

Elisabetta Cotti
Claudia Dettori
Fabrizio Carboni
Gian Nicola Boero

Università degli Studi di Cagliari
Cattedra di Odontoiatria Conservatrice
Titolare: Prof. Giovanni Puddu

Corrispondenza:
Dr.ssa Elisabetta Cotti
Via Roma, 149 - 09124 Cagliari
Tel. 070.662710 - Fax 070.659689

Caratteristiche di un nuovo cemento per uso endodontico: l'aggregato di triossidi minerali (MTA)

Characteristics of a new cement for endodontic use: the mineral trioxide aggregate (MTA)

RIASSUNTO

Un nuovo materiale composto da un aggregato di triossidi minerali è stato recentemente sviluppato e sperimentato per uso endodontico.

Il materiale è stato studiato sia *in vivo* che *in vitro* in quanto promettente come alternativa ad altri materiali usati per sigillare le comunicazioni tra il sistema endodontico e i tessuti periradicolari.

In base ai risultati dei lavori pubblicati risulta che: l'MTA, come è stato chiamato questo cemento, è biocompatibile, dimostra eccellenti capacità di sigillo, sembra funzionare bene anche in presenza di umidità del campo di lavoro, e inoltre favorirebbe la apposizione ossea alla sua interfaccia. Il suo uso viene consigliato per le cavità retrograde in endodonzia chirurgica, nella riparazione delle perforazioni, negli incappucciamenti e nella formazione di una barriera apicale.

Parole chiave: Cementi endodontici.

INTRODUZIONE

Lo scorso anno è arrivato sul mercato un nuovo cemento proposto per uso endodontico, adatto soprattutto per sigillare tutti i tipi di comunicazione endo-parodontali: si tratta dell' MTA, un cemento costituito da un aggregato di triossidi minerali (come si evince dal nome: MTA = Mineral Trioxide Aggregate).

Il cemento è stato messo a punto all'Università di Loma Linda in California dall'équipe del prof. Torabinejad negli anni 1992-1993 (1); il materiale è nato dalla necessità di trovare un cemento da utilizzare per la chiusura delle cavità retrograde effettuate durante gli interventi di chirurgia endodontica, in particolare si è cercato un materiale che fosse compatibile con lo stato di umidità che talvolta caratterizza il campo operatorio dove il controllo dell'emostasi può essere critico.

Lo stesso cemento viene anche consigliato per la riparazione delle perforazioni, per il trattamento della polpa vitale (incappucciamento e pulpotomia) e per ottenere una barriera preformata nel trattamento dei denti ad apice immaturo (apicificazione).

Da una serie di studi portati avanti da diversi gruppi internazionali negli ultimi sei anni (quando il prodotto era in fase di sperimentazione per l'approvazione FDA) risulta che le caratteristiche dell'MTA sono paragonabili, e per certi versi superiori, a quelle degli altri materiali comunemente impiegati per otturare cavità in endodonzia (cavità retrograde, riparazione delle perforazioni) specie per quanto riguarda la capacità di sigillo e di biocompatibilità.

Abbiamo pertanto ritenuto opportuno fare una revisione della letteratura per definire il prodotto da un punto di vista scientifico e rendere note le informazioni disponibili sulle caratteristiche di un materiale che promette di essere molto versatile e di avere un posto a 360° nell'endodonzia del duemila.

1. PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE, ANTIBATTERICHE, E DI BIOCOMPATIBILITÀ DELL'MTA

Torabinejad e collaboratori hanno messo a punto la composizione chimica, il pH, la ra-

diopacità dell'MTA e quindi ne hanno paragonato il tempo di indurimento, la resistenza alla compressione e la solubilità con i rispettivi valori dell' Amalgama (AMG) del Super-EBA (HJ Bosworth Co. Skokie IL) e dell'IRM (LD Caulk Co. Milford DE), tutti materiali usati con un certo successo nella routine clinica per sigillare le comunicazioni endo-parodontali.

La polvere di MTA consiste di fini particelle idrofiliche, in cui prevalgono ioni fosforo e ioni calcio.

Poche altre sostanze, in forma di ossidi quantitativamente meno importanti, partecipano alla composizione di questo cemento, tra queste la polvere di bismuto è stata aggiunta per rendere il materiale più radiopaco. Le indagini sulla composizione chimica rivelano la coesistenza di due fasi distinte, la prima organizzata secondo una struttura cristallina e l'altra amorfa, di aspetto granulare, i cui principali costituenti sono rispettivamente l'ossido di calcio e il fosfato di calcio. Precisamente le proporzioni atomiche nei prismi sono calcio 87%, silice 2,47%, ossigeno 10,5%, mentre nelle aree di struttura amorfa troviamo calcio 33%, fosfato 49%, carbonio 2%, cloro 3%, silice 6%.

IL pH dell' MTA è di 10,2 subito dopo la miscelazione e sale a 12,5 nelle 3 ore successive stabilizzandosi su tale valore.

La radiopacità media dell'MTA è uguale a 7,17 mm di equivalente spessore di alluminio. Il tempo di indurimento medio insieme alla deviazione standard per l'MTA e per i materiali testati per il confronto sono:

Amalgama	(4min)	± (4sec)
Super-EBA	(9min)	± (30sec)
IRM	(6min)	± (30sec)
MTA	(2h.45min)	± (5min)

Dai test effettuati sulla resistenza alla compressione risulta che paragonando l'MTA all'AMG, all'IRM, e al Super-EBA, è l'amalgama il materiale che offre la più alta resistenza alla compressione fra i materiali testati, sia dopo 24h che dopo tre settimane. Seguono in ordine decrescente dopo 24h Super-EBA, IRM e MTA. Tuttavia dopo tre settimane i risultati su IRM, Super-EBA e MTA, sono pressoché equivalenti. Per quanto concerne la solubilità non vi sono significative variazioni di peso per quanto riguarda i campioni di AMG, Super-EBA e MTA, mentre si nota un calo ponderale nell'IRM specie a distanza di 21 giorni (1).

ABSTRACT

A new material based on mineral trioxide aggregates have recently been developed and experimented for endodontic use.

The material has been investigated both *in vitro* and *in vivo* for its potential

as an alternative restorative compound to seal the pathways of communication between the root canal and the periradicular tissues.

Based on the results of the investigations that we report in this review of the literature, it appears that the MTA (as it has been named this new cement) is biocompatible, has excellent sealing properties, offers a good performance even in the presence of fluid contamination of the operating field, and moreover favours the formation of calcified tissue at its interface. Its use has been recommended for retrograde cavities in surgical endodontics, sealing of perforation defects, direct pulp capping and apical barrier formation.

Key words: Endodontic cements.

Cotti E, Dettori C, Carboni F, Boero GN.
 Caratteristiche di un nuovo cemento per uso
 endodontico: l'aggregato di triossidi minerali
 (MTA) *G II Endo* 2000; 2: 58-63

Inoltre l' MTA risulta essere meno radiopaco rispetto all'AMG ma più radiopaco della guttaperca, dell'IRM e del Super-EBA, quindi facilmente distinguibile dai tessuti normali del dente (la radiopacità della dentina è 0,70) e perciò idoneo per un ottimale immagine radiografica (1).

L'idratazione della polvere di MTA con H₂O dà luogo, nell'arco di 3 ore, alla formazione di un materiale solido le cui caratteristiche dipendono in parte anche dalle dimensioni delle particelle, dal rapporto acqua-polvere, dalla temperatura e dalla quantità d'acqua intrappolata all'interno dell'aggregato. I criteri standard della miscelazione sono stati indicati dall' ISO e utilizzati in questo studio per determinare il tempo di indurimento che abbiamo visto essere di gran lunga superiore a quello dei comuni materiali per otturazione di cavità tuttavia considerando che generalmente a un minor tempo di indurimento corrisponde una maggiore retrazione del materiale, questo dato potrebbe spiegare la scarsa infiltrazione batterica e di coloranti nelle perforazioni chiuse con MTA rendendo questo materiale ulteriormente apprezzabile. La medio-bassa resistenza alla compressione, specie nell'intervallo immediatamente successivo alla miscelazione non rappresenta un grosso problema dal momento che il materiale riempitivo in questo caso non deve sopportare i carichi pressori della superficie occlusale. L'ideale mancanza di solubilità di un materiale riempitivo viene in parte a mancare, ma anche in questo caso bisogna considerare che l'MTA non verrebbe a contatto con i fluidi della cavità orale, di conseguenza non subirebbe una significativa azione erosiva. In base ai risultati di questo studio sembra che l'MTA abbia i requisiti per essere utilizzato come materiale per otturazione di cavità radicolari (1).

Poiché ioni calcio e ioni fosforo sono i principali costituenti dei tessuti duri del dente appare giustificata la sperimentazione della biocompatibilità dell' MTA con le cellule e i tessuti. Avendo enunciato le principali caratteristiche fisico-chimiche dell' MTA, procediamo con l'esporre i risultati di vari studi su questo materiale.

La citotossicità dell'MTA era stata già testata *in vitro* nel 1995 assieme a quella del Su-

per-EBA e dell'IRM, usando il rivestimento di Agar, e il metodo al Radiocromo. I risultati hanno dimostrato che il grado più basso di citotossicità era quello dell'MTA, seguito dall'AMG, dal Super-EBA, e dall'IRM. (2). Questi dati sono stati confermati in un lavoro successivo.

In questo studio per l' esperimento è stata usata una coltura *in vitro* di fibroblasti gengivali umani e di cellule I-929, mentre gli effetti tossici sono stati stabiliti usando il metodo MTT per l' attività degli enzimi mitocondriali e il metodo CV per il numero delle cellule. Dai risultati è emersa appunto la scarsa citotossicità dell'MTA rispetto al Super-EBA e all' AMG. (3) Un' altra informazione riguarda il potere mutageno dell' MTA. In uno studio in cui sono state impiegate delle specie di *Salmonella Typhimurium*, esaminate secondo il metodo standard Ames sulla mutagenicità, si è visto che l'MTA, il Super-EBA e l'IRM, non sono sostanze mutagene (4).

Rimanendo nell'ambito della citologia è stato messo a punto uno studio sulla reazione degli osteoblasti e sulla produzione di citochine da parte di queste cellule in presenza di MTA e di IRM. L'MTA e l' IRM sono stati preparati e disposti in capsule di Petri contenenti una coltura di osteoblasti. Successivamente sono state condotte osservazioni al microscopio elettronico a scansione. Per la valutazione della produzione di citochine le cellule sono state coltivate sia da sole, che nella capsule contenenti i materiali da testare. L'esame ha mostrato dopo tre giorni la presenza di cellule sane a contatto con l'MTA, mentre le cellule all'interfaccia con l'IRM apparivano rotondeggianti.

L' esame Elisa, ha rivelato aumentati livelli di tutte le interleuchine per tutto il periodo in cui le cellule sono state a contatto con l'MTA, mentre le cellule che erano state a contatto con l'IRM secernevano un materiale non bene identificato. Il fattore stimolante i macrofagi, veniva prodotto indipendentemente dal materiale testato. Sembra che l'MTA offra quindi un substrato biologicamente attivo per le cellule ossee e possa stimolare la produzione di interleuchine (5). Una delle principali indagini sull' MTA è stata condotta per verificare *in vivo* la sua biocompatibilità confrontandola con quella di

altri tre materiali comunemente usati per l'otturazione delle cavità radicolari, AMG, IRM, Super-EBA.

Di fatto poiché questi materiali restano in stretto contatto con i tessuti periradicolari, la biocompatibilità è una condizione indispensabile per il loro utilizzo clinico. Nel presente studio sono state utilizzate le tibie e le mandibole di 20 cavie: dopo avere anestetizzato gli animali, sono stati scolpiti dei lembi di tessuto nelle tibie e sono state preparate delle cavità ossee standardizzate. I materiali da testare sono stati sistemati in tubi di teflon e questi impiantati nelle tibie e 10 giorni più tardi lo stesso lavoro è stato fatto nelle mandibole.

All'esame istologico 80 giorni dopo sono stati osservati e registrati i seguenti parametri:

1. Presenza di infiammazione;
2. Tipo predominante di cellule;
3. Spessore dei tessuti connettivi fibrosi adiacente ad ogni impianto. La reazione dei tessuti all'impianto di MTA è stata la migliore tra tutti i materiali testati: non è stata riscontrata nessuna infiammazione né nelle tibie né nelle mandibole. Apposizione di tessuto duro è stata rilevata adiacente all'MTA in 5 campioni su 11 tra le tibie e in 1 campione su 10 tra le mandibole. Uno dei campioni del gruppo delle tibie presentava un tessuto misto duro-molle.

Per quanto concerne invece l'AMG, più della metà degli impianti ha presentato in entrambi i siti degli stati flogistici con prevalenza di monociti, macrofagi e cellule giganti.

La formazione di tessuto duro è stata osservata in un caso sia nelle tibie che nelle mandibole. Tre tibie hanno presentato un tessuto misto duro/molle. La reazione dei tessuti agli impianti di IRM e Super-EBA sono classificabili come intermedie fra quelle registrate per l'MTA e l' AMG (6).

L'esperimento precedente rappresenta l'evoluzione di uno studio pilota condotto dagli stessi autori nel 1995, in cui era stata documentata la reazione di alcuni tessuti all' impianto di Super-EBA e di MTA utilizzando le mandibole di 10 cavie. I risultati attestavano la biocompatibilità di entrambi i materiali con una reazione tissutale leggermente più modesta vicino all'MTA.

Tutti e 5 i campioni con Super-EBA, presentavano uno strato di connettivo fibroso vicino al cemento mentre in uno dei 5 campioni con MTA era stata osservata la presenza di tessuto osseo. Tutti i campioni con Super-EBA presentavano leggere infiammazioni, mentre tre dei cinque campioni dell'MTA, ne erano completamente privi. Le cellule infiammatorie ritrovate intorno a entrambi i materiali erano prevalentemente macrofagi e cellule giganti. Lo strato di tessuto fibroso attorno al Super-EBA era tuttavia più spesso di quello osservato vicino all'MTA(7).

Un ulteriore studio è stato svolto per verificare l'eventuale attività antibatterica dell'MTA: caratteristica che dovrebbe appartenere al materiale ideale per l'otturazione delle cavità in endodonzia. Nella ricerca sono stati confrontati gli effetti antibatterici dell'AMG, del Super-EBA, del cemento all'Ossido di Zinco Eugenolo (ZOE) e dell'MTA, su 9 batteri anaerobi facoltativi (*streptococcus fecalis*, *str.mitis*, *str.mutans*, *str.salivarius*, *lactobacillus*, *staphilococcus aureus*, *staph. epidermis*, *bacillus subtilis*, *E. coli*) e su 7 batteri anaerobi (*bacteroides buccae*, *b. fragilis*, *b. intermedius*, *b. melaninogenicus*, *fusobacterium necrophorum*, *peptostreptococcus anaerobius* e *fusobacterium nucleatum*). Le singole specie batteriche sono state allevate su supporti solidi, i materiali da testare sono stati preparati e lasciati solidificare, per poi essere sistemati in questi supporti. I supporti impregnati con Super-EBA liquido sono stati usati come riscontro positivo. L'effetto antibatterico, cioè il diametro delle zone di inibizione è stato misurato in millimetri e i dati sono stati analizzati usando l'analisi della varianza e i test di Scheffè per determinare le differenze statistiche fra gli effetti antibatterici dei diversi materiali. I supporti impregnati con Super-EBA liquido hanno provocato diversi gradi di inibizione della crescita di entrambi i tipi di batteri. L'AMG non ha mostrato alcun effetto sui batteri utilizzati nello studio, le paste a base di ZOE e Super-EBA hanno avuto qualche effetto, sia sugli anaerobi stretti che i sui facoltativi, l'MTA ha mostrato qualche effetto solo su 4 specie di batteri anaerobi facoltativi (*str. mitis*, *str. salivarius*, *str. epidermis*, *lactobacillus*).

È importante sottolineare che l'MTA appe-



Fig. 1 - Università di Loma Linda, California, "patria" dell'MTA.

na miscelato ha una azione più aggressiva nei confronti dei microrganismi in generale rispetto all'MTA indurito. E' probabile che l'effetto antibatterico sia dovuto al suo pH elevato o al rilascio di particolari sostanze che diffondono nel terreno di coltura. Sulla base delle informazioni ottenute con questo studio sembra comunque che nessuno dei materiali testati abbia un significativo effetto antibatterico sulle specie in questione e presumibilmente nemmeno sulle altre specie batteriche che colonizzano il cavo orale. In particolare l'MTA, tenendo conto del fatto che la flora batterica dei 5 mm apicali dei canali radicolari è costituita prevalentemente da anaerobi stretti (68%), non può essere apprezzato per le caratteristiche antibatteriche (8).

2. STUDI SULL'APPLICAZIONE CLINICA DELL'MTA

Di fatto uno dei principali impieghi dell'MTA consiste nella riparazione delle perforazioni iatrogene (9,10), come riportato anche in un caso clinico pubblicato nel 1996 (11). Degni di nota, da questo punto di vista, sono gli studi atti a valutare il suo potere sigillante sia ai fini della ritenzione e dell'indurimento, sia paragonandolo a quello dei soliti altri materiali di uso convenzionale

(9, 10). In un esperimento il potere sigillante dell'MTA è stato confrontato con quello dell'AMG e dell'IRM su 50 molari mascellari e mandibolari sani estratti. In tutti i denti è stata preparata una cavità d'accesso standard ed è stata realizzata una perforazione dal canale mesiale, verso la superficie mesiale della radice, con un angolo di 45° rispetto all'asse lungo del dente. I denti così preparati sono stati messi in una spugna immersa in soluzione salina, per simulare la condizione clinica. I denti sono stati poi divisi in quattro gruppi in cui le perforazioni sono state ripartite nel modo seguente:

Gruppo 1: 15 denti riparati con AMG;
Gruppo 2: 15 denti riparati con IRM;
Gruppo 3: 15 denti riparati con MTA;
Gruppo 4: 5 denti non riparati utilizzati come controllo positivo

L'amalgama e l'IRM sono stati sistemati nelle perforazioni con la siringa di Messing, attraverso le cavità d'accesso poi otturate con lo stesso materiale. La polvere dell'MTA è stata mescolata con acqua in rapporto di 3 a 1 dopo di che è stata sistemata nelle perforazioni sempre con la siringa di Messing.

I denti sono stati tenuti in soluzione fisiologica per quattro settimane, quindi sottoposti al test classico di infiltrazione col blu di metilene per 48 ore. La penetrazione lineare

nell'IRM è stata di 1,3 mm, con una oscillazione da 0 a 3 mm, nell'AMG è stata di 1,52 mm, con una oscillazione da 0,5 a 2,5 mm. Decisamente minore il grado di infiltrazione dell'MTA con una media di 0,28 mm e una oscillazione da 0 a 0,8 mm che anche per la sua spiccata idrofilia risulta particolarmente adatto ad un ambiente umido quale è quello dei tessuti periradicolari (9). Un altro esperimento sul sigillo delle perforazioni della forcazione ha dimostrato che il cemento offre una buona resistenza alla potenziale dislocazione dalla cavità otturata, soprattutto dopo 72 ore dall'introduzione. Inoltre ha confermato la buona performance del materiale in presenza di umidità (10). Altri due studi hanno invece avallato la qualità dell'MTA come sigillante per l'otturazione delle cavità retrograde all'apice. Nel primo, su 76 radici singole di denti umani estratti sono state fatte le apicectomie e preparate le cavità retrograde: 72 sezioni radicolari sono state ripartite casualmente in tre gruppi e chiuse rispettivamente con AMG, Super-EBA e MTA. La microinfiltrazione è stata valutata per il tempo di 24h, 72h, 2sett, 4, 8, 12sett, usando un sistema di microinfiltrazione fluida. La microinfiltrazione delle radici appartenenti ai gruppi trattati con MTA e Super-EBA è risultata sensibilmente inferiore rispetto all'infiltrazione delle radici chiuse con AMG dopo 24 h, 72 h e 2 settimane. Nei periodi successivi non ci sono state differenze significative tra i tre materiali. Pertanto l'MTA si è dimostrato superiore all'AMG e paragonabile al Super-EBA nel prevenire la microinfiltrazione quando usato come materiale da otturazione apicale (12).

Il secondo esperimento aveva invece il fine di confrontare la capacità di sigillo a lungo termine dell'MTA e di alcuni materiali da otturazione apicale. 100 campioni composti da dischi ottenuti da sezioni di radici bovine, ciascuno alto 3 mm con il lume del canale pulpare di 2,6 mm di diametro, sono stati riempiti con 5 diversi materiali da otturazione. L'infiltrazione è stata determinata utilizzando un dispositivo di trasporto fluido a pressione. Durante i primi 3 mesi la percentuale di infiltrazione era in aumento nei casi trattati con AMG e Super-EBA, mentre era in diminuzione nei casi trattati con l'MTA.

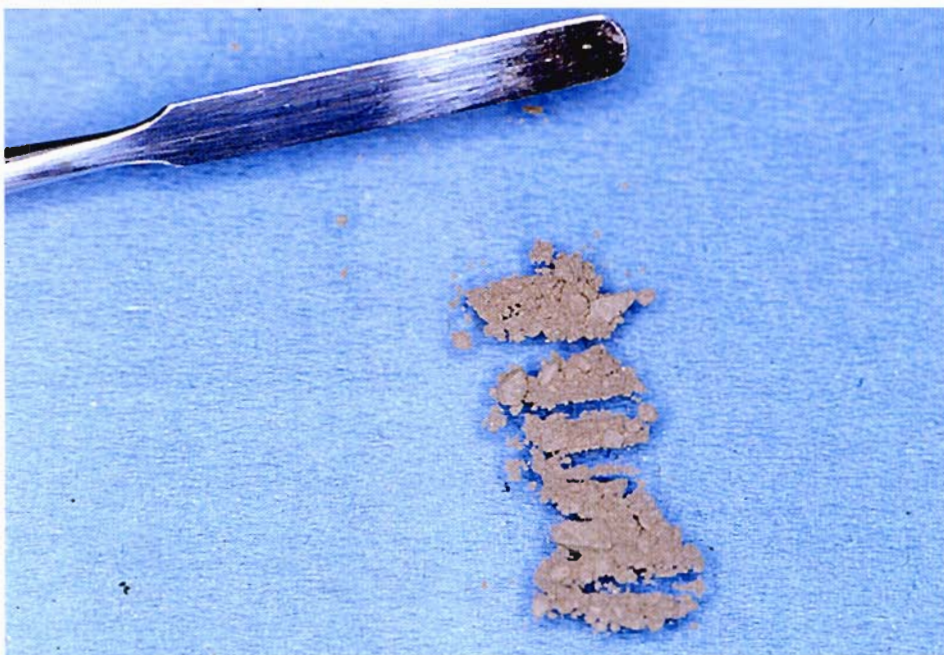


Fig. 2 - Aspetto della polvere di MTA.

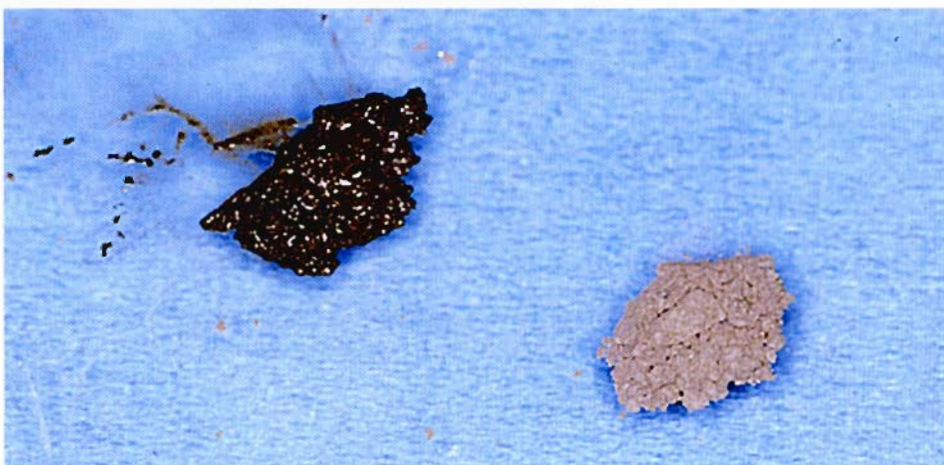


Fig. 3 - Aspetto dell'MTA dopo miscelazione.

Considerando poi la valutazione a distanza di 3, 6, 12 mesi, sia i cementi Vetronomec, che l'MTA, mostravano una minore infiltrazione rispetto al Super-EBA e soprattutto all'AMG (13).

Una considerazione molto importante, come affermato in precedenza, riguarda l'uso dell'MTA in ambiente umido. In un lavoro *in vitro* del 1994 l'MTA è stato sistemato in cavità retrograde contaminate con sangue umano. Il confronto, come al solito, è stato fatto tra MTA, AMG, Super-EBA e IRM. Su 90 denti umani estratti in cui sono state fatte le apicectomie e preparate le cavità retrograde che sono state riempite con i materiali del test. Per ogni materiale 10 cavità apicali sono state asciugate, mentre le altre 10 sono state contaminate con sangue umano prima dell'esecuzione dell'otturazione retrograda; le rimanenti 10 radici sono servite da controllo. Sulle 90 radici è stato poi eseguito un test di infiltrazione con una soluzione all'1% di blu di metilene per 72 ore. I risultati hanno indicato che l'MTA subiva un'infiltrazione significativamente inferiore rispetto agli altri materiali testati con o senza la

contaminazione del sangue nella cavità apicale (14). Avendo dimostrato che l'MTA permette un'infiltrazione di colorante sensibilmente inferiore rispetto ai comuni materiali da chiusura apicale, un'altra serie di studi è stata svolta al fine di verificare la sua resistenza alla infiltrazione batterica.

In un primo lavoro è stato misurato il tempo che impiega lo *Streptococcus Epidermidis* per penetrare 3 mm di spessore in 40 radici di denti umani estratti sigillate con AMG, IRM, Super-EBA e MTA. L'analisi dei dati non ha mostrato differenze significative per quanto concerne l'infiltrazione nei campioni in cui erano stati utilizzati AMG, Super-EBA e IRM, (nei quali è stata riscontrata la penetrazione dello *Streptococcus* a cominciare dal 6° fino a 56° giorno). Mentre le radici riempite con l'MTA non hanno mostrato nessuna infiltrazione durante tutto il periodo dell'esperimento (90 giorni) (15). In un secondo esperimento è stata testata la capacità dell'MTA e dell'AMG di sigillare le perforazioni delle forcazioni in 39 molari estratti umani con un modello di infiltrazione di batteri anaerobi a doppia camera. Dall'e-

sperimento è risultato che 8 dei 18 campioni con AMG presentavano infiltrazione, che non è stata riscontrata in nessuna delle riparazioni eseguita con MTA (16).

Una terza prova dell'efficacia dell'MTA come barriera antibatterica si è avuta dalla valutazione del tempo impiegato dalla *Serratia Marcescens* per penetrare 3 mm di spessore di una chiusura apicale realizzata con IRM, AMG senza zinco, Super-EBA e MTA. Infatti l'MTA si è rivelato il materiale più efficace, impedendo l'infiltrazione batterica fino al 49° giorno dell'esperimento mentre AMG, IRM e Super-EBA hanno resistito rispettivamente fino a 10, 28 e 42 giorni (17). Per quanto riguarda i risultati *in vivo*, l'MTA è stato impiegato per otturare cavità retrograde nelle radici dentali di 6 cani Beagle. Precisamente sono stati usati i terzi e i quarti premolari mandibolari. I denti sono stati contaminati esponendo la polpa attraverso una cavità d'accesso occlusale, allargando i canali con una lima e lasciandoli aperti alla flora batterica del cavo orale per due settimane.

Successivamente gli accessi sono stati chiusi con cemento provvisorio per quattro settimane. (Come risulta da un precedente esperimento pilota tale procedura causa delle lesioni periradicolari). A questo punto i denti sono stati divisi in due gruppi: nel gruppo 1 i canali, preparati, sono stati otturati con guttaperca e cemento e le cavità d'accesso sono state chiuse con MTA. Nel gruppo 2 i canali sono stati riempiti con guttaperca senza cemento e le cavità d'accesso sono state lasciate aperte. Nelle due settimane successive ogni animale ha subito 2 interventi di chirurgia periradicolare.

Le radici sono state tagliate e bisellate con un angolo di 45° tra il terzo medio e il terzo apicale, quindi sono state preparate le cavità retrograde. In ciascun elemento una cavità radicolare è stata otturata con Amalgama, mentre l'altra è stata riempita con MTA. In tempi diversi, da 2 a 18 settimane dopo, i cani sono stati sacrificati; blocchi mandibolari sono stati asportati, fissati in formalina per 2 settimane e preparati in sezioni seriate buccolinguali, colorate con ematosilina-eosina, tricromica di Masson e colorante di Brown e Brenn.

Sono state valutate: le caratteristiche dell'in-

fiammazione, la presenza di capsule fibrose, l'apposizione di cemento sulle radici, la formazione di periostio e osso e la presenza di batteri. I risultati istopatologici relativi ai 2 gruppi rivelano che i tessuti periradicolari di tutte le radici trattate con Amalgama erano affetti da una infiammazione da moderata a grave: solo un terzo delle radici trattate con MTA invece presentava un'infiammazione di tipo moderato. In nessuno dei campioni trattati con Amalgama si è osservata la neo apposizione di cemento a contatto col materiale, cemento che era invece sempre presente dopo la 10ª settimana a contatto con l'MTA. Formazione di osso e periostio è stata osservata su tutti i campioni. Batteri sono stati evidenziati nei tubuli dentali in circa la metà dei campioni di entrambi i gruppi.

La presenza di cemento sull'MTA sia nei canali otturati regolarmente che in quelli senza cemento e con le cavità d'accesso lasciate aperte all'ambiente orale indica il suo potere sigillante e la sua biocompatibilità. I risultati istologici inoltre dimostrano che l'MTA non ostacola la rigenerazione dei tessuti dentali e ossei e può indurre i cementoblasti a produrre la matrice per la generazione del cemento (18).

Risultati analoghi sono stati ottenuti in un esperimento successivo in cui l'MTA e l'AMG sono stati usati per otturare cavità retrograde in 12 incisivi mandibolari appartenenti a 3 scimmie. Dopo 5 mesi i tessuti periradicolari dei campioni MTA non mostravano infiammazione, inoltre 5 su 6 campioni presentavano uno strato completo di cemento a contatto con l'MTA. In corrispondenza dell'AMG invece, uno stato di infiammazione era costante così come non era mai presente neo apposizione di cemento (19).

L'applicazione dell'MTA è stata inoltre studiata in endo-pedodonzia: sia per il trattamento della polpa vitale (incappucciamento e pulpotomia) che per la tecnica di apacificazione nei denti immaturi. Sempre in uno studio *in vivo* sono stati utilizzati 12 incisivi mandibolari di scimmie per paragonare l'efficacia dell'MTA come agente per l'incappucciamento diretto a quella dell'idrossido di calcio. Dopo cinque mesi dall'incappucciamento pulpare, 5 su 6 campioni trattati

con l'MTA mostravano assenza di infiammazione pulpare e la formazione di un ponte dentinale completo. Negli altri campioni si osservava invece costantemente un quadro di infiammazione pulpare e la formazione di un ponte calcifico completo era presente solo in 2 campioni su 6 (20). Risultati simili erano stati ottenuti in uno studio precedente in cui l'incappucciamento diretto era stato fatto sulle polpe esposte dei denti dei cani beagle (21).

La formazione di dentina all'interfaccia con l'MTA può essere spiegata con le sue proprietà sigillanti, con le caratteristiche di biocompatibilità e alcalinità del prodotto, o ancora con la sua tendenza a favorire il rilascio di citochine dalle cellule ossee (20).

Per concludere l'MTA, in due esperimenti *in vivo*, è stato utilizzato nel trattamento dell'apice aperto nei premolari dei cani Beagle che erano stati infettati appositamente. I risultati istologici dei lavori hanno dimostrato che, previa disinfezione dei canali con idrossido di calcio, l'aggregato di triossidi minerali favorisce una buona chiusura apicale artificiale immediata con assenza quasi totale di infiammazione, a ridosso della quale nel tempo si ottiene l'apposizione di tessuto calcificato. Si ritiene conveniente quindi usare questo cemento come una barriera preformata all'apice di denti immaturi permettendo di risolvere il trattamento di apacificazione in 3 sole sedute ravvicinate. Lo stesso discorso vale per quanto riguarda l'eventuale necessità di contenere il materiale da riempimento endodontico in casi di grosse irregolarità apicali (22,23).

Per completare il quadro di questo cemento che per il momento sembra sicuramente degno di considerazione, si attendono i risultati di follow-up clinici longitudinali sull'uomo che saranno pubblicati in un prossimo futuro.

BIBLIOGRAFIA

1. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endodon* 1995; 21: 349-353
2. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endodon* 1995; 21: 489-92
3. Osorio RM, Hefti A, Vertucci FJ, Shawley AL. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endodon* 1998; 24: 91-96
4. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation on mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root end filling materials. *J Endodon* 1995; 21: 537-539
5. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endodon* 1998; 24: 543-47
6. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Abedi HR, Kariyawasam SP, Tang HM. Tissue reaction to implanted potential root-end filling materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endodon* 1998; 24: 467-71
7. Torabinejad M, Hong CH, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted super-eba and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea-pigs: a preliminary report. *J Endodon* 1995; 21: 569-571
8. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endodon* 1995; 21: 403-406
9. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endodon* 1993; 19: 541-44
10. Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endodon* 1998; 24: 768-71
11. Arens DE, Torabinejad M. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1996; 82: 84-8
12. Bates CF, Carnes DL, Del Rio CE. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endodon* 1996; 22: 575-578
13. Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endodon* 1998; 24: 557-60
14. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials: effects of blood contamination. *J Endodon* 1994; 20: 159-63
15. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root end filling material. *J Endodon* 1995; 21: 109-112
16. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam. [Abstract #40] *J Endodon* 1997; 23: 259
17. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and super-eba as a root-end filling material. *J Endodon* 1998; 24: 176-179
18. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endodon* 1995; 21: 603-608
19. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, Abedi HR, Miller D, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endodon* 1997; 23: 225-228
20. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam S. Using mineral trioxide aggregate as a pulp capping material. *JADA* 1996; 127: 1491-94
21. Abedi HR, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Bakland LK. The use of mineral trioxide aggregate cement (MTA) as a direct pulp capping agent. [Abstract #44] *J Endodon* 1996; 22: 199
22. Tittle KW, Farley J, Linkardt T, Torabinejad M. Apical closure induction using bone growth factors and mineral trioxide aggregate [Abstract # 41] *J Endodon* 1996; 22: 198
23. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne PJ, Abedi HR, McMillan P. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endodon* 1999; 25: 261-3