

# Uso dell'MTA in Endodonzia

## The use of MTA in Endodontics

### RIASSUNTO

Recentemente il Dott. M. Torabinejad dell'Università di Loma Linda ha realizzato e proposto un nuovo materiale, il Mineral Trioxide Aggregate, che per le sue caratteristiche e l'alta biocompatibilità, potrebbe in futuro soppiantare gran parte di quei materiali finora indicati per sigillare le comunicazioni tra il sistema canalare e la superficie esterna dell'elemento dentale.

In questo articolo, dopo aver fatto riferimento alla revisione della letteratura sull'argomento e dopo aver esaminato le caratteristiche chimico-fisiche e merceologiche dell'MTA, verranno descritte le diverse applicazioni cliniche relative alle otturazioni retrograde, alle perforazioni radicolari iatrogene e patologiche e le diverse procedure operative tramite le quali viene utilizzato l'MTA, tenendo in considerazione i risultati clinici ottenuti nell'arco di due anni di utilizzo.

**Parole chiave:**

**Mineral Trioxide Aggregate. Materiale da otturazione retrograda.**

**Key words:**

**Mineral Trioxide Aggregate. Root-end filling material. Retrograde filling.**

### INTRODUZIONE

Fin da quando l'endodonzia muoveva i suoi primi passi, l'endodontista sentiva la necessità di avere a disposizione un materiale ideale per sigillare ermeticamente tutte le vie di comunicazione tra endodonto e parodonto possibilmente nella maniera più biocompatibile.

Dai primi cementi, che non erano né biocompatibili né sigillavano ermeticamente, si arrivò alla guttaperca che fece fare all'endodonzia un enorme salto qualitativo. Purtroppo questo materiale, pur svolgendo egregiamente il suo compito come sigillo apicale, non è altrettanto efficace nell'endodonzia retrograda come materiale da otturazione; per questo è stato sostituito da tempo dall'amalgama d'argento.

Anche l'amalgama, dopo circa venti anni di utilizzo in questo campo, ha ceduto il posto a materiali più biocompatibili come i cementi a base di ossido di zinco ed eugenolo (Super-EBA, IRM), che sono ormai diventati materiali di prima scelta per la otturazione retrograda.

Questi materiali, pur essendo molto validi, sono molto lontani dall'essere considerati il "materiale ideale" che tutti noi desidereremmo, ossia un materiale ad alta biocompatibilità, facilmente maneggevole, che possieda un'alta capacità sigillante e che garantisca il successo a breve e a lungo termine (1). Infatti l'amalgama presenta difetti come l'iniziale infiltrazione, la successiva corrosione, la contaminazione da mercurio, la sensibilità all'umidità, la necessità di preparare una cavità ritentiva, la possibilità di provocare tatuaggi della mucosa alveolare e di lasciare nei tessuti periapicali piccole quantità di materiale. Questo materiale non essendo perfettamente biocompatibile ha dato buoni risultati quando utilizzato in cavità piccole; invece mostra tutti i suoi limiti se utilizzato in grandi cavità o per riparare grandi porzioni di radice, (Figg. 1, 2, 3, 4).

Inoltre richiede per il suo utilizzo, un campo perfettamente asciutto soprattutto nelle prime fasi di cristallizzazione, cosa non sempre possibile in endodonzia chirurgica. I cementi a base di ossido di zinco ed eugenolo presentano invece degli svantaggi per quel che riguarda la sensibilità all'umidità, la non perfetta biocompatibilità con i tessuti periapicali, la solubilità e la difficoltà di manipolazione (2).

Se poi pensiamo al materiale di scelta utilizzato negli incappucciamenti e nelle apificazioni, ossia l'idrossido di calcio, i suoi principali limiti risiedono nella sensibilità all'umidità del campo operatorio e alla sua solubilità.

Per questo motivo si è avvertita l'esigenza di trovare un nuovo composto che si avvicinasse il più possibile ai requisiti del materiale ideale o perlomeno che avesse meno difetti dei materiali già esistenti. Partendo da tale presupposto, il Dott. M. Torabinejad, dell'Università di Loma Linda, ha messo a punto un nuovo cemento, il Mineral Trioxide Aggregate, e nel 1993 appare la prima pubblicazione in letteratura. Dopo un'accurata ricerca svolta *in vitro* ed *in vivo*, l'autore ne ha consigliato l'uso nelle seguenti procedure:

1. otturazioni retrograde;
2. otturazioni di perforazioni radicolari e della camera pulpare;
3. riassorbimenti interni;
4. incappucciamenti;
5. apificazioni.

Purtroppo da quello che si evince da una revisione della letteratura internazionale, neanche l'MTA può essere considerato un materiale ideale, ma alcune sue peculiarità ne fanno un prodotto di rilevante interesse. Dalla casistica clinica emerge come un insufficiente sigillo, ottenuto con i materiali di uso comune, sia nelle otturazioni retrograde che nelle riparazioni delle perforazioni radicolari, possa essere uno dei motivi che determinano l'insuccesso del trattamento (3, 4). Per questo motivo i ricercatori hanno indirizzato diversi studi nella valutazione del grado del sigillo e dell'infiltrazione marginale di questi materiali.

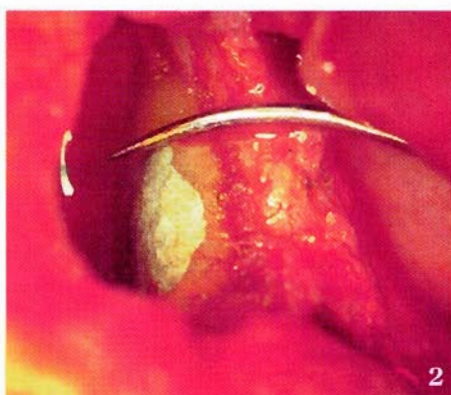
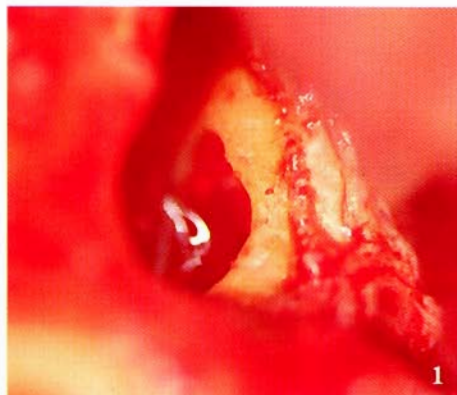
Torabinejad et al. (5), in uno studio effettuato su 30 canali trattati per via ortograde, successivamente otturati per via retrograda e quindi esposti ad una soluzione contenente

### ABSTRACT

Recently Dr. M. Torabinejad of Loma Linda University, introduced a new material, the Mineral Trioxide Aggregate, whose characteristics and high biocompatibility, could in the future replace most other materials, and so far have been shown to seal the pathways of communication between the root canal system and the external surface of the tooth.

In this article, having taken in consideration the review of the literature and after examined the chemical-physical properties of MTA, will described the clinical procedures for its application through the presentation of clinical cases concerning root-end filling, furcal and radicular perforations (pathologies and iatrogenics), pulp-cappings, referring to clinics results in two years of use.





**Fig. 1** - Caso di riassorbimento esterno a carico della porzione mesiopalatina della radice dell'11 dove era già stata tentata la via ortograde: la foto mostra l'accesso chirurgico.

**Fig. 2** - Fasi della riparazione radicolare con amalgama d'argento.

**Fig. 3** - Controllo radiografico postoperatorio.

**Fig. 4** - Controllo radiografico dopo 10 anni in cui si osserva chiaramente una riduzione della radiotrasparenza ma non la scomparsa completa pur essendo assente qualsiasi sintomo clinico sia soggettivo che oggettivo. Il persistere della radiotrasparenza potrebbe essere attribuito alla reazione dei tessuti a contatto con enorme massa di amalgama.

te un colorante fluorescente, all'analisi microscopica riscontrarono come l'MTA possedesse una capacità sigillante migliore rispetto al Super-EBA e all'amalgama. Il risultato ottenuto da questi autori fu successivamente confermato da uno studio effettuato al SEM (6) su sezioni e repliche in resina di neoapici radicolari otturati con gli stessi materiali ed in più con IRM. Bates et al. (7) valutarono *in vitro* la capacità sigillante di amalgama, Super-EBA ed MTA ad intervalli di tempo, per un totale di 12 settimane, usando un sistema di misurazione della filtrazione dei fluidi. Il risultato ottenuto evidenziò l'eccellente capacità sigillante dell'MTA dopo 12 settimane di immersione in un fluido, paragonabile a quella del Super-EBA, e superiore, nella fase iniziale (da 24 h sino a 2 settimane), di circa 8 volte a quella dell'amalgama. Una considerazione importante che emergeva da questo studio, a differenza dei precedenti, era il simile comportamento tra MTA e Super-EBA, interpretabile forse per la diversa metodologia utilizzata, in quanto il colorante veniva fatto filtrare sotto una certa pressione e non passivamente. Successivamente, un analogo studio condotto da Wu ed al. (8), evidenziò un'al-

tra importante peculiarità dell'MTA, ossia nei primi 3 mesi del test, la percentuale di microinfiltrazione diminuiva del 55%, a differenza dell'amalgama e del Super-EBA, nei quali invece si riscontrava un cospicuo incremento. A 6 e 12 mesi questi ultimi materiali mostravano invece dei valori di infiltrazione piuttosto modesti, mentre l'MTA manteneva il suo sigillo inalterato. È evidente che l'MTA presenti inizialmente un certo grado d'infiltrazione, ma con il passare del tempo questa si riduce, in quanto la reazione di indurimento è piuttosto lunga; al suo completamento avverrebbe sia il miglioramento del sigillo marginale, sia l'aumento della resistenza alla compressione. A sostegno di questa teoria, Fischer ed al. (9) ipotizzano che la reazione di indurimento provocherebbe una espansione del cemento grazie alle caratteristiche idrofile dell'MTA; inoltre, un certo effetto antibatterico del materiale potrebbe esaltarne la capacità sigillante.

Un altro requisito importante per l'utilizzo di un materiale indicato per gli scopi già visti, è quello di essere biocompatibile. Torabinejad (10) e Keiser (11) hanno dimostrato *in vitro* come l'MTA abbia un basso grado

di citotossicità, inferiore all'amalgama, Super-EBA, IRM. Studi successivi effettuati *in vivo* su cani (12) e scimmie (13), hanno dimostrato che a contatto con l'MTA, quando utilizzato come cemento per le otturazioni retrograde, non vi sia la presenza di tessuto infiammatorio periradicolare, ma si riscontrino invece, al di sopra dell'otturazione, la presenza di uno strato completo di cemento neoformato.

La possibile spiegazione di questo fenomeno è stata fornita da Koh et al (14, 15). Secondo questi autori l'MTA stimolerebbe gli osteoblasti nel rilasciare interleuchine, le quali attiverebbero cellule immature nell'accrescimento e nell'adesione su di esso. Il meccanismo con il quale il materiale attiva gli osteoblasti non è ben chiaro; è stato visto come sia scarsa la sua solubilità (16), ma è possibile che piccole quantità del prodotto in soluzione, potrebbero attivare gli osteoblasti nel sintetizzare le interleuchine, oppure sarebbe la superficie stessa dell'MTA a fornire uno stimolo necessario per la differenziazione degli osteoblasti, con la conseguente produzione e mineralizzazione della matrice ossea (17). Ne deriva quindi questa duplice azione influenzata dalla presenza dell'MTA, a testimonianza del suo notevole grado di biocompatibilità.

Grazie a queste due importanti caratteristiche, ossia biocompatibilità e alto potere sigillante, l'MTA è stato provato anche negli incappucciamenti. I risultati ottenuti sono stati favorevoli, come testimonia un test effettuato sulle scimmie (18), nel quale, a distanza di 5 mesi, era riscontrabile il successo della terapia in 5 casi su 6. Il meccanismo d'azione di questo cemento, quando utilizzato negli incappucciamenti, mostra analogie con quello dell'idrossido di calcio, anche se nella sua composizione questa sostanza non è presente. Se analizzato al SEM, l'MTA mostra due specifiche fasi: una cristallina, ricca di calcio, silice ed ossigeno, ed una amorfa, ricca di calcio e fosfati (16). Sarebbe proprio la fase cristallina, costituita principalmente da ossido di calcio, che a contatto con l'essudato si trasformerebbe in idrossido di calcio, il quale stimolerebbe la formazione di tessuto duro di riparazione (19); ciò si verifica anche quando è utilizzato nelle apificazioni (20).



## CARATTERISTICHE CHIMICO FISICHE E MERCEOLOGICHE

L' MTA è commercializzato sotto forma di polvere dal colore grigio scuro, consistente di fini particelle idrofile, che miscelate con acqua distillata sterile, formano un gel colloidale che solidifica in circa 4 h (16). La composizione chimica è nota soltanto nei suoi costituenti ma non nelle percentuali. I principali composti presenti nella polvere sono:

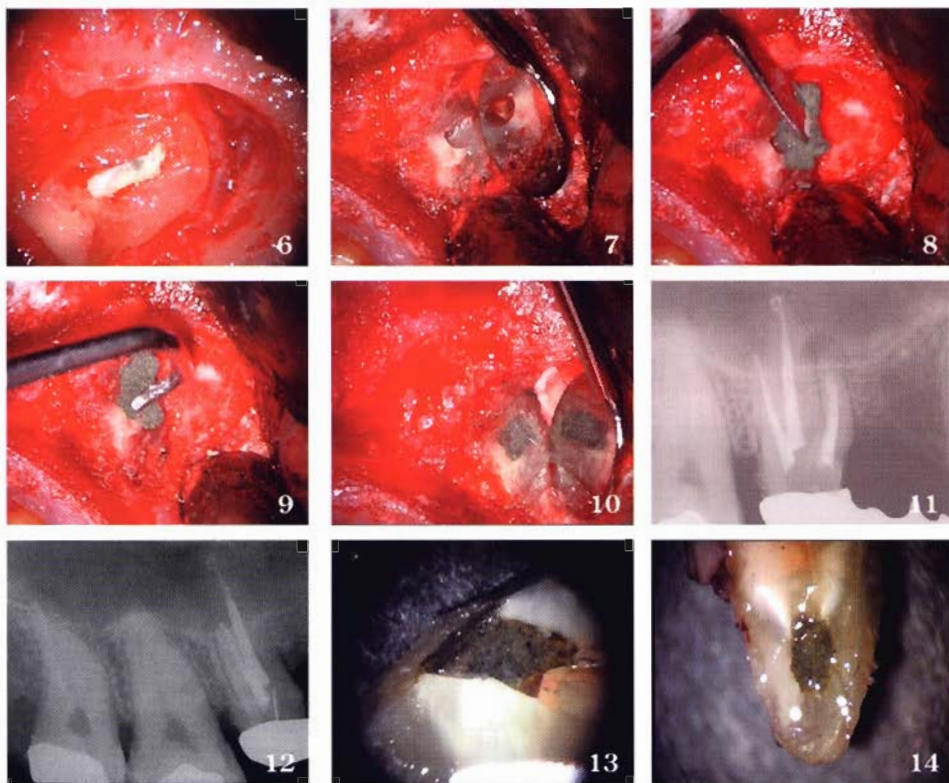
- Silicato tricalcico
- Alluminato tricalcico
- Silicato ossido
- Ossido tricalcico
- Ossido di bismuto

Il liquido è costituito da acqua distillata sterile. Il rapporto di miscelazione è di tre parti in polvere ed una in acqua; gradualmente la polvere viene incorporata al liquido fino ad ottenere un impasto di consistenza cremosa (Fig. 5). A questo punto possiamo utilizzare il materiale per il nostro scopo, per un tempo di lavorazione di circa 5 minuti. Dopodiché lasciamo l' MTA *in situ* senza aspettare il suo completo indurimento, che avverrà in un periodo di tempo variabile dalle 2 h e 45 min alle 4 h. Vi sono vari fattori che incidono su questa variabilità, quali la grandezza delle particelle, il rapporto polvere-liquido, la temperatura, l'umidità e l'aria intrappolata nel composto durante la miscelazione.

Apparentemente questo elevato valore può essere interpretato come un aspetto negativo del materiale, ma in realtà il veloce indurimento di un cemento ha come conseguenza l'alta possibilità di formazione di tensioni interne, che si traducono, clinicamente, in



Fig. 5 - Aspetto dell'MTA in polvere e dopo miscelazione con acqua.



una maggiore incidenza di infiltrazione marginale (16).

Un'altra importante caratteristica risiede nella resistenza alla compressione. Da un basso valore iniziale, avviene, con il passare del tempo, un graduale aumento, fino a raggiungere dopo 21 gg., un valore simile a quello dell'IRM e del Super-EBA. Condizione indispensabile affinché questo avvenga, è la presenza di umidità (16), verosimilmente per la natura idrofila dell'MTA. Una considerazione importante derivante da questa particolarità, riguarda l'utilizzo del materiale negli incappucciamenti e nelle otturazioni delle perforazioni della camera pulpare. Infatti non è mai possibile otturare definitivamente l'elemento dentale in un'unica seduta, ma ne è necessaria una successiva, a distanza di almeno 72 h dall'apposizione dell'MTA. In questo arco di tempo il materiale acquisisce una buona durezza e resistenza al dislocamento (21), tale da non risentire delle procedure attuate per effettuare l'otturazione definitiva.

Altra caratteristica rilevante riguarda la scarsissima solubilità dell'MTA; va detto però che il test che ha valutato questa proprietà è stato eseguito *in vitro* (16) e inoltre, non ci sono dati a lungo termine che ci indichino quale sia il grado di riassorbibilità del cemento.

Per quanto riguarda il pH, il valore è nettamente basico e si avvicina notevolmente a quello dell'idrossido di calcio. Questa analogia può essere indicativa, come è stato ricordato precedentemente, per l'interpretazione del simile meccanismo d'azione.

Fig. 6 - Il caso si riferisce ad un dente numero 16 affetto da patologia endoparodontale con sondaggio fino all'apice della radice mesio-vestibolare: la foto mostra l'esposizione dell'apice.

Fig. 7 - Controllo della cavità retrograda con microspecchietto.

Figg. 8, 9, 10 - Fasi dell'otturazione con MTA utilizzato impastato ed introdotto nella cavità umida.

Fig. 11 - Controllo rx al termine dell'intervento.

Fig. 12 - Controllo rx dopo 5 mesi la radice mesio-vestibolare è stata estratta per complicazioni parodontali.

Fig. 13 - Osservazione al microscopio della superficie del bisello radicolare e dell'otturazione con l'MTA.

Fig. 14 - Sezione longitudinale per usura della radice e dell'otturazione retrograda: si osserva un'ottima aderenza del materiale da otturazione ai margini e alle pareti della cavità e la mancanza di disomogeneità all'interno dello stesso.

## CONCLUSIONI

La nostra esperienza clinica riguardante un periodo di due anni di utilizzo del Mineral Trioxide Aggregate, ci ha portato ad usare questo materiale inizialmente come materiale da otturazione retrograda, e successivamente ad impiegarlo in quasi tutti gli altri campi di utilizzo consigliati.

In 19 casi di endodonzia chirurgica, abbiamo usato l'MTA contemporaneamente ad altri materiali usati in chirurgia sullo stesso paziente, per compararne l'efficacia.

Abbiamo provato anche diversi tipi di mani-



polazione del materiale consigliati dai vari autori; quindi lo abbiamo testato applicandolo nella cavità solo in polvere (6 casi) (Fig. 18), impastato (10 casi) (Figg. 8, 9, 10), oppure introdotto nella cavità in polvere e poi bagnato successivamente con il liquido della confezione (3 casi).

Nei casi in cui lo abbiamo utilizzato impastato abbiamo anche provato ad inserirlo, in una cavità perfettamente asciutta oppure leggermente bagnata con acqua.

Non è possibile, con un campione così limitato, trarre delle conclusioni definitive sul reale valore di questo materiale in endodonzia chirurgica. Quindi ci limitiamo a valutare per ora le impressioni cliniche osservate. In tutti i casi in cui abbiamo usato l'MTA in combinazione con altri materiali, le radici trattate con l'MTA hanno mostrato delle guarigioni ottenute in media con 2 mesi di anticipo rispetto ai cementi all'ossido di zinco e 4 mesi prima rispetto all'amalgama (Figg. 19, 20, 26), pur essendo guariti tutti i 19 casi nell'arco di un anno.

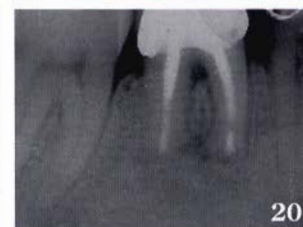
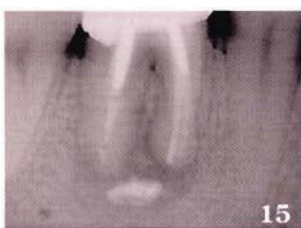
Per quanto riguarda la manipolazione, solo in un caso, nel quale abbiamo usato l'MTA esclusivamente in polvere, si è riscontrata una non perfetta guarigione. Valutati quindi anche altri fattori, tra cui la facilità di manipolazione, abbiamo concluso che a nostro avviso, il miglior sistema di utilizzo consiste nella forma impastata, con la cavità leggermente bagnata e profonda almeno 3 mm, poiché, oltre ad assicurare un miglior sigillo, a spessori inferiori, l'otturazione in MTA potrebbe dislocarsi (23).

Un altro campo di utilizzo dove abbiamo provato l'MTA sono state le perforazioni iatrogene e patologiche (Figg. 27, 30).

In questo campo la valutazione clinica è molto più complessa, in quanto confondono il quadro clinico anche altre variabili tra cui quelle parodontali, rendendo così difficile l'estrapolazione della sola componente endodontica.

Nonostante ciò, nei casi senza implicazioni parodontali, anche con massive distruzioni della struttura radicolare, l'uso dell'MTA ha portato in breve termine alla scomparsa della sintomatologia e ad una riduzione della radiotrasparenza nell'arco di 6 mesi.

Nell'ambito delle perforazioni radicolari, non abbiamo notato differenze sostanziali



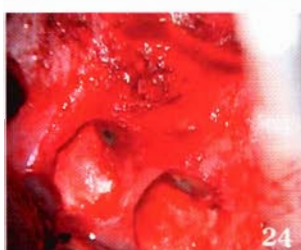
**Fig. 15** - Rx preoperatoria del 46 che evidenzia una lesione periapicale con notevole estrusione di cemento. Si è proceduto con endodonzia chirurgica perché la paziente si è rifiutata di forare la corona cementata da 1 mese.

**Figg. 16 e 17** - Le cavità apicali preparate con strumenti ad ultrasuoni rispettivamente della radice distale e mesiale. Su quest'ultima è buona norma la preparazione dell'istmo tra i due apici, in quanto se non viene così otturato, è spesso causa di insuccesso. In questo caso è stata otturata la radice mesiale con un cemento all'ossido di zinco ed eugenolo e la di-

stale con l'MTA.

**Fig. 18** - Fase dell'otturazione con l'MTA. Spesso questa manovra è piuttosto indagginosa, sia per il lungo tempo di indurimento del cemento, sia per la sua consistenza che ricorda quella della "sabbia bagnata".

**Figg. 19 e 20** - Controlli radiografici a 4 e 6 mesi dai quali si osserva una più veloce guarigione sulla radice otturata con l'MTA. Questo dato è stato riscontrato in quasi tutti i casi in cui si è usato l'MTA in combinazione con altri materiali su radici diverse dello stesso paziente.



**Fig. 21** - La rx preoperatoria mostra un trattamento endodontico, effettuato pochi mesi prima, con delle abbondanti estrusioni di cemento oltre l'apice a carico degli elementi 11, 12 e 21. Sul 12 è visibile una vasta radiotrasparenza periapicale. Il trattamento terapeutico di scelta è la chirurgia retrograda per tutte e tre le radici in quanto il ritrattamento ortograde ha messo in evidenza che l'otturazione canalare era stata effettuata con ossifosfato di zinco.

**Fig. 22** - Dopo aver preparato le cavità con dei retrotips ad ultrasuoni, si procede all'otturazione retrograda. La foto, ottenuta con il microscopio operatorio, mostra le fasi dell'otturazione dell'11 con l'utilizzo dell'MTA in polvere. Questo viene portato in situ grazie ad uno spingiamalgama chirurgico e condensato con un piccolo otturatore.

**Fig. 23** - Quando ha raggiunto una certa consistenza, è possibile rifinire l'otturazione in MTA. È apprezzabile il buon adattamento marginale.

**Fig. 24** - Per l'otturazione degli apici delle radici del 21 e 22 sono stati scelti rispettivamente un cemento all'ossido di zinco ed eugenolo e l'amalgama, allo scopo di valutare e comparare i tre materiali durante le fasi della guarigione.

**Fig. 25** - Particolare dell'otturazione con il cemento all'ossido di zinco ed eugenolo: fase della brunitura del cemento per migliorarne il sigillo marginale.

**Fig. 26** - Controllo radiografico ad 8 mesi: il processo di guarigione è evidente su tutti e 3 gli elementi dentali. Il confronto delle guarigioni è possibile solamente tra i due centrali in quanto il 12 era fortemente penalizzato dall'enorme lesione con una totale mancanza d'osso in senso vestibolo-palatino. Si nota una guarigione perfetta sull'11 in cui è stato utilizzato l'MTA e invece una ancora non perfetta guarigione sul 21 al centro della radiografia nel quale è stato utilizzato un cemento all'ossido di zinco ed eugenolo.





Fig. 27 - Rx preoperatoria che mostra una perforazione patologica del terzo medio della radice dell'11 causata da un riassorbimento interno; in questo caso vi è una doppia indicazione all'uso dell'MTA.

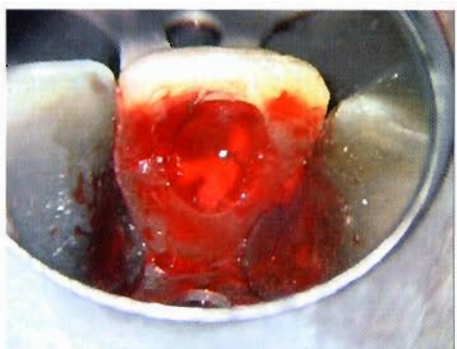


Fig. 28 - Dopo aver rimosso tutta la gutta-perca coronale, sino al sito della perforazione, tutte le nostre manovre sono mirate al controllo del sanguinamento, che in questo caso è alquanto accentuato.



Fig. 29 - Rx postoperatoria che lascia apprezzare la buona riparazione della perforazione. In questo caso abbiamo utilizzato esclusivamente l'MTA in polvere in quanto la cavità da riempire era ampia ed irregolare; tramite la condensazione del cemento con i pluggers risultava più agevole raggiungere questo scopo. Inoltre, l'ampia comunicazione con i tessuti parodontali permetteva l'idratazione dell'MTA, e quindi la successiva reazione di indurimento. Va detto che per la sua natura idrofila, il cemento non risente della contaminazione del sangue (22); Torabinejad consiglia, una volta ultimata l'otturazione, di stimolare il sanguinamento dei tessuti parodontali al fine di lasciare il cemento idratato (23).

nell' utilizzo di questo materiale in abbinamento con materiali utili nel creare, sul fondo della perforazione, un substrato solido sul quale adattare il materiale per la riparazione, quali il solfato di calcio o l'idrossido di calcio ecc. Pur essendo consci, anche in questo caso, che la casistica a nostra disposizione (26 casi ) non ci permette di trarre conclusioni definitive, abbiamo notato uniformità di andamento nella fase della guarigione, sia nei casi in cui abbiamo usato un fondo solido, che nei casi in cui abbiamo applicato direttamente e soltanto l'MTA.



Fig. 30 - Rx preoperatoria che mostra una evidente lesione periapicale e periradicolare a carico del 14 dovuta alla completa assenza di qualsiasi trattamento endodontico ed alle perforazioni della zona intraradicolare, mesiale e distale.

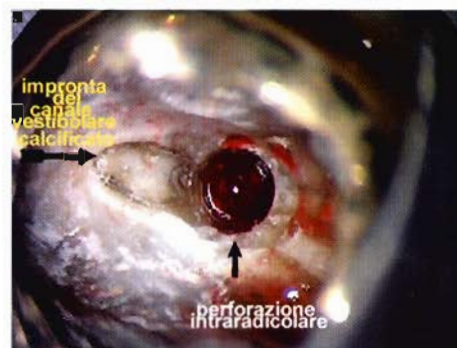


Fig. 31 - Dopo aver forato la corona e rimosso il perno-moncone, si è evidenziata la causa della lesione parodontale.



Fig. 32 - Una volta effettuato il ritrattamento endodontico ortograde, si è otturato con MTA impastato le perforazioni. Va ricordato che in caso di perforazioni del pavimento della camera pulpare, tutte le manovre che mirano alla ricostruzione della corona debbono essere effettuate ad almeno 72 h dall'apposizione dell'MTA (21).



Fig. 33 - Rx postoperatoria.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bradford RJ. Considerations in the selections of a root-end filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1999; 87: 398-404
2. Gartner AH, Dorn SO. Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am* 1992; 36: 357-78
3. Harty FJ, Parkins BJ, Wengraf AM. The success rate of apicoectomy. A retrospective study of 1016 cases. *Br Dent J* 1970; 129: 407-13
4. Altonen M, Mattila K. Follow-up study of apicoectomized molars. *Int J Oral Surg* 1976; 5: 33-40
5. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a Mineral Trioxide Aggregate when used as a root end filling material. *J Endodon* 1993; 19: 591-5
6. Torabinejad M, Wilder Smith P, Kettering JD, Pitt Ford TR. Indagine comparativa sull'adattamento marginale dell'aggregato minerale triossido e altri materiali comunemente usati nelle otturazioni retrograde. *J Endod Ed It* 1996; 1: 34-8
7. Bates CF, Carnes DL, Del Rio CE. Longitudinal sealing ability of Mineral Trioxide Aggregate as a root-end filling material. *J Endodon* 1996; 22: 575-8
8. Wu M-K, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endodon* 1998; 24: 557-60
9. Fisher 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: 176-9
10. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endodon* 1995; 21: 489-92
11. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of Mineral Trioxide Aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endodon* 2000; 26: 288-91
12. 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: 603-8
13. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Mc Kendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histological assessment of Mineral Trioxide Aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endodon* 1997; 23: 225-8
14. Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K, Mc Donald F. Mineral Trioxide Aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *J Biomed Resear* 1997; 37: 412-9
15. Koh ET, Mc Donald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to Mineral Trioxide Aggregate. *J Endodon* 1998; 24: 543-7
16. Torabinejad M, Hong CU, Mc Donald F. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endodon* 1995; 21: 349-53
17. Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Osteoblast biocompatibility of Mineral Trioxide Aggregate. *Biomaterials* 1999; 20: 167-73
18. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam SP. Using MTA as a pulp-capping material. *JADA* 1996; 127: 1491-4
19. Holland R, De Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabé PFE, Dezan E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with Mineral Trioxide Aggregate or calcium hydroxide. *J Endodon* 1999; 25: 161-6
20. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne PP, Abedi HR, Mc Millan P. A comparative study of root-end induction using Osteogenic Protein-1, calcium hydroxide, and Mineral Trioxide Aggregate. *J Endodon* 1999; 25: 1-5
21. Sluyk S, 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
22. Torabinejad M, Higa RK, Mc Kendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root-end filling materials: effect of blood contamination. *J Endodon* 1994; 20: 159-6
23. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of Mineral Trioxide Aggregate. *J Endodon* 1999; 25: 197-205