinc oxide-eugenol : a clinically oriented review. *Oral Surg* 73 : 729–37, 1992.
 45. Martin LR, Gilbert B, Dickerson AW : Management of endodontic perforations. *Oral Surg* 54 : 668–77, 1982.
 46. Moloney LG, Feik S, Ellender G : Sealing ability of three materials used to repair lateral root perforations. *J Endodon* 19 : 59–62, 1993.
 47. Moodnik RM, Levey MH, Bensen MA, Borden BG : Retrograde amalgam filling : a scanning electron microscope study. *J Endodon* 1 : 28–31, 1975.
 48. Omnell KA : Electrolytic precipitation of zinc carbonate in the jaw : an unusual complication after root resection. *Oral Surg* 12 : 846–51, 1959.
 49. Oynick J, Oynick T : A study of a new material for retrograde fillings. *J Endodon* 4 : 203–6, 1978.
 50. Persson G, Lennartson B, Lundstrom O : Results of retrograde root filling with special reference to amalgam and Cavit as root filling material. *Swed Dent J* 67 : 123–34, 1974.
 51. Petersson K, Hasselgren G, Tronstad L : Endodontic treatment of experimental root perforations in dog teeth. *Endod Dent Traumatol* 1 : 22–8, 1985.
 52. Pissiotis E, Sapounas G, Spangberg LSW : Silver glass ionomer cement as a retrograde filling material : a study in vitro. *J Endodon* 17 : 225–9, 1991.
 53. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP : Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg* 79 : 756–62, 1995.
 54. Rapp EL, Brown CE, Newton CW : An analysis of success and failure of apicoectomies. *J Endodon* 17 : 508–12, 1991.
 55. Roane JB, Benenati FW : Successful management of a perforated mandibular molar using amalgam and hydroxylapatite. *J Endodon* 13 : 400–4, 1987.
 56. Rud J, Andreasen JO, Jensen JEM : Radiographic criteria for the assessment of healing after endodontic surgery. *Int J Oral Surg* 1 : 195–214, 1972.
 57. Schwartz SA, Alexander JB : A comparison of leakage between silver-glass ionomer cement and amalgam retrofillings. *J Endodon* 14 : 385–91, 1988.
 58. Seltzer S, Bender IB, Smith J, Freeman I, Nazimov H : Endodontic failures : an analysis based on clinical roentgenographic, and histologic findings. *Oral Surg* 23 : 500–30, 1967.
 59. Sinai I : Endodontic perforations : their prognosis and treatment. *JADA* 95 : 90–5, 1977.
 60. Sinai IH, Romea DJ, Glassman G, Morse DR, Fantasia J, Frust ML : An evaluation of tricalcium phosphate as a treatment for endodontic perforations. *J Endodon* 15 : 399–403, 1989.
 61. Smee G, Bolanos OR, Morse DR, Furst ML, Yesilsoy C : A comparative leakage study of P-30 resin bonded ceramic, Teflon, amalgam, and IRM as retrofilling seals. *J Endodon* 13 : 117–21, 1987.

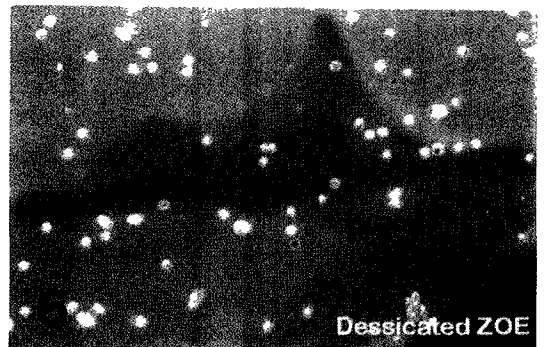
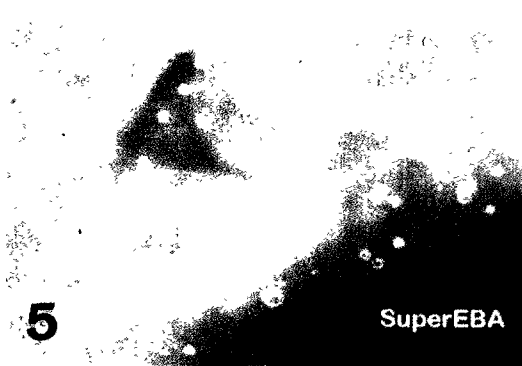
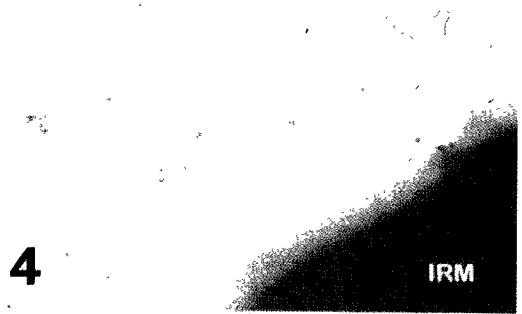
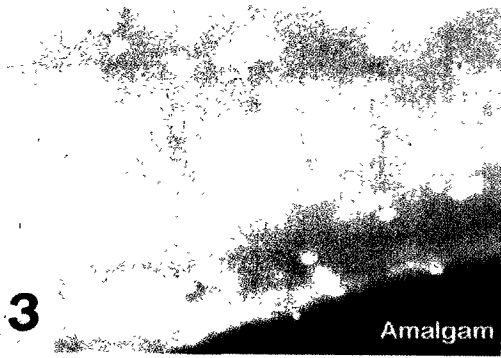
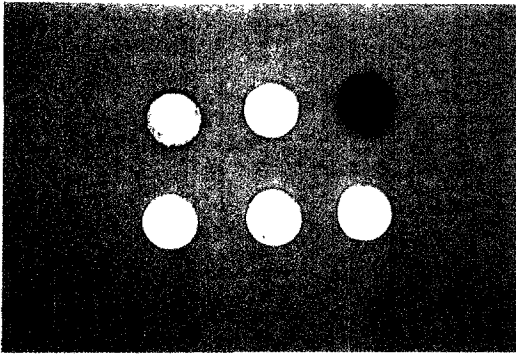
62. Szeremeta-Browar TL, VanCura JE, Zaki AE : A comparison of the sealing properties of different retrograde techniques : an autoradiographic study. *Oral Surg* 59 : 82-7, 1985.
63. Tanzilli JP, Raphael D, Moodnik RM : A comparison of the marginal adaptation of retrograde techniques : a scanning electron microscopic study. *Oral Surg* 50 : 74-80, 1980.
64. Torabinejad M, Eby WC, Naidorf IJ : Inflammation and immunological aspects of the pathogenesis of human periapical lesions. *J Endodon* 11 : 479-88, 1985.
65. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR : Dye leakage of four root end filling materials : effects of blood contamination. *J Endodon* 20 : 159-63, 1994.
66. Torabinejad M, Hong CU, Kettering JD : Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endodon* 21 : 403-6, 1995.
67. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD : Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endodon* 21 : 489-92, 1995.
68. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR : Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endodon* 21 : 349-53, 1995.
69. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR : Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endodon* 19 : 591-5, 1993.
70. Tuggle ST, Anderson RW, Pantera EA, Neaverth EJ : A dye penetration study of retrofilling materials. *J Endodon* 15 : 122-5, 1989.
71. Zetterqvist L, Anneroth G, Nordenram A : Glass ionomer cement as retrograde filling material. *Int J Oral Maxillofac Surg* 16 : 459-64, 1987.

논문사진부도 설명

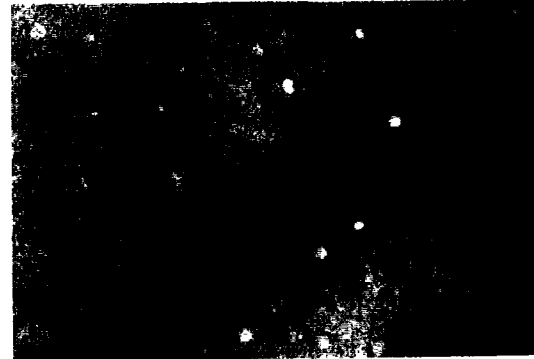
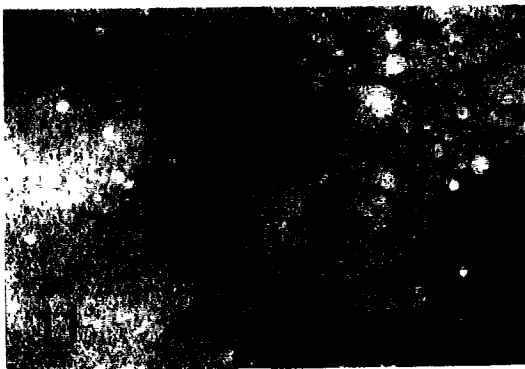
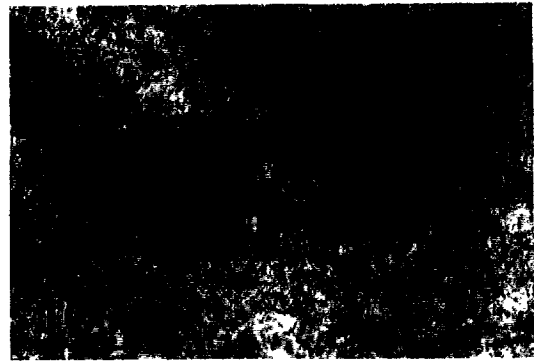
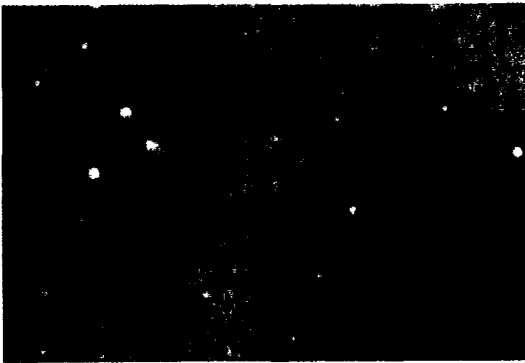
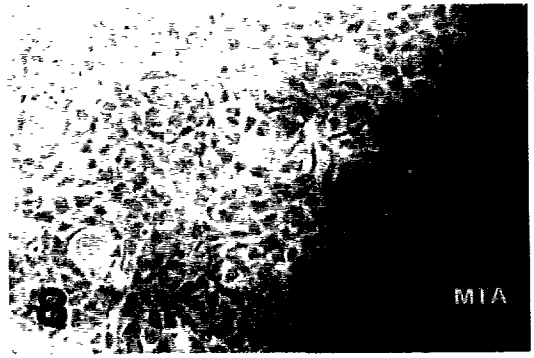
- 그림 1. 각 실험재료를 8mm×3mm로 제작한 모습
- 그림 2. 쥐의 두개골부위의 골조직에 일정 크기로 형성한 구멍이에 각 실험재료를 매식한 모습
- 그림 3. 아말감에 대한 MC3T3/E1 조골세포 유사세포의 반응 : 세포가 증식되지 못하고 모두 죽어 있는 모습을 보인다.
- 그림 4. IRM에 대한 MC3T3/E1 조골세포 유사세포의 반응 : 세포가 증식 되지 못하고 모두 죽어 있는 모습을 보인다.
- 그림 5. SuperEBA에 대한 MC3T3/E1 조골세포 유사세포의 반응 : 세포가 증식되지 못하고 모두 죽어 있는 모습을 보인다.
- 그림 6. Dessicated ZOE에 대한 MC3T3/E1 조골세포 유사세포의 반응 : 세포가 증식되지 못하고 모두 죽어 있는 모습을 보인다.
- 그림 7. Ketac-Silver에 대한 MC3T3/E1 조골세포 유사세포의 반응 : 재료와 접촉하고 있는 부분은 세포가 모두 죽어 있으나 떨어진 곳에서는 세포의 증식을 보인다.
- 그림 8. MTA에 대한 MC3T3/E1 조골세포 유사세포의 반응 : 주변뿐만 아니라 재료와 접촉하고 있는 부분에서도 왕성한 세포의 증식을 보인다.
- 그림 9. Bone nodule 형성에 대한 MTA의 효과(von Kossa stain) : 명확한 bone nodule이 보인다.
- 그림 10. Bone nodule 형성에 대한 MTA의 효과(von Kossa stain) : 명확한 bone nodule이 보인다.
- 그림 11. Bone nodule 형성에 대한 Ketac-Silver의 효과(von Kossa stain) : 명확한 bone nodule은 보이지 않으며 단지 형성하려는 징후만 보인다.
- 그림 12. Bone nodule 형성에 대한 Ketac-Silver의 효과(von Kossa stain) : 명확한 bone nodule은 보이지 않으며 단지 형성하려는 징후만 보인다.
- 그림 13. 아말감의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, ×40) : 재료와 접촉한 하방에서는 별다른 골흡수 양상을 관찰할 수 없으나, 측방에서는 염증조직이 형성된 소견을 보인다.
- 그림 14. 아말감의 골조직 반응(4주 소견 : Gomori trichrome stain, ×40) : 재료와 접촉된 측방에서 심한 염증소견을 보인다.
- 그림 15. IRM의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, ×40) : 재료와 접촉한 하부에서는 별다른 이상반응을 보이지 않았으나 측방에서는 재료와 골조직 사이에 결체조직이 개재된 양상을 보인다.
- 그림 16. IRM의 골조직 반응(4주 소견 : Gomori trichrome stain, ×40) : 형광현미경 소견으로 재료와 골조직 사이에 신생골의 형성을 관찰할 수 없다.
- 그림 17. SuperEBA의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, ×100) : 재료와 접촉한 하부에서 골조직과 재료가 직접 접촉되지 못하고 결체조직이 개재되어 있는 상태를 보이며 측방에서는 골흡수가 한참 진행된 상태를 보이고 있다.
- 그림 18. SuperEBA의 골조직 반응(4주 소견 : Gomori trichrome stain, ×100) : 형광현미경 소견으로 골흡수된 부위의 하방과 두개골의 기저부에서는 골조직 재생이 일부 일어나고 있는 상태를 보인다.

- 그림 19. Dessicated ZOE의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, $\times 100$) : 재료와 접촉한 하부에서 비교적 넓은 골조직 흡수양상이 보인다.
- 그림 20. Dessicated ZOE의 골조직 반응(4주 소견 : Gomori trichrome stain, $\times 40$) : 재료와 접촉된 하방에 광범위하고 심한 염증소견을 보인다.
- 그림 21. Ketac-Silver의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, $\times 40$) : 재료가 골조직과 직접 접촉되지 못하고 하방 및 측방으로 결체조직에 의해 둘러싸여 있는 양상을 보인다.
- 그림 22. Ketac-Silver의 골조직 반응(4주 소견 : Gomori trichrome stain, $\times 20$) : 재료가 골조직과 직접 접촉되지 못하고 결체조직에 의해 전체적으로 둘러싸여 있는 양상을 보이며 별다른 염증반응은 보이지 않는다.
- 그림 23. MTA의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, $\times 40$) : 결체조직은 관찰할 수 없고 재료의 상부 및 하부에서 정확치는 않으나 신생 골조직처럼 보이는 층이 형성되고 있는 듯한 양상을 보인다.
- 그림 24. MTA의 골조직 반응(4주 소견 : Vilanueva stain, $\times 100$) : 다른 표본의 확대사진으로 그림 23과 동일한 소견을 보인다.

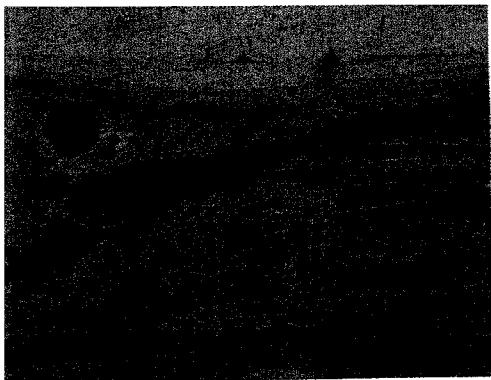
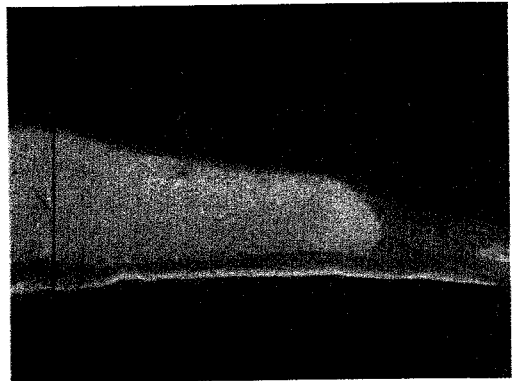
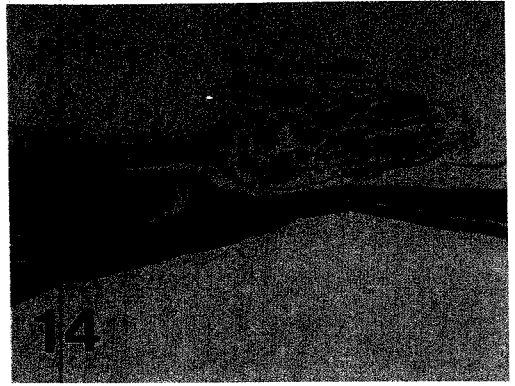
논문사진부도①



논문사진부도②



논문사진부도③



논문사진부도④

