

MODERNI ORIENTAMENTI NELL'IRRIGAZIONE ENDODONTICA

Autori:

Maria Giovanna Barboni
Filippo Cardinali
Cristiano Fabiani
Katia Greco
Mario Lendini
Carmelo Pulella
Alberto Rieppi
Luigi Scagnoli

INDICE:

1. Introduzione
2. Importanza dell'irrigazione canalare
3. Soluzioni Irriganti:
 - 3.1 Ipoclorito di sodio
 - 3.2 Soluzioni di EDTA
 - 3.3 Soluzioni di Acido citrico
 - 3.4 Soluzioni di Clorexidina
- 3.5 Perossido di idrogeno
 - 3.6 Irriganti addizionati con antibiotici
 - 3.7 Interazioni tra irriganti
4. Irrigazione passiva, attiva e dinamica
5. Conclusioni
6. Bibliografia

1. INTRODUZIONE

Le terapie endodontiche possono essere condizionate da errori che possono verificarsi durante le varie fasi operative, dall'apertura della cavità d'accesso alla detersione e disinfezione dei canali, dalla sagomatura ed otturazione del sistema radicolare sino al trattamento delle complicazioni iatrogene ed anatomiche.

Un corretto accesso al sistema endodontico, così come una adeguata sagomatura canalare, si pone l'obiettivo non solo di assegnare una forma geometricamente predefinita, di rimuovere la dentina infetta ma, anche e soprattutto, di agevolare la consegna degli agenti irriganti ai distretti anatomici più profondi (Byström 1985, Shuping 2000).

Tuttavia, viene sempre naturale chiedersi, al termine di ogni trattamento, se si è stati in grado o meno di disinfettare completamente tutto lo spazio endodontico da noi trattato (Shuping 2000).

La totale disinfezione dei canali infatti è condizionata da diverse variabili; bisogna considerare che le specie batteriche coinvolte nelle infezioni pulpo dentinali si fanno, con il persistere della patologia infettiva, via via più resistenti e tendono ad organizzarsi in biofilm (Huang 2008-).

I biofilm sono costituiti da una complessa aggregazione di microrganismi immersi in una matrice adesiva e protettiva che ostacola l'azione degli agenti antisettici. Il biofilm è in continua evoluzione e, nel suo mutamento, diviene una fonte continua di contaminazione batterica che manifesta una resistenza agli agenti antisettici 1000 volte superiore rispetto alle singole specie batteriche che lo costituiscono (Svensäter 2004-Shuping 2000).

Alla luce di tali dati, il ruolo che la detersione chimica riveste per il raggiungimento di un elevato standard di disinfezione canalare, è elevato. La ricerca scientifica negli ultimi anni, si è orientata sempre più sull'analisi di tutte le soluzioni irriganti attualmente disponibili, migliorandone le proprietà chimico-fisiche ma soprattutto studiando tecniche operative in grado di potenziare la loro azione.

L'uso combinato di idonee ed efficaci soluzioni irriganti, adoperate con specifici protocolli clinici e potenziate nella loro azione è, indubbiamente, un valido ed indispensabile ausilio per la prevenzione e la terapia delle patologie periapicali di origine endodontica.

2. IMPORTANZA DELL'IRRIGAZIONE CANALARE

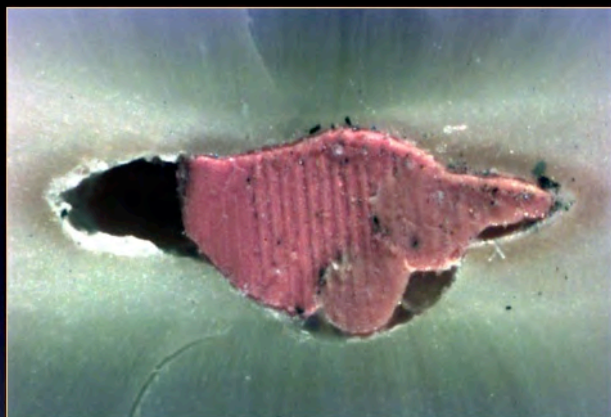
La causa più frequente di fallimento endodontico è la persistente presenza, nel sistema canalare, di specie batteriche che ci impediscono il processo di guarigione (Abou-Rass 1998). Studi trasversali, provenienti da diversi paesi (Eriksen 2002- Dugas 2003), dimostrano infatti che più del 30% di tutti i denti trattati endodonticamente sono associati a parodontite apicale (AP), o a "malattia post-trattamento" (Friedman 2002). Questo evidenzia l'importanza di un congruo trattamento endodontico al fine di prevenire la patologia apicale.

Vari studi clinici hanno dimostrato che la strumentazione né con gli strumenti meccanici NiTi, né con quelli in acciaio sia in grado, da sola, di eliminare completamente i batteri dai canali infetti, specialmente quando sono presenti variazioni dell'anatomia endocanalare (Dalton 1998 Schwarze 1996).

Le specie batteriche più comunemente responsabili delle infezioni di origine endodontica sono molto complesse, difficili da eradicare ed in grado di condizionare la prognosi a lungo termine dei trattamenti stessi (Friedman 2002 Dugas 2003). Numerosi studi evidenziano infatti come trattamenti e ritrattamenti di denti che non presentano segni radiografici di lesione periapicale, mostrano una percentuale di successo più elevata rispetto ai denti con lesioni periapicali o laterali di origine endodontica" (Schwarze 1996).

Tra le procedure implicate nel controllo dell'infezione canalare, l'irrigazione endodontica riveste un ruolo di fondamentale importanza.

Secondo Peters et al., al termine dell'alesaggio, fino al 35% della superficie canalare rimane infatti non toccata dagli strumenti endodontici (Peters 2002) (foto1)



Basrani et al. 2003

Foto 1 - Al termine dell'alesaggio e quindi dell'otturazione , più del 35% della superficie canalare rimane non toccata dagli strumenti endodontici. L'incompleta detersione dello spazio endodontico si traduce in un alto rischio di fallimento terapeutico

Va considerato inoltre, che le recenti tecniche di sagomatura abbiano sequenze operative molto semplificate, che prevedono l'uso di un ridotto numero di strumenti, così da giungere al completamento della preparazione canalare in pochi minuti.

Una drastica riduzione dei tempi di sagomatura canalare può però ridurre eccessivamente il tempo di permanenza e di contatto delle soluzioni irriganti con i batteri presenti nelle complessità anatomiche dell'endodonto (C-shaped, canali laterali, istmi, delta, anastomosi, tubuli dentinali), inaccessibili agli strumenti endodontici e localizzate quasi sempre nel terzo apicale del canale. Kim et al. (Kim 2003) hanno ad esempio rilevato il 93% dei canali laterali ed il 96% delle ramificazioni negli ultimi tre millimetri della radice (foto 2 e 3)

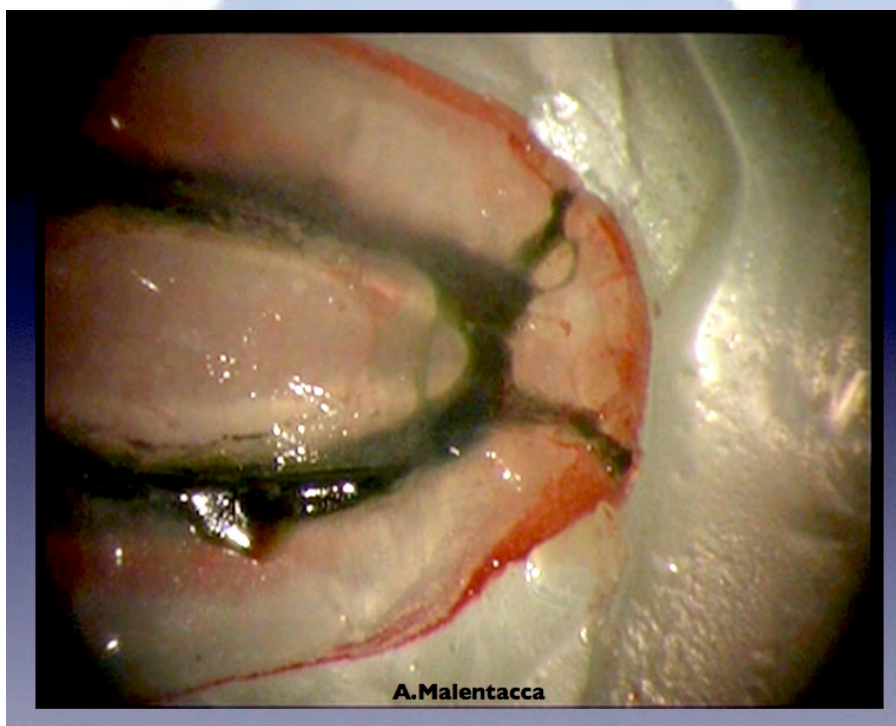


Foto 2 - Diramazioni canalari riscontrabili nella regione del terzo apicale del canale

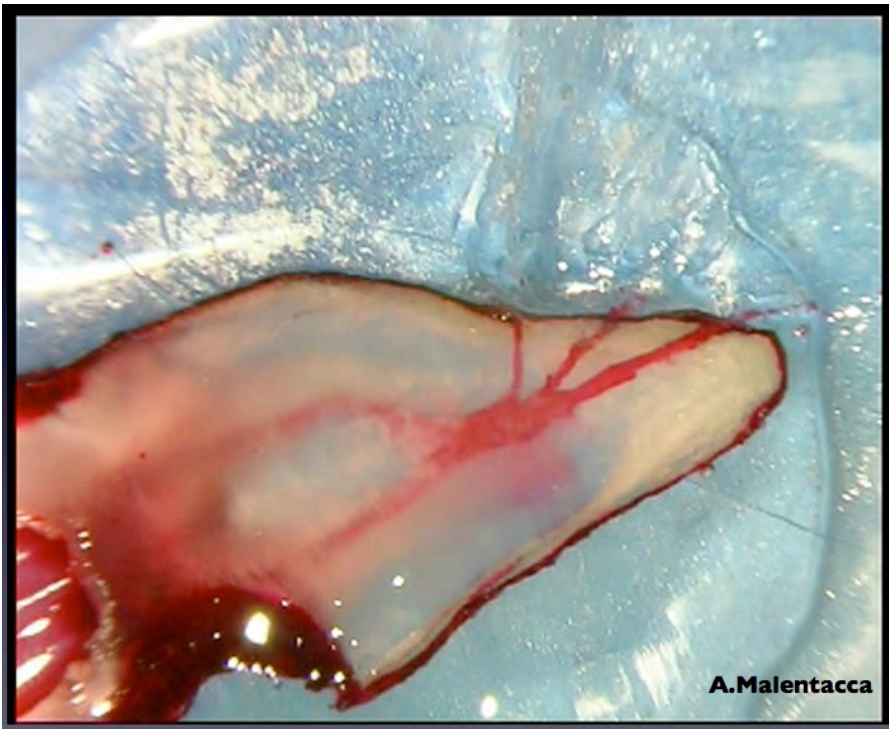


Foto 3 - Sezione di premolare estratto . Le diramazioni canalari sono riscontrabili con maggiore frequenza nella regione del terzo apicale del canale di difficile accesso alle soluzioni irriganti.

Molte ricerche collegano la mancata detersione ed otturazione delle complessità del sistema canalare al fallimento endodontico (foto 4)

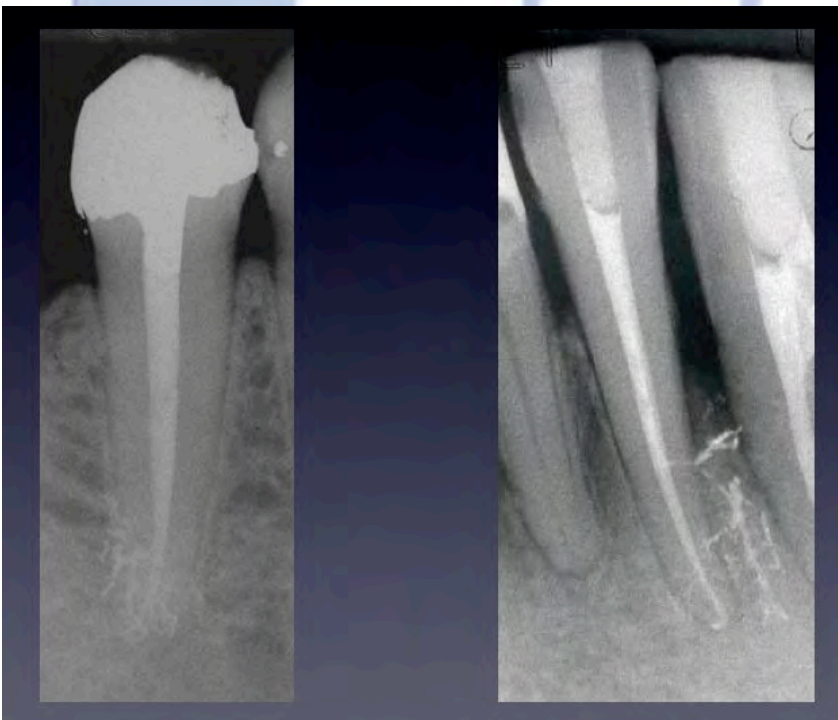


Foto 4 - Sistematiche di otturazione a caldo facilitano il sigillo di canali laterali e diramazioni opportunamente deterse con le soluzioni irriganti

La disinfezione delle ramificazioni del sistema canalare è affidata esclusivamente all'azione delle soluzioni irriganti in grado di dissolvere il tessuto pulpare ed esercitare, nel contempo, una spiccata azione antisettica (Nicholls 1963, Turkun 1997).

A complicare ulteriormente le procedure di detersione del sistema canalare contribuiscono la natura stessa dei tessuti dell'organo pulpodentale e lo strato microscopico dei detriti (fango dentinale endodontico), che si forma durante la strumentazione e che rimane strettamente adeso alla dentina (Cantatore 1995, Siqueira 2000).

I tessuti dell'organo pulpodentale presentano una struttura istologica e microscopica molto elaborata. Il numero elevato di tubuli, diretti dalla polpa verso l'esterno, attraverso complessi rami intertubulari, fa della dentina una potenziale via di comunicazione della cavità pulpare con il legamento parodontale o il cavo orale.

Nei denti vitali la presenza del fluido dentinale costituisce una barriera meccanica al passaggio di batteri verso il tessuto pulpare. Nei denti necrotici i tubuli, privi dell'azione di difesa del fluido endotubulare, facilitano la penetrazione di batteri e lo scambio di tossine tra i compartimenti intra ed extra-pulpari (Bystrom 1981) (Foto 5).



Foto 5 - Colonie batteriche all'interno dei tubuli dentinali. Il trattamento endodontico ed in particolare le procedure di irrigazione, mirano a prevenire la contaminazione batterica del sistema canalare ed ad eliminare i batteri dai canali infetti

Molti studi hanno evidenziato la penetrazione di molteplici specie batteriche all'interno dei tubuli (Cantatore 2004). Tra le varie specie sono stati isolati il *Micrococcus Luteus*, il *Bacillus Megaterium*, lo *Streptococcus Sanguis*, la *Prevotella Intermedia* (Kim 2003, Nicholls 1963). La persistenza nei tubuli di tali batteri è associata ad un'alta incidenza d'insuccesso terapeutico. La composizione dei detriti generati con l'alesaggio durante il trattamento endodontico risulta essere molto elaborata (Peters 2002, Nicholls 1963): è distinta in una componente inorganica, derivante dalla porzione calcificata del canale, ed una organica proveniente dal tessuto pulpare, dagli odontoblasti e dalla predentina (Peters 2002). Il fango dentinale o smear layer,

si ancora tenacemente per 1-2 μ m alla parete canalare, sulla dentina intertubulare cui aderisce e da cui risulta indistinguibile (Naenni 2004, Gen yuan 1984). Accanto allo smear layer detto di "superficie", ne esiste uno detto "tubulare", impacchettato nei tubuli dentinali per oltre 5 μ m e formato da particelle più fini e digitiformi (Peters 2002, Nicholls 1963).

Lo smear layer sulle pareti canalari non solo compromette l'adesione dei materiali d'otturazione, non garantendo un buon sigillo, ma continua ad essere fonte di contaminazione batterica (Bystrom 1981, Siqueira 2000, Peters 2002). Da queste valutazioni risulta come sia doveroso provvedere all'eliminazione dello smear layer dal sistema endodontico, prima di effettuare l'otturazione canalare. Eliminando il fango dentinale si otterranno tubuli dentinali ben detersi, con orifizi leggermente slargati e con dentina intertubulare più o meno decalcificata (Mader 1984, Peters 2002).

3. SOLUZIONI IRRIGANTI

Come detto precedentemente, il successo di un trattamento endodontico dipende dalla detersione e disinfezione totale del sistema canalare ottenibile associando le procedure di detersione meccanica a quelle di irrigazione (Bystrom 1981). La sagomatura canalare prepara il lume endodontico a ricevere le soluzioni irriganti consentendo così alle stesse di penetrare più in profondità ed esercitare le loro azioni organolitiche e battericide (Baumgartner 1992). Se è possibile affermare che "sagomiamo per detergere" (Berutti 1999), è però doveroso precisare che una sagomatura incompleta o insoddisfacente può ostacolare una valida detersione chimica. Se numerosi Autori sono infatti concordi nel ritenere indifferente il tipo di strumentazione, manuale o meccanica, da adottare per il raggiungimento di un ottimale livello di disinfezione (Dalton 1998), è pur vero che la "qualità" della strumentazione manuale e/o meccanica è ritenuto per Autori come Haapasalo (Haapasalo 1990) il fattore più importante per la prevenzione e la terapia delle patologie periapicali. Variabili come la conicità ed il diametro apicale della preparazione infatti, se non adeguati, possono condizionare la prognosi.

Un irrigante ideale dovrebbe:

- consentire una rimozione dei detriti organici macroscopici (tessuto pulpare, sangue, pulpoliti, etc.), già nelle prime fasi del trattamento;
- facilitare la rimozione del fango dentinale;
- possedere un'alta capacità antisettica;
- esercitare un'azione lubrificante sui files usati per la strumentazione facilitandone lo scorrimento in profondità;
- non essere tossico;
- essere di facile reperibilità ed economicità (Siqueira 2000, Kuruvilla 1998)

Non esistendo attualmente in commercio un irrigante in grado di soddisfare contemporaneamente entrambi i requisiti, si ritiene indispensabile adoperare associazioni di agenti irriganti con differente spettro d'azione (Tab 1), ma preferibilmente dotati di azione antisettica (Siqueira 2002).

	AZIONE SOLVENTE SUI DETRITI PULPARI	AZIONE SOLVENTE SUI DETRITI DENTINALI	AZIONE ANTIBATTERICA
IPOCLORITO DI SODIO	***	*	***
COMPOSTI DI EDTA	*	***	*
PEROSSIDO DI IDROGENO	*	*	**
ACIDO CITRICO	*	***	*
CLOREXIDINA 0.2-2%	*	*	***

Tab 1 - Proprietà di alcune soluzioni irriganti

3.1 IPOCLORITO DI SODIO

L'irrigante canale maggiormente utilizzato in endodonzia è l'ipoclorito di sodio. La sua popolarità come agente irrigante nasce dalla sua grande diffusione, dal suo basso costo oltre che dal suo comprovato potere antisettico ed organolitico.

Il suo utilizzo come agente disinfettante risale al 1915 e come irrigante canale al 1920 (Barkhordar 1990).

L'ipoclorito di sodio è prodotto dal passaggio del gas cloro in una soluzione di idrossido di sodio (NaOH) secondo la seguente reazione: $CL_2 + 2NaOH \rightarrow NaOCl + NaCl + H_2O$.

Al contatto con l'acqua l'ipoclorito di sodio si dissocia in idrossido di sodio (NaOH) e acido ipocloroso (HOCl) o "cloro attivo". L'azione disinfettante è attribuibile all'acido ipocloroso che rappresenta la parte attiva delle varie soluzioni in commercio (Siqueira 1997) questo, grazie alla struttura molecolare molto piccola ed assimilabile a quella dell'acqua, è in grado infatti di oltrepassare con facilità la membrana cellulare batterica e di esercitare la sua azione litica (Siqueira 1997).

Per valori di pH acidi le soluzioni saranno più ricche in acido ipocloroso e quindi più antisettiche, con valori di pH basici l'attività disinfettante risulterebbe invece inferiore. I pH che si preferiscono per le soluzioni di ipoclorito di sodio si aggirano intorno a 5 in modo da consentire una maggiore liberazione di acido ipocloroso. Le soluzioni di ipoclorito risultano molto instabili se esposte alla luce e possono, ad eccezione degli epitelii cheratinizzati, danneggiare tutti i tessuti viventi (Barkhordar 1990). Considerata la variabilità di concentrazione in cloro attivo delle soluzioni commerciali (varechina), che per altro contengono ulteriori composti mirati ad ottimizzare le proprietà sbiancanti, profumazioni ect., sarebbe sempre opportuno avvalersi di soluzioni di ipoclorito di sodio preparate esclusivamente per uso endodontico. In ogni caso le stesse devono essere conservate alla giusta temperatura (intorno ai 4°C), al riparo dalla luce e da eventuali contaminazioni.

Azione solvente sui tessuti organici

L'azione solvente dell'ipoclorito è stata dimostrata da Grossman e Neimann (Grossman 1981, Niemann 1993) a livello della polpa dentaria e poi da Rosenfeld a livello della predentina (Rosenfeld 1978).

L'azione litica sembrerebbe esercitarsi su tessuti necrotici e su frammenti di tessuti non irrorati. Alcuni Autori sono concordi nel ritenere che proprio la circolazione sanguigna del tessuto vitale sia responsabile della rimozione e neutralizzazione degli ioni cloro (Pashley 1985). Inoltre l'efficacia dell'irrigante, anche in presenza di tessuto necrotico, sembra essere minore se questo è fissato con medicamenti quali la formaldeide o il paraclorofenolo.

La capacità litica nei confronti dei tessuti necrotici, confermata già nel 1970 da Grey (Grey 1970), è condizionata da parametri quali la concentrazione e la temperatura di utilizzo delle soluzioni. Con l'aumentare della concentrazione aumenta la capacità di dissoluzione dei tessuti necrotici. Ma qual'è la giusta concentrazione di utilizzo clinico dell'ipoclorito di sodio? Nel 1978 Hand (Hand 1978) ha dimostrato che soluzioni d'Ipoclorito di Sodio al 5,25% possedevano un potere proteolitico tre volte superiore rispetto a soluzioni di NaOCl al 2,5%. Tuttavia se è vero che soluzioni di NaOCl più concentrate migliorano ed aumentano la capacità di dissoluzione del tessuto organico, è pur vero che non è possibile elevare ulteriormente la concentrazione dell'irrigante perché significherebbe elevarne la tossicità. Una concentrazione compresa tra il 2,5% ed il 5,25% sembrerebbe essere il miglior compromesso tra potere proteolitico e tossicità. Tuttavia è possibile, aumentando la temperatura d'utilizzo clinico, incrementare la capacità dissolutive delle soluzioni di NaOCl, senza necessariamente aumentarne la concentrazione. Thè et Al. (Thè 1979) in uno studio del 1979, dimostrarono come l'innalzamento della temperatura dell'Ipoclorito a 35,5°, consentiva di ottenere un potenziamento delle capacità di dissoluzione del tessuto connettivo del ratto.

W.T. Cunningham e coll (Cunningham 1980), verificarono la capacità digestiva del collagene da parte di soluzioni di NaOCl al 2,6% e al 5,2% utilizzate sia alla temperatura di 21°C (temperatura ambiente), sia alla temperatura di 37°C (temperatura corporea). L'NaOCl al 2,6% riscaldato a 37°C presentò le analoghe capacità dissolutive dell'NaOCl al 5,2% impiegato sia a 21°C che a 37°C.

Berutti e coll. (Berutti 1996) hanno dimostrato come sia possibile ottenere superfici canalari ben deterse e prive di smear layer utilizzando soluzioni di Ipoclorito di Sodio riscaldato a 50°C alternato a soluzioni di EDTA. Secondo Sirtes (Sirtes 2005) la scelta della temperatura clinica di utilizzo dell'ipoclorito, sembra essere ancora più rilevante della scelta della concentrazione d'uso della soluzione. Con il loro studio gli autori hanno infatti dimostrato come soluzioni all'1% di Ipoclorito di Sodio riscaldate a 45° hanno rilevato capacità proteolitiche simili a quelle ottenute con soluzioni al 5,25% riscaldate a 20°.

L'innalzamento della temperatura clinica di utilizzo dell'ipoclorito causa però una variazione del titolo della soluzione, con un conseguente decremento della percentuale di cloro disponibile e liberazione di vapori di clorina. L'ipoclorito quindi una volta riscaldato, dovrà essere utilizzato entro breve tempo.

L'azione di digestione dell'Ipoclorito si esplicherebbe nei primi 2 minuti per circa il 75%, per concludersi entro 5 minuti. L'azione istolitica dell'Ipoclorito si estrinseca in maggior modo sulla polpa necrotica, sui detriti organici e sulla predentina, mentre è leggermente inferiore sulla polpa vitale e minima sulla dentina mineralizzata. Già Gordon nel 1981 (Gordon 1981) aveva dimostrato come, esponendo per 10 minuti quantità diverse di tessuto pulpare a soluzioni di Ipoclorito, ne venisse dissolta una percentuale variabile dal 6% (50mg di polpa /ml NaOCl) al 73% (10mg di polpa/ml NaOCl) e come tale percentuale fosse influenzata negativamente dalla presenza di tessuto pulpare.

La medicazione canalare intermedia con idrossido di calcio, ha un effetto rafforzante sull'Ipoclorito di Sodio come dimostrato da Hasselgren, Olsson e Cvek già nel 1988 (Hasselgren 1988).

In uno studio in vitro condotto da Buchanan (Buchanan 1990) si è dimostrato come l'ipoclorito riesca a dissolvere il tessuto pulpare stipato artificialmente nei canali laterali. Risultati simili sono stati ottenuti da Niemann e coll (Niemann 1993) in uno studio condotto in vitro nel quale è stato possibile rilevare come l'ipoclorito sia in grado di digerire tessuto pulpare dall'interno dei canali accessori prossimi al pavimento della camera pulpare. Risultati dissimili sono stati riscontrati da Vittorio Franco e Cristiano Fabiani (Franco 2008) che in uno studio condotto su denti estratti hanno dimostrato come persista del tessuto pulpare integro all'interno di canali laterali, dopo aver effettuato irrigazioni con Ipoclorito, anche riscaldato, in canali sagomati.

Azione Antibatterica

L'Ipoclorito di Sodio è un potente battericida ed è in grado di uccidere rapidamente batteri vegetativi, spore, funghi, protozoi e virus (inclusi i virus Hiv, i rotavirus, i virus Hsv-1 e Hsv-2 ed i virus dell'epatite Ae B) (Bystrom 1985, Siqueira 1996). La sua azione si esplica quando, venendo a contatto con l'acqua, libera acido ipocloroso ed idrossido di sodio. A sua volta l'acido ipocloroso libera acido cloridrico ed ossigeno. Il cloro che si libera svolge la sua azione battericida entrando in combinazione con principali costituenti protoplasmatici ed in particolare con i gruppi sulfidrilici di essenziali enzimi batterici (Bystrom 1985). L'azione antibatterica è condizionata dalla concentrazione della soluzione, dal pH, dall'osmolarità (circa 2800 mOsmol./Kg. per l'NaOCl al 5%) oltre che dalla resistenza degli agenti patogeni (Bystrom 1985, Mentz 1982).

Altri fattori che intervengono ad influenzare l'azione antisettica dell'Ipoclorito, sono rappresentati dal flusso, dalla quantità dell'irrigante oltre che dal tempo di permanenza all'interno del sistema canalare. Non esistono pareri concordi su quale possa essere la concentrazione ideale di ipoclorito da utilizzare in campo endodontico.

In uno studio condotto da Bystrom (Bystrom 1978) è stato possibile ottenere, utilizzando soluzioni di ipoclorito al 5%, una sterilizzazione del 50% di canali infetti contro il 20% ottenuto con la sola soluzione fisiologica; Hand (Hand 1978) ha dimostrato la distruzione degli streptococchi con soluzioni di ipoclorito al 5% anche in presenza di albumina e sangue; Shih (Shih 1970) ha testato l'efficacia di varie diluizioni di Ipoclorito sullo Streptococcus Faecalis e sullo Stafilococcus Aureus confermando la superiorità delle soluzioni al 5%; risultati analoghi sono stati riportati da Ellerbruch (Ellerbruch 1977) e Spangberg (Spangberg 1979) e da Foley (Foley 1983), con il 100% di valori positivi sul Bacteroides Melaninogenicus. Senia (Senia 1975) ha ottenuto la sterilizzazione dei coni di guttaperca immergendoli per un minuto in Ipoclorito di Sodio al 5,25%. Secondo Spangberg et al. (Spangberg 1973) concentrazioni al 5,25% sarebbero eccessive considerate le specie batteriche responsabili di infezioni pulpo-periapicali mentre, secondo Thè et al (Thè 1980) e Yesilsoy et al. le soluzioni al 5,25% non sarebbero più tossiche rispetto a quelle a concentrazioni più basse e rispetto al gluconato di clorexidina (Yesilsoy 1995). Esistono numerose controversie sull'efficacia antimicrobica delle diverse concentrazioni di Ipoclorito. In alcuni studi non è stata riscontrata nessuna differenza antimicrobica tra concentrazioni comprese tra lo 0,5% ed il 5%, mentre risultati di altre ricerche dimostrano come vi sia perdita di efficacia con la diluizione. Siqueira et al. hanno valutato in vitro l'azione di tre differenti concentrazioni di Ipoclorito (1%; 2,5% e 5%) in denti estratti ed infettati con l'Enterococcus Faecalis dimostrando un'efficacia maggiore per concentrazioni del 5,25% e confermando così la relazione tra concentrazione ed attività antisettica (Siqueira 2000). Gli stessi Autori hanno dimostrato come fosse possibile ottenere buoni risultati con concentrazioni più basse a patto che venissero utilizzate in

quantità maggiore e con un tempo di esposizione che secondo Heling (Heling 2001) non dovrebbe mai essere inferiore ai 10 minuti, sufficienti ad eliminare anche batteri più resistenti quali l'Enterococcus Faecalis.

Questa Capacità antibatterica ad ampio spettro è stata dimostrata in diversi studi anche per concentrazioni inferiori al 5,25%. L'azione antibatterica risulta però drasticamente inferiore se la soluzione di Ipoclorito usato è in concentrazione inferiore all'1%. (Siqueira 2000, Loel 1975, Machado-Silveiro 2004),

La concentrazione alla quale l'Ipoclorito di Sodio sembra mostrare le migliori capacità antibatterica è la concentrazione del 5,25%.

Tossicità

L'Ipoclorito di sodio è altamente tossico ad alte concentrazioni e risulta essere molto irritante per i tessuti. L'effetto dell'ipoclorito sui tessuti vitali è l'emolisi, l'ulcerazione della pelle e la necrosi. Esistono delle complicazioni legate all'utilizzo dell'ipoclorito come agente irrigante. Il contatto accidentale con gli occhi del paziente o dell'operatore, evento frequente se si adoperano siringhe per i lavaggi che montano aghi a pressione, può provocare dolore immediato, bruciore intenso, eritema sino ad arrivare, nei casi più gravi, ad una perdita delle cellule epiteliali dello strato esterno della cornea. Le maggiori complicanze associate all'utilizzo dell'ipoclorito come irrigante canalare sono però correlate all'estrusione della soluzione oltre apice o comunque nei tessuti parodontali.

Questa evenienza può verificarsi se si utilizzano degli aghi per irrigazione con uscita frontale, portati in prossimità del forame apicale e bloccati contro le pareti del canale. Talune situazioni anatomiche, (apici immaturi, riassorbimenti e perforazioni radicolari) possono facilitare un mancato controllo di grandi volumi di irrigante che finirà con l'estrudere nei tessuti circostanti causando necrosi. Il quadro clinico e sintomatologico, in queste situazioni, può essere davvero critico. Violente reazioni caratterizzate da dolore, gonfiore, emorragia, si accompagnano a segni di ematoma, ecchimosi ed eventuale parestesia. La terapia consiste in applicazioni di ghiaccio sul viso, per alleviare il dolore e la sensazione di bruciore, somministrazione di antibiotici, analgesici e al bisogno, cortisonici per il controllo della reazione infiammatoria e di eventuali infezioni secondarie. Il rischio di estrusione di soluzione irrigante oltre apice può essere ridotto se si inietta la soluzione senza esercitare molta pressione (Baumgartner 1984) o usando aghi con aperture laterali e fondo cieco.

Linee guida per uso dell'ipoclorito di sodio in endodonzia:

- 1 - usare sempre soluzioni fresche;
- 2 - conservare le soluzioni in vetro opaco, o verniciato o in contenitori di polietilene, che siano ermeticamente chiusi;
- 3 - utilizzare siringhe con attacchi di sicurezza e aghi Luer-Lock preferibilmente con aperture laterali;
- 4 - non iniettare con forza, o evitare all'ago di impegnarsi nel canale;
- 5 - usare sempre la diga di gomma durante il trattamento e garantire che ci sia una buona impermeabilità tra il dente e la gengiva;
- 6 - eliminare le siringhe e le soluzioni non utilizzate a fine terapia.

3.2 SOLUZIONI DI EDTA

L'EDTA è stato introdotto in endodonzia da Nygaard-Ostby nel 1957 che ne raccomandava l'uso in soluzione al 15% (Nygaard-Ostby 1957). Nel 1963 lo stesso autore insieme a Vod der Fehr propose l'aggiunta di un detergente per ridurre la tensione superficiale e favorirne la penetrazione in tutto il

sistema canalare (Goldman 1981). Questa idea è stata recentemente ripresa e sono adesso presenti in commercio delle soluzioni di EDTA al 17% associate ad un detergente.

L'EDTA veniva impiegato inizialmente per favorire la strumentazione endodontica in particolare nei canali stretti e/o calcificati e solo in un secondo tempo è stato proposto per la rimozione dello smear layer. Esistono inoltre paste e gel contenenti sostanze chelanti unite a lubrificanti che sono impiegate abitualmente nelle fasi iniziali del trattamento.

Proprietà chimiche dell'EDTA

L'EDTA (acido etilen-diammino-tetra-acetico) è un sostanza chelante; gli agenti chelanti sono in grado di legarsi chimicamente agli ioni positivi multivalenti: in endodonzia questo si traduce con la capacità dell'EDTA di captare gli ioni calcio mediante un legame coordinativo o dativo, formando dei cosiddetti "complessi chelati" dando luogo al sale etilendiaminotetracetato di calcio.

Questa sostanza agisce quindi principalmente sui tessuti duri del dente e pertanto sulla componente inorganica dello smear layer. Esistono numerosi studi che dimostrano la capacità dell'EDTA in soluzione di rimuovere lo smear layer (Meryon 1987, Ciucchi 1989, Berg 1986, Garberoglio 1994, Çalt 2000). La concentrazione più efficace risulta essere quella tra il 10% e il 17% (Berutti 1982). Vista la sua spiccata azione demineralizzante, direttamente proporzionale al grado di acidità, l'EDTA viene normalmente fornito sotto forma di soluzioni tamponate con valori di pH di 6,5-7. L'EDTA tamponato risulta attivo non solo sugli ioni calcio, ma anche sulla componente proteica non collagenica della dentina.

Impiego dell'EDTA

Poiché l'EDTA è attivo sulla componente inorganica dello smear layer ma non su quella organica numerosi autori ne hanno raccomandato l'impiego in associazione con l'ipoclorito di sodio (Yamada 1983, Goldman 1982, Abbott 1991). Bisogna tenere però presente che la capacità dell'EDTA di chelare gli ioni calcio e la capacità dell'ipoclorito di dissolvere i tessuti necrotici diminuiscono se queste due sostanze sono messe in contatto tra loro. Infatti la percentuale di clorina libera crolla dal 0,50% allo 0,06% se l'ipoclorito viene messo in soluzione con l'EDTA (Grawehr 2003).

L'EDTA si trova attualmente in commercio in soluzione acquosa, o sotto forma di paste o gel in associazione (tensioattivi o lubrificanti). Le paste sono raccomandate nelle fasi iniziali del trattamento (Hülsmann 2003) e come lubrificanti durante la strumentazione con strumenti in ni-ti. In contrasto con quest'impiego delle paste a base di EDTA nelle fasi precoci Peters e coll., hanno osservato migliori risultati con l'EDTA in soluzione rispetto all'uso di paste a base di EDTA (Peters 2005). Con l'impiego dell'EDTA si ottengono pareti canalari molto più pulite che con il solo ipoclorito, anche se la completa rimozione dello smear layer non è stata ancora mai ottenuta, in particolare nel terzo apicale. Ciò è confermato da numerosi studi (Peters 1997, Peters 2000, Hülsmann 2001, Schäfer 2002, Foschi 2004, Heard 1997).

Molti studi indicano che la demineralizzazione, la durezza dentinale e la pulizia delle pareti canalari dipendono dal tempo di impiego della soluzione (Serper 2002, Hülsmann 2002). Una buona azione di pulizia si otterrebbe in tempi compresi tra 1 e 5 minuti (Serper 2002, Scelza 2003). Un tempo di azione prolungato (10 min) porterebbe ad un'eccessiva erosione peritubulare (Çalt 2002). Questa erosione non dipenderebbe dal solo EDTA ma dalla combinazione di questo con l'ipoclorito (Niu 2002). Infine, contrariamente a quanto avviene per l'ipoclorito di sodio, l'azione dell'edta all'interno dello spazio endodontico non risulta proporzionale alla quantità di soluzione impiegata per il lavaggio; se si valuta la rimozione di smear layer e di detriti un ultimo lavaggio di 1ml dà risultati sovrapponibili ad un ultimo lavaggio di 10 ml (Crumpton 2005).

3.3 SOLUZIONI DI ACIDO CITRICO

L'acido citrico (AC) è un acido organico debole con azione chelante sugli ioni Ca^{++} ; fu Loel nel 1975 a suggerirne l'uso come soluzione per la detersione chimica del canale radicolare (Loel 1975). Sperimentato in concentrazioni che variano dal 6% al 50% (Wayman 1979, Baumgartner 1984, Machado-Silveiro 2004) l'AC è risultato inefficace se usato come unico irrigante sia nella dissoluzione di tessuti e detriti organici (Naenni 2004) sia nell'azione antibatterica (Armas 1983), mentre è risultato essere efficace nella rimozione dello smear-layer usato in associazione all'ipoclorito di sodio (Kopp 1979, Bitter 1990) (Foto 6-7-8)

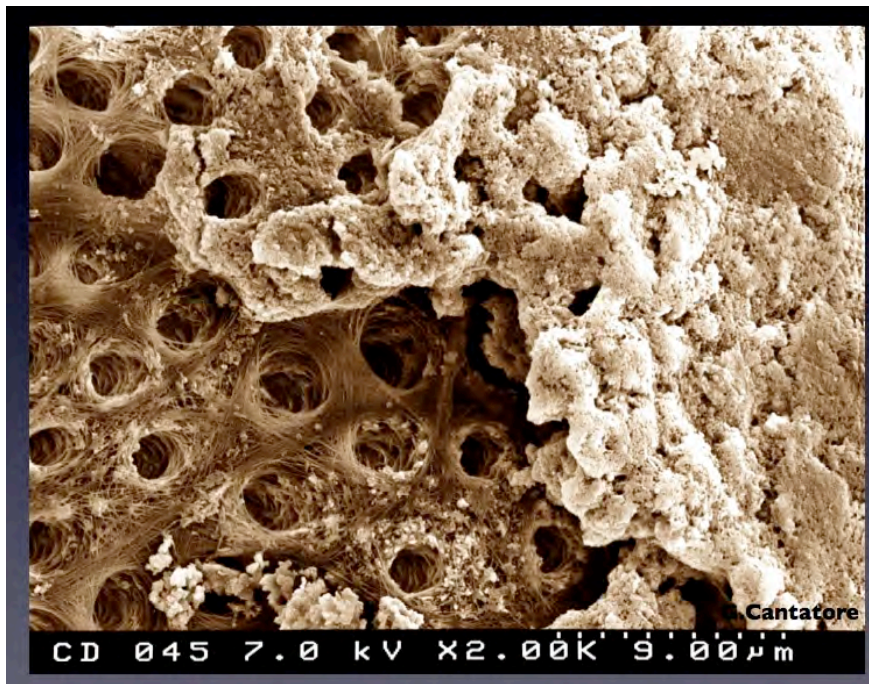


Foto 6 - L'ipoclorito di sodio non è in grado da solo di rimuovere completamente tutto il fango dentinale endodontico.

Altamente biocompatibile (Schmidlin 2005), la principale caratteristica dell'AC è proprio la capacità di rimozione dello smear layer sia superficiale sia intratubulare (smear plugs) pur allargando meno di altri acidi i tubuli dentinali (Anderson 1994). Per questo motivo il suo utilizzo come irrigante canalare è stato oggetto di molti studi in letteratura specie in termini comparativi con l'EDTA, con il quale condivide l'azione chelante e l'efficacia nella rimozione dello smear layer e rispetto al quale risulta meno citotossico per i tessuti (Ando 1985). Takeda et al. nel loro studio non hanno osservato differenze statisticamente significative in termini di efficienza tra EDTA al 17% e AC al 6% (Harashima 1999).

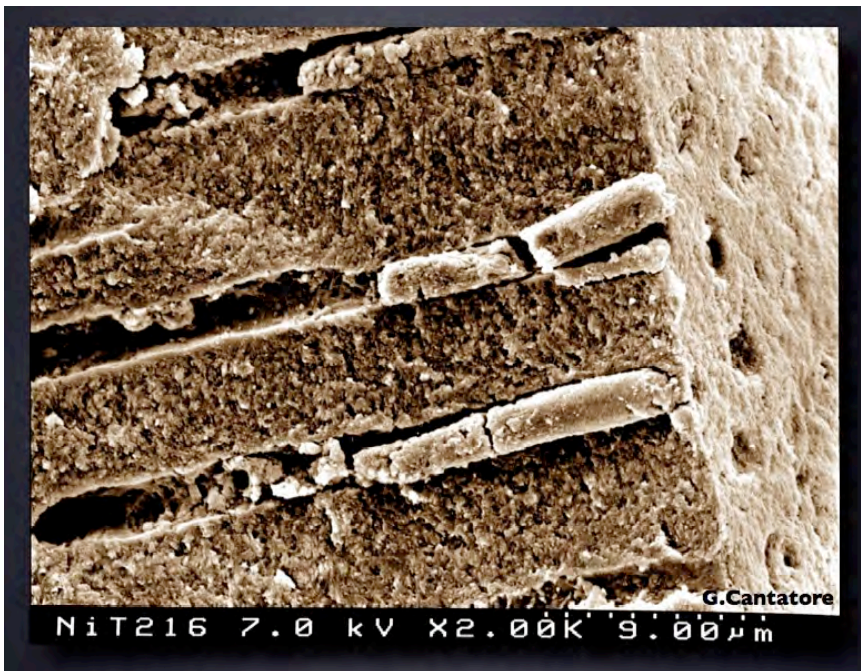


Foto 7 - Per ottimizzare l'azione dell'ipoclorito di sodio sul fango dentinale endodontico è consigliato un uso combinato con composti a base di EDTA

Machado-Silveiro et al. hanno riportato come l'AC al 1% e 10% sia più efficace dell'EDTA al 17% e come l'AC al 10% sia la soluzione con la maggior azione decalcificante (Machado-Silveiro 2004). Yamada ha riportato che L'EDTA al 17% rimuove più efficacemente lo smear layer dell'AC al 25% (Yamada 1983). La demineralizzazione della dentina e la rimozione dello smear layer sono influenzati, dal punto di vista quantitativo, dal pH, dal tempo di azione e dalla concentrazione della soluzione chelante (Baumgartner 1997, Bolaños-Carmona 2006). Machado-Silveiro et al. hanno dimostrato che l'AC al 10% è più efficace dell'AC al 1% nella rimozione dello smear layer (Machado-Silveiro 2004). Studi effettuati usando AC a differenti concentrazioni hanno dimostrato come il grado di pulizia sia maggiore nei due terzi coronali del canale radicolare e come l'AC non sia in grado di rimuovere completamente lo smear layer dal terzo apicale (Harashima 1999, Zehnder 2006, Ferrer-Luque 2008, Armellin 2009). L'AC durante l'irrigazione interagisce fortemente con l'ipoclorito di sodio (Baumgartner 1984), riducendone la disponibilità di cloro libero e rendendo inefficace la sua azione antibatterica e di rimozione dei tessuti necrotici (Schmidlin 2005); pertanto AC e ipoclorito di sodio non si dovrebbero mai mescolare nel canale (Schmidlin 2005). Tuncer e Tuncer hanno valutato la capacità di rimozione dello smear layer di AC al 10% e EDTA al 17% valutando il grado di penetrazione del cemento canalare all'interno dei tubuli dentinali; dal loro studio è evidente come l'uso di una soluzione chelante aumenti il grado di penetrazione del cemento nei tubuli e come non esistano differenze statisticamente significative tra AC e EDTA (Tuncer 2012). In un recente studio condotto tra gli endodontisti dell'AAE (American Association of Endodontists) è risultato che l'AC viene utilizzato come irrigante principale dallo 0,2% degli endodontisti e in associazione con altri irriganti dal 3 %.

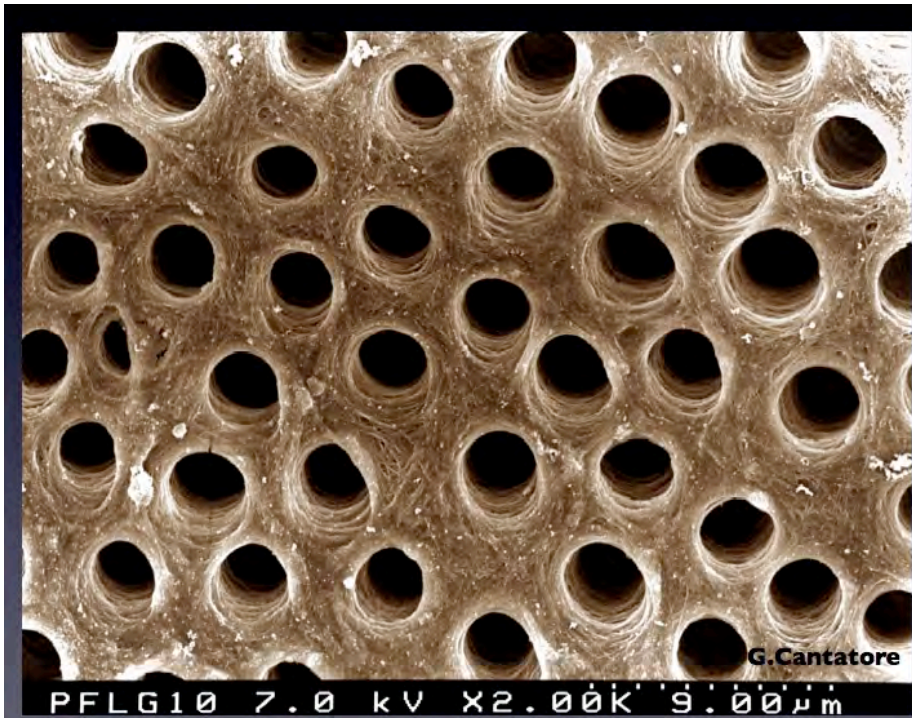


Foto 8 - L'uso combinato di Ipoclorito di sodio ed EDTA consente una rimozione ottimale del fango dentinale e agevola la detersione dei tubuli dentinali.

3.4 SOLUZIONI DI CLOREXIDINA

La clorexidina è una bisbiguanide, sintetizzata intorno al 1940 con lo scopo di ottenere un antivirale, solubile in H₂O sotto forma di sale digluconato. L'efficacia antivirale si è rivelata bassa, mentre quella antibatterica ne ha affermato l'uso, in particolare nella sua preparazione galenica, come agente chimico per controllo della placca nei pazienti affetti da malattia parodontale.

Le soluzioni acquose di clorexidina sono disponibili in diverse concentrazioni che vanno dallo 0.1% al 2%.

Le soluzioni di clorexidina impiegate in parodontologia sono generalmente comprese tra 0.1% e 0.2%, mentre gli studi scientifici che hanno testato la sua efficacia come irrigante canalare considerano concentrazioni comprese tra 0.2% e 2.0%.

Concentrazioni elevate, come quelle impiegate per i fini endodontici, hanno un'azione battericida dovuta alla distruzione del citoplasma batterico per formazione di cross-link tra le proteine (Fardal 1986, Safavi 2003).

Inizialmente, la sua efficacia nei confronti di varie specie batteriche, fra cui l'E. Faecalis, la citotossicità ridotta per i tessuti periapicali, le minime conseguenze legate all'eventuale estrusione dell'irrigante oltre apice, hanno spinto l'impiego di clorexidina in alternativa all'ipoclorito di sodio. Sembra inoltre che la clorexidina riscaldata utilizzata come irrigante canalare, ma ad una concentrazione minore del 2%, abbia una maggiore efficacia antibatterica (Buxton 2004).

La clorexidina, impiegate nelle concentrazioni dedicate all'endodonzia, è in grado di determinare un effetto letale su colture di fibroblasti (Gibson 1990) ma, alla concentrazione del 2%, risulta irritante per la cute (Foulkes 1973).

Nonostante la sua efficacia come irrigante endodontico, la clorexidina non può essere indicata come irrigante di riferimento durante i trattamenti endodontici di routine. Questa affermazione è sostenuta da due fattori:

l'incapacità della clorexidina di dissolvere il tessuto pulpare necrotico;

l'instabile efficacia sui batteri sia G+ che G-.

Inoltre va considerato che le infezioni endodontiche sono sempre ad etiologia polimicrobica con una predominanza di batteri G- anaerobi (Sundqvist 1994).

La clorexidina ha un'elevata capacità di adesione alle superfici dentinali continuando ivi la sua azione antibatterica, che sembra essere direttamente proporzionale al tempo d'applicazione del medicamento ed alla sua concentrazione.

Questa caratteristica, denominata "substantivity", è conosciuta da tempo e fa riferimento alle interazioni tra clorexidina e superfici dentali.

Mohammadi et al. riportano per tempi d'applicazione di 5 minuti di clorexidina, un aumento proporzionale della substantivity all'aumentare della concentrazione del prodotto (0.20%, 2.0% e 4.0%) (Davari 2008).

Khademi et al. evidenziano come 5 minuti d'applicazione intracanalare di clorexidina al 2.0% induce una substantivity per circa 4 settimane (Havaee 2006) mentre Rosenthal et al, impiegando la stessa concentrazione per 10 minuti, riportano che l'attività antibatterica intracanalare è mantenuta per circa 12 settimane (Rosenthal 2004).

Un recente lavoro condotto da Lee et al ha evidenziato che il pretrattamento dei LPS batterici di *E. faecalis* con clorexidina al 2.0% per 2 ore oppure allo 0.20% per 24 ore è in grado di ridurre in modo importante l'espressione del TNF- α citochina che, come noto, viene rilasciata dai macrofagi a contatto con LPS batteriche e che contribuisce allo sviluppo della lesione cronica periapicale (Bae 2009).

Gli autori sottolineano come, nonostante sia uno studio in vitro, la substantivity della clorexidina sui tessuti duri del dente, può esplicitare in vivo le condizioni e risultati evidenziati in laboratorio.

Alcune forme di clorexidina disponibili in commercio e dedicate all'endodonzia, sono addizionate ad un agente tensioattivo (cetrimide), capace di abbassare la tensione superficiale (Cehreli 2000) della soluzione, permettendo così un più agevole ingresso nel sistema tubulare del principio attivo, dove può esplicare, oltre all'azione antibatterica diretta anche l'attività di substantivity.

Confrontando i risultati ottenuti da trail clinici randomizzati che valutano la positività o meno delle colture microbiologiche ricavate dall'applicazione di ipoclorito di sodio al 2,5% e di clorexidina al 0,2%, si rileva che solo la maggior parte delle colture trattate con ipoclorito di sodio sono negative (Zehnder 2006). Questa importante differenza tra i due detergenti endodontici, è particolarmente rilevante in presenza di batteri anaerobi.

3.5 PEROSSIDO DI IDROGENO

Agente antimicrobico che ha avuto ampio uso in endodonzia.

Il meccanismo di azione è mediante la reazione di ioni superossido, risultanti nella formazione di radicali idrossilici. Questi radicali sono forti ossidanti e distruggono i lipidi di membrana, il DNA e altri componenti essenziali delle cellule. Inoltre sono i responsabili dell'azione antimicrobica, tramite l'ossidazione dei gruppi sulfidrilici e dei doppi legami delle proteine, dei lipidi e delle membrane superficiali.

Come irrigante endodontico l'H₂O₂ è usata di solito al 3%.

Un'altra sua caratteristica è quella di possedere una debole azione sbiancante.

L'acqua ossigenata può però determinare un effetto irritante sui tessuti a livello periapicale per la liberazione di O₂. L'impiego dell'acqua ossigenata va quindi evitato nei denti con apice immaturo o con apice riassorbito da un processo flogistico apico-periapicale o in presenza di ampie perforazioni sottocrestali. In presenza di tali situazioni cliniche esiste il rischio di creare fenomeni di tipo enfisematoso con conseguente edema e dolore.

Marshall, Massler e Dute hanno rilevato che la combinazione di NaOCl al 5,25% con H₂O₂ al 3% aumenta significativamente la permeabilità dei tubuli dentinali. Ciò è stato considerato vantaggioso perché sembrerebbe promuovere una maggiore penetrazione nei tubuli da parte delle medicazioni intermedie. Inoltre, produce effetti simili a quelli ottenuti combinando l'azione dell'EDTA al 15 % con quella dell'ipoclorito di sodio al 5%, nella rimozione dello smear layer (Marshall 1960).

Questa combinazione di irriganti è stata utilizzata clinicamente per oltre tre decenni. Tuttavia, in questi ultimi anni, l'uso di H₂O₂ è stato messo in discussione perché l'irrigazione alternata con NaOCl e con sostanze ossigenate non fornisce migliori risultati rispetto alla sola irrigazione con NaOCl. Inoltre è opinione diffusa che l'ipotetico vantaggio di un esaltato effetto antibatterico e solvente derivante dall'uso contemporaneo dei due irriganti possa essere vanificato dalla diluizione dell'ipoclorito con l'H₂O₂ (Baker 1975, Svec 1977, Thé 1979, Hata 2000, Shiozawa 2000).

3.6 IRRIGANTI ADDIZIONATI CON ANTIBIOTICI

Questi irriganti, che possono essere inseriti nel gruppo degli agenti chelanti, presentano nella loro formulazione anche degli agenti antibiotici, con l'obiettivo di coniugare capacità di rimozione dello smear layer, apertura dei tubuli dentinali e attività antibatterica in assenza di effetti tossici.

L'MTAD, capostipite di questa classe di irriganti, è una soluzione composta da un isomero di tetraciclina (doxyciclina), acido citrico e un detergente (Tween 80) ed è stato introdotto in endodonzia nel 2003 (Torabinejad 2003).

Gli studi pubblicati da Torabinejad su questa soluzione come irrigante finale dopo l'ipoclorito di sodio, ne dimostravano l'efficacia sulla rimozione dello smear layer senza modificare in modo significativo la struttura dei tubuli dentinali (Torabinejad 2003, Zhang 2003). La capacità di questa soluzione acida (pH 2,15) di dissolvere le sostanze inorganiche ed alcune componenti organiche dello smear layer non può comunque prescindere dall'associazione con l'ipoclorito di sodio.

La letteratura presenta dati contrastanti sull'attività dissolutiva svolta sullo smear layer: a risultati di elevata efficacia dell'MTAD (Dai 2011) si contrappongono dati che indicano un effetto di dissoluzione inferiore rispetto ad Edta al 17% per 1 minuto (Lotfi 2012, Wu 2012).

Riguardo all'attività antibatterica, anche se gli studi preliminari indicavano il forte potere disinfettante di questa soluzione suggerendone un'elevata efficacia (Torabinejad 2003, Shabahang 2003), ricerche successive hanno portato a risultati differenti, dimostrando la superiorità di azione dell'ipoclorito di sodio (a concentrazione dell'1%) verso l'E. Faecalis (Dunavant 2006) e la minore efficacia di MTAD anche rispetto alla clorexidina.

L'attività antibatterica dell'MTAD è stata anche recentemente messa in discussione in un RCT a doppio cieco (Malkhassian 2009); i risultati di questo studio in vivo suggerivano un effetto antimicrobico molto ridotto se non nullo sui batteri sopravvissuti alla preparazione endodontica, ponendo l'accento su un aspetto cruciale, il ruolo preminente della preparazione, sagomatura e detersione con ipoclorito di sodio per ottenere la disinfezione.

Studi per potenziare l'effetto antibatterico della doxyciclina, come l'aggiunta di nisina, spiegano la ricerca di soluzioni più efficaci (Tong 2013).

Un effetto negativo dell'MTAD, relativo alla presenza di tetracicline, è il rischio di colorazione rosso-porpora della dentina radicolare e della corona come conseguenza di una reazione ossido-riduttiva simile alla foto-ossidazione e pigmentazione delle tetracicline presenti nella soluzione esposte alla luce (Tay 2006).

In generale l'uso di antibiotici in alternativa a battericidi come ipoclorito e clorexidina, appare poco giustificato (Zehnder 2006); esistono dubbi sulla utilità di antibiotici come la doxyciclina per il trattamento del biofilm endodontico (Norrington 2008) ed il significato clinico dell'MTAD

è controverso per la presenza e la concentrazione di tetraciclina che potrebbe favorire l'insorgenza di resistenze batteriche non infrequenti fra microorganismi delle popolazioni intracanalari (Dahlén 2000).

3.7 INTERAZIONI TRA IRRIGANTI

NAOCL e Agenti Chelanti

La miscelazione di chelanti e NaOCl riduce il pH, influenzando la quantità di cloro libero nella soluzione e provocando un aumento di acido ipocloroso e gas di cloro con conseguente diminuzione di ione ipoclorito. Ciò comporta nella soluzione di NaOCl una perdita di cloro libero reattivo (Grawehr 2003, Bolaños-Carmona 2006, Deutsch 2008, Clarkson 2011, De Figueiredo 2011).

Questa drastica riduzione di cloro libero reattivo sembrerebbe essere la causa dell'incapacità di miscele di NaOCl e EDTA a dissolvere i residui organici. Soluzioni di NaOCl e EDTA (in proporzione 2:2 o 1:3) non riescono infatti a dissolvere completamente i residui organici anche dopo 48 ore (Grawehr 2003).

L'EDTA influenza negativamente anche l'efficacia antibatterica del NaOCl, soprattutto se questo è usato non a piena concentrazione.

L'aggiunta di NaOCl non riduce la capacità chelante di EDTA; la degradazione e la conseguente disattivazione di EDTA dopo la sua interazione con NaOCl è infatti lenta, e quindi non compromette la sua efficacia clinica di rimozione dello smear layer.

Anche per quello che riguarda gli effetti decalcificanti sulla dentina (microdurezza Vickers) l'aggiunta di ipoclorito di sodio all'EDTA non sembra importante (Grawehr 2003, Bolaños-Carmona 2006, Deutsch 2008, Clarkson 2011, De Figueiredo 2011).

NAOCL e Clorexidina (CHX)

Dalla revisione della letteratura emerge che la miscelazione di NaOCl con CHX provochi una formazione immediata di un flocculato. Questo avviene con concentrazioni di NaOCl comprese tra 0,023% e 6%, con colori del flocculato che variano dal marrone scuro all'arancione chiaro (Zehnder 2006).

Diversi studi sono stati intrapresi per chiarire la composizione chimica del flocculato prodotta dall'associazione di NaOCl con CHX: la spettrofotometria ad assorbimento atomico ha dimostrato la presenza di Ca, Fe e Mg. La maggior parte delle indagini riporta inoltre la presenza di paracloroanilina (PCA) nel precipitato; questo composto sembra essere una sostanza tossica e cancerogena (Baumgartner 1987, Irala 2010).

Il flocculato ha effetto sulla permeabilità dentinale soprattutto nel terzo apicale attraverso la formazione del cosiddetto smear layer chimico (Basrani 2007).

CHX e EDTA

È difficile ottenere una soluzione omogenea miscelando CHX con EDTA; si ha, infatti, una miscela composta principalmente dai componenti originari con formazione di un precipitato altamente insolubile di colore rosa (Marchesan 2007, Basrani 2010).

STRATEGIE CLINICHE

NaOCl ed EDTA: possiamo irrigare abbondantemente con ipoclorito di sodio, essendo sicuri che il ricambio dell'irrigante si verifichi a tutti i livelli del canale, altrimenti avremo miscele dei due irriganti a diverse profondità (Rossi-Fedele 2012). Sarebbe quindi preferibile asciugare completamente il canale prima dell'inserzione del nuovo irrigante.

NaOCl e CHX: per impedire la formazione di un precipitato (flocculato) si consiglia di fare irrigazioni intermedie con soluzione fisiologica, EDTA, o alcool.

In sintesi, l'EDTA ha un effetto drammatico sulla quantità di cloro libero disponibile e quindi sulla capacità di dissoluzione dei tessuti, mentre l'efficacia antibatterica è ridotta, soprattutto con basse concentrazioni di NaOCl.

L'EDTA viceversa non sembra risentire di una riduzione della capacità chelante in miscele contenenti NaOCl.

CHX a contatto con NaOCl sviluppa un flocculato che potrebbe contenere sostanze tossiche e che influenza il grado di detersione delle pareti canalari, ma sono necessarie ulteriori ricerche per meglio comprendere la natura di questo smear layer chimico.

Miscelando CHX e EDTA è difficile ottenere una soluzione omogenea, formandosi un precipitato composto principalmente di tali sostanze.

4. IRRIGAZIONE PASSIVA, ATTIVA E DINAMICA

Irrigazione passiva ed attiva

Recenti lavori evidenziano come, un'ottimizzazione della dinamica di flusso delle soluzioni irriganti, migliori nettamente la qualità della detersione canalare. Si ritiene che un miglioramento nella dinamica dell'irrigazione possa rendere addirittura possibile una riduzione dei tempi d'azione dell'ipoclorito di sodio senza alcuna perdita d'efficacia. Non esiste ad oggi una tecnica predefinita in grado di ottimizzare l'irrigazione ma, certamente, è chiaro come la scelta di una dinamica attiva, sia da preferire ad una tecnica che preveda un uso passivo delle soluzioni irriganti.

Si può definire come passiva una modalità di irrigazione che preveda l'introduzione dell'irrigante nel canale senza favorirne in alcun modo la penetrazione nelle porzioni più profonde. La penetrazione dell'irrigante è condizionata da numerose variabili:

le dimensioni e la lunghezza dell'ago utilizzato (Boutsioukis 2010);

le dimensioni del canale in termini di conicità (Boutsioukis 2010) ed allargamento apicale (Boutsioukis 2010);

il flusso della soluzione irrigante (Boutsioukis 2009).

Si consiglia, quindi, la scelta di aghi sottili, lunghi e flessibili in grado di veicolare l'irrigante nell'area apicale. In uno studio condotto da Altamura et Al. è stato rilevato al SEM il grado di detersione canalare ottenibile con vari tipi di aghi endodontici inseriti a vari livelli di profondità nel canale. I risultati di questo studio dimostrarono che, mentre risulta indifferente la tipologia della punta dell'ago da utilizzare, viceversa diametri sottili consentivano una più completa detersione e facilità di perfusione d'irrigante nel tratto apicale del canale (Altamura 2001). Più piccolo è il diametro degli aghi utilizzati per l'irrigazione, maggiore è la pressione necessaria a consentire la fuoriuscita del liquido nel canale. Questo può generare, particolarmente con aghi con punta ad uscita frontale, un aumentato rischio di incidenti intraoperatori. Aghi in nichel-titanio, che sfruttano la flessibilità della lega riuscendo a seguire curvature canalari anche severe, con punta cieca ed apertura laterale rappresentano una valida scelta.

La penetrabilità delle soluzioni irriganti è inoltre condizionata dalle complessità anatomiche del canale (presenza di istmi o recessi), oltre che dalle tecniche di sagomatura in grado di favorire una precoce penetrazione degli irriganti nel terzo apicale. (Cantatore 2002). Il volume adeguato ed il tempo di permanenza delle soluzioni irriganti all'interno dei canali è condizionato dalla concentrazione delle stesse, dal tipo di sagomatura e dalla presenza di residui pulpari o fango dentinale. Tuttavia appare fondamentale il frequente rinnovo delle soluzioni irriganti durante tutta la fase di sagomatura, per disporre sempre di "quote attive" di soluzione irrigante a contatto con le specie batteriche e con lo smear layer presenti all'interno dei canali.

Irrigazione dinamica

In una modalità dinamica d'irrigazione endodontica la soluzione irrigante viene spinta, dall'agitazione meccanica creata dal file o da qualsiasi altro agente attivo all'interno del canale, in ogni direzione grazie ad una maggiore pressione che viene esercitata sul liquido e che consente e facilita una sua progressione anche in piccolissimi condotti come i canali laterali. L'irrigazione dinamica provocherebbe un'alterazione strutturale del biofilm endodontico (Radcliffe 2004) facilitandone così l'eliminazione e migliorando la qualità della disinfezione canalare. Esistono differenti sistemi per attivare le soluzioni irriganti attraverso una azione manuale o tecnologicamente assistita:

files manuali;

punte di guttaperca;

files meccanici metallici o plastici

sistemi di irrigazione assistita a pressione negativa

microbrushes;

inserti ultrasonici;

inserti sonici;

In uno studio condotto da Machtou, è stato possibile valutare, con l'ausilio di un mezzo di contrasto con proprietà fisiche simile all'ipoclorito di sodio, come nel tratto più apicale del canale, dove l'ago non riesce ad arrivare, la penetrazione dell'irrigante e quindi il suo ricambio avvenga solo dopo l'introduzione di uno strumento alla lunghezza di lavoro (Machtou 1980) (Foto 9)

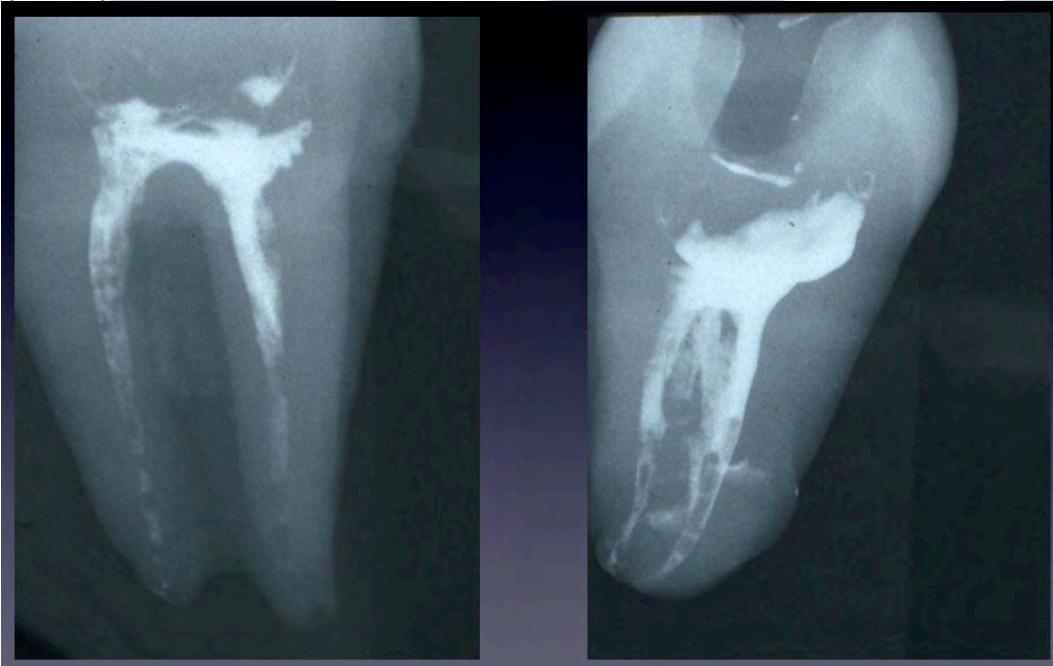


Foto 9 - Gli strumenti endodontici veicolano le soluzioni irriganti. Nella loro progressione verso la regione del terzo apicale, i files trascinano con sé gli agenti antisettici consentendo un potenziamento nel loro meccanismo d'azione. Per questa ragione è preferibile che il loro utilizzo avvenga sempre in bagno di ipoclorito di sodio.

Un'attivazione delle soluzioni irriganti si può ottenere anche nella fase di pre-otturazione. Utilizzare i coni master di guttaperca, muovendoli all'interno del lume canalare riempito di ipoclorito o EDTA, può risultare un valido stratagemma per l'attivazione delle soluzioni irriganti.

Una modalità d'attivazione delle soluzioni irriganti proposta attualmente prevede l'uso di dispositivi ad ultrasuoni. L'irrigazione ultrasonica passiva (PUI), definita per la prima volta da

Weller, non descrive adeguatamente un processo che è di fatto attivo (Weller 1980). In realtà il termine "passivo" è stato scelto per segnalare un'azione di "non taglio" da parte del file oscillante. Tuttavia, l'oscillazione di un file ultrasonico o di un file attivato indirettamente da una sorgente ad ultrasuoni, in presenza di liquido irrigante, genera un'oscillazione in senso trasversale determinando la presenza di punti di dislocamento lieve o nullo (nodi) e punti di massimo dislocamento (antinodi). Il massimo dislocamento si ha alla punta dello strumento che rimane per questa ragione il punto più suscettibile di frattura (Ahmad 1989).

Questa azione meccanica produce due effetti fisici rilevanti: la cavitazione ed il cosiddetto "acoustic streaming". Il fenomeno della cavitazione si determina quando un file, oscillando immerso in un fluido, produce in esso pressioni positive seguite da pressioni negative. La cavitazione comporta la formazione di microbolle di gas con dimensioni, velocità ed orientamento casuali che, implodendo contro le superfici canalari, hanno una notevole azione disgregante su tutti i materiali ed in particolare su quelli dotati di struttura cristallina (Rodriguez-Ferrer 1980). L'oscillazione rilascia energia che viene convertita in calore ed in campi idrodinamici che possono disgregare i tessuti biologici ed i materiali inorganici.

Questi microflussi esprimono il massimo della loro potenza nel tratto terminale dello strumento endodontico provocando distruzione batterica, inattivazione enzimatica e del Dna. L'acoustic streaming crea piccoli movimenti circolari nel fluido attorno al file. Poiché questi movimenti sono maggiormente presenti nei pressi della punta dello strumento rispetto alla porzione coronale, il flusso di liquido ha direzione corono-apicale. Il fenomeno dell'acoustic streaming ha grande importanza perché aumenta l'effetto degli irriganti per mezzo del cosiddetto hydrodynamic shear effect. Gli ultrasuoni, utilizzati in assenza di irriganti idonei, riducono debolmente la presenza di batteri nel canale radicolare, ma quando sono usati in presenza di un irrigante ad azione battericida (per esempio NaOCl) producono un effetto sinergico rilevante. L'effetto sinergico è in relazione sia agli effetti prodotti dalla cavitazione sia, soprattutto, da quelli determinati dall'acoustic streaming. Diversi studi sono stati condotti volti a testare l'efficacia della sinergia tra ultrasuoni e soluzioni antisettiche: i risultati mostrano che gli ultrasuoni, accoppiati a questi irriganti, consentono di ottenere campioni sterili in percentuali notevolmente maggiori rispetto all'utilizzo dei soli irriganti. L'effetto sinergico tra ultrasuoni e irriganti microbicidi si traduce anche in una riduzione dei tempi necessari per ottenere la piena disinfezione del canale radicolare.

Sempre in questo ambito è stata posta in evidenza una correlazione tra l'attività dell'ipoclorito di sodio e la sua temperatura. Più precisamente, è noto che aumentando la temperatura dell'irrigante è possibile ottenere la completa eliminazione dei batteri in un tempo significativamente minore (le temperature generalmente considerate in questi studi oscillano tra 20° e 30° C, cioè tra la temperatura ambiente e quella corporea) e che, analogamente, si riducono i tempi necessari per ottenere la dissoluzione del tessuto connettivo pulpare. Gli attuali dispositivi ultrasonici sono in grado di riscaldare l'irrigante e la stessa vibrazione del file, seppur leggermente, sarebbe in grado di aumentare la temperatura dell'ipoclorito di sodio. E' quindi possibile utilizzare gli ultrasuoni per riscaldare e mantenere elevata la temperatura dell'irrigante durante l'azione di detersione del canale radicolare.

L'attività ultrasonica intensifica l'azione di pulizia prodotta dagli irriganti, soprattutto a livello del terzo apicale e di quelle parti dello spazio endodontico non strumentabili. Tuttavia, per ottenere un effetto detergente ottimale il file dovrebbe vibrare senza entrare in contatto con le pareti canalari.

Di conseguenza, viene indicato l'uso di file di ridotta dimensione, a spire e punta non taglienti, che non si impegnino nel canale radicolare. La mancata osservanza di questi accorgimenti impedirebbe al file di lavorare correttamente, dato che il continuo impatto dello strumento contro le pareti canalari ne riduce l'ampiezza di oscillazione.

Lo spazio necessario per consentire ad un file n°15 ISO di vibrare liberamente nel canale è circa 0,25mm (25 ISO), quindi la fase di detersione sinergizzata dagli ultrasuoni dovrebbe essere effettuata solo nelle fasi terminali della sagomatura. In uno studio in vivo, prospettico, randomizzato, comparante l'efficacia antibatterica di una tecnica manuale rispetto ad una tecnica manuale più un minuto d'irrigazione ultrasonica, Carver K et al (Carnevale 1983), hanno concluso che quest'ultimo protocollo dava come risultato una significativa riduzione nel numero di batteri CFU (P.0006) e di colture positive (P.0047). Da questo studio si è potuto concludere che l'irrigazione ultrasonica è stata 7 volte più efficace nel raggiungere una coltura negativa. Risultati significativamente analoghi sono stati raggiunti in altri studi condotti in vivo (Burlison 2007) nei quali l'irrigazione di un minuto, tramite un ago attivato con ultrasuoni, dopo strumentazione rotante, ha consentito un aumento di detersione del canale e dell'istmo nella radice mesiale dei molari mandibolari (Foto 10).

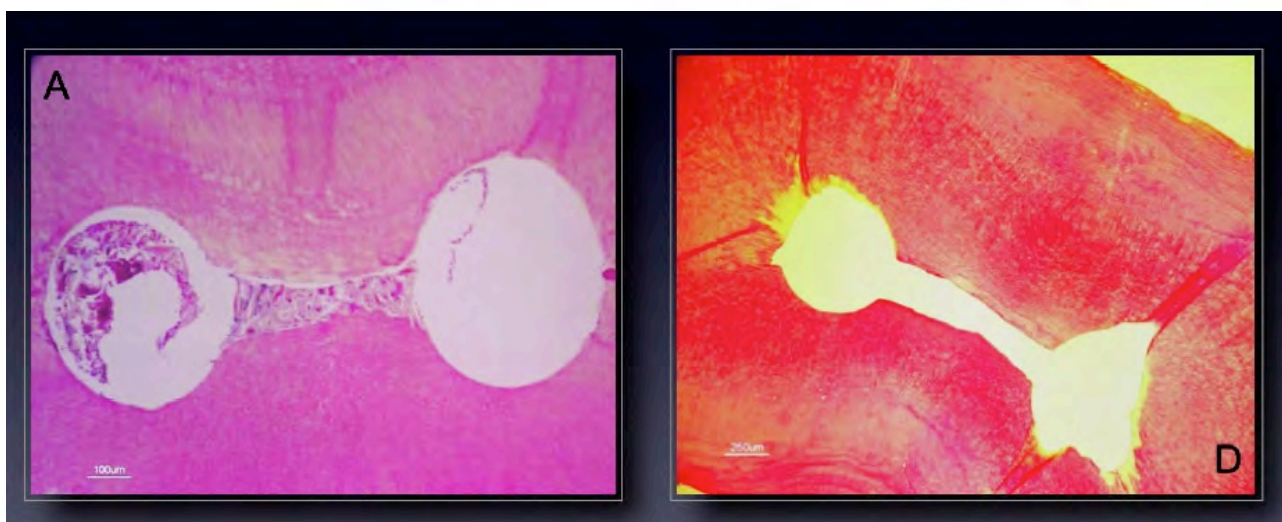


Foto 10 - Un minuto di irrigazione energizzata con aghi direttamente connessi alle unità ultrasoniche, eseguita dopo la strumentazione, incrementa significativamente la detersione degli istmi nelle radici mesiali dei molari mandibolari.

5. CONCLUSIONI

L'irrigazione del sistema endodontico rappresenta una componente fondamentale della terapia endodontica, influisce significativamente sulla sua predicibilità e sulle percentuali di successo e possiamo dire che rappresenta una costante in tutte le sue fasi: dall'apertura della cavità d'accesso, che deve creare un serbatoio di raccolta delle soluzioni irriganti, alla sagomatura dei canali che deve favorire la progressione degli agenti antisettici in direzione apicale ed infine alla fase di preotturazione, quando il canale ormai preparato si trova nelle condizioni ideali per l'irrigazione del terzo apicale. In un momento storico dell'Endodonzia in cui si assiste all'avvicinarsi sul mercato di strumenti endodontici sempre più performanti e sofisticati, oltre che allo sviluppo di protocolli operativi più o meno semplificati, l'irrigazione conserva, a nostro parere, il suo valore prioritario e imprescindibile.

Rispettare i protocolli operativi, selezionare le giuste soluzioni irriganti, impiegare i volumi e le concentrazioni idonee, potenziare i meccanismi d'azione dei singoli agenti adoperati, è l'arma vincente per un buon esito del trattamento (Foto 11).

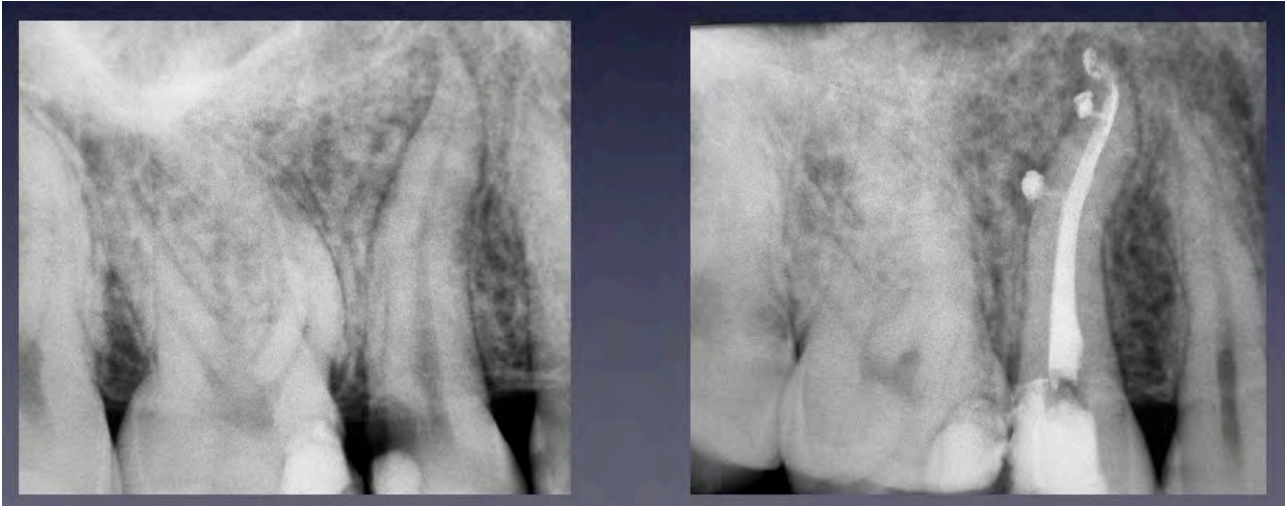


Foto 11 - Patologia pulpare irreversibile dell'elemento 1.5 con estensione al tessuto periradicolare. Il piano di trattamento prevede il trattamento endodontico.

Lo spazio endodontico è stato preparato con strumenti manuali e rotanti e deterso chimicamente con ipoclorito di sodio (5,25%) ed Edta (10%) secondo le sequenze descritte: Edta nella fase finale dopo la preparazione, asciugatura ed infine ipoclorito di sodio come ultimo passaggio.

La radiografia endorale post-operatoria evidenzia il riempimento del canale principale e di alcune porte di uscita laterali

6. BIBLIOGRAFIA

- Abbott P, Heijkoop P, Cardaci S, Hume W, Heithersay G. An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *Int Endod J* 1991; 24: 308-16.
- Abou-Rass M, Bogen G. Microorganism in closed periapical lesion. *Int Endod J* 1998;31:39-47
- Ahmad M. An analysis of breakage of ultrasonic files during root canal instrumentation. *Endod Dent Traumatol* .1989 April;5):78-82
- Altamura C, Majori M, Caiazza S., Cantatore G. Esame dei vari tipi di aghi per irrigazione endodontica e valutazione al SEM della qualità della detersione canalare a livello apicale ottenibile con il loro impiego. *G It End* 2001;4:158-164
- Anderson, DA., Bowen, RL., Eick, JD., Henderson, DA. Smear layer removal and bonding consideration. *Oper. Dent. Suppl.*,1984, 3, 30-34.
- Armas, A., Goldman, M., Lin, PS, Yamada, RS., A scanning electron microscopic comparison of a high-volume final flush with several irrigating solutions. Part III. *J Endodon* 1983; 9:, 137-142
- Armellin, E., Casaglia, A., Cerroni, L., Cianconi, L., Mancini, M. A comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: a scanning electron microscopy evaluation. *J Endodon* 2009; 35:, 900-903
- Bae, KS., Baek, SH., Baik JE., Han, SH., Kum, KY., Lee, JK., et al. Chlorhexidine gluconate attenuates the ability of lipoteichoic acid from *Enterococcus faecalis* to stimulate toll-like receptor 2. *J. Endodon* 2009; 35: 212 –215
- Baker N, Eleazer P, Averbach R, Seltzer S. Scanning electron microscopy study of the efficacy of various irrigating solutions. *J Endodon* 1975;1: 127-135
- Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endodon* 2007;33:966–969
- Basrani BR, Manek S, Mathers D, Fillery E, Sodhi RN. Determination of 4-chloroaniline and its derivatives formed in the interaction of sodium hypochlorite and chlorhexidine by gas chromatography. *J Endodon* 2010;36:312–314
- Barkhordar RA, Stewart GG. The potential of periodontal pocket formation associated with untreated accessory root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1990 Dec;70:769-772

Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endon* 1992; 18:605-612

Baumgartner JC, Brown, CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD. A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *J Endodon* 1984;10, 525-531

Baumgartner ,JC, Morgan, LA. Demineralization of resected root-ends with methylene blue dye. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Rad End* 1997; 84: 74-78

Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J Endodon* 1987;13:47-51

Berg M, Jacobsen E, Begole E, Remeikis A. A comparison of five irrigating solutions: a scanning electron microscopic study. *J Endodon* 1986; 12:192-7.

Berutti E,Marini R. A scanning electron microscopic evaluation of the debridement capability of sodium hypochlorite at different temperatures. *J Endodon* 1996;22:467-470

Berutti E. La detersione del sistema dei canali radicolari. *G It End* 1999;2:92-8.

Bitter, NC. The effect of 25% tannic acid on prepared dentin: a scanning electron microscope-methylene blue dye study. *J Prosthet Dent* ,1990, 64, 12-16

Bolaños-Carmona, V., Camejo-Aguilar, D., González-López, S., Sanchez-Sanchez, P. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endodon* 2006; 32:, 781-784

Boutsioukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LW. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J* 2010; 43: 909-16.

Boutsioukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LW. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J* 2010; 43:874-81

Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endodon* 2010;36:875-9

Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J*. 2009;42:144-55.

Buchanan P.: *Cleaning and shaping the root canal system*. In “Cohen-Burns:Pathways of the pulp” 1990;5°ed.:166 Mosby Y.B., Philadelphia

Buxton, TB., Evanov, C., Joyce, AP., Liewehr, F. Antibacterial efficacy of calcium hydroxide and chlorhexidine gluconate irrigants at 37 degrees C and 46 degrees C. *J Endodon* 2004;30: 653-657

Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The In Vivo Evaluation of Hand/Rotary/Ultrasound Instrumentation in Necrotic, Human Mandibular Molars. *J Endodon* 2007; 33): 782-787

Byström A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J* 1985; 18: 35-40

Bystrom A,Claesson R,Sundqvist G. The antibacterial effect of CPC,CMCPand calcium hydroxide in the treatment of the infected root canal.*Endod Dent Traumatol* 1985;1:170-5

Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scan J Dent Res* 1981;9:321-328

Cantatore G, Varela Patiño P, Biedma BM, Ruiz Piñón M. Frequenza e localizzazione dei canali laterali dopo otturazione canalare con GT Obturators: uno studio radiografico in vitro. *G It Endo* 2004: 18:185-191

Cantatore G.. *Struttura dentinale e procedure endodontiche*. Dental Cadmos 1995;2:13-45

Cantatore G. *L'irrigazione canalare nella detersione dell'endodonto* . Dental Cadmos 2002 ;7,36-54

Carnevale G. Sterrantino SF,Di Febo G. Soft and hard tissue wound healing following tooth preparation to the alveolar crest .*Int J Periodontics Restorative Dent* 1983;3:36-53

Cehreli, ZC., Etikan, I., Ogan C., Taşman F. Surface tension of root canal irrigants. *J. Endodon* 2000; 26 : 586 – 587

Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 1989; 22: 218

Clarkson, RM., Moule, AJ., Podlich, HM. Influence of ethylenediaminetetraacetic acid on the active chlorine content of sodium hypochlorite solutions when mixed in various proportions. *J Endodon* 2011;37:538–543

Crompton BJ, Goodell GG, McClanahan SB. “Effects on smear layer and debris removal with varying volumes of 17% EDTA after rotary instrumentation.” *J Endodon* 2005;31:536-538

Cunningham W.T., Balekjian A.Y.: Effect of temperature on collagen dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg.*1980; 49(2):175-179

Dai L, Khechen K, Khan S, Gillen B, Loushine BA, Wimmer CE et al. The effect of QMix, an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *J Endodon* 2011;37:80–84

Dahlén G, Samuelsson W, Molander A, Reit C. Identification and antimicrobial susceptibility of Enterococci isolated from the root canal. *Oral Microbiol Immunol* 2000; 15:309 –312

Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endodon* 1998; 24: 763-767

Davari, AR., Khademi, AA., Mohammadi, Z. Evaluation of the antibacterial substantivity of three concentrations of chlorhexidine in bovine root dentin. *Iranian Endodontic J.* 2008; 2: 113- 125

De Figueiredo, JAP., Doğramaci, EJ., Guastalli, AR., Rossi-Fedele, GG., Steier, L. Influence of pH changes on chlorine-containing endodontic irrigating solutions. *Int Endod J*, 2011;44:792–799

Deutsch, AS., Hladek, MM., Musikant, BL., Nekich, M., Rasimick, BJ. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. *J Endodon* 2008;34:1521–1523

Dunavant TR, Regan JD, Glickman GN, Solomon ES, Honeyman AL. Comparative evaluation of endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilms. *J Endodon* 2006;32:527–531

Dugas NN, Lawrence HP, Teplitsky PE, Pharoah MJ, Friedman S. Periapical health and treatment quality assessment of root-filled teeth in two Canadian populations. *Int Endod J* 2003;36:181–192

Ellerbruch E.S., Murphy R.A. :Antimicrobial activity of root canal medicament vapors *J Endodon* 1977;3):189-193

Eriksen HM, Kirkevang L, Petersson K. Endodontic epidemiology and treatment outcome: general considerations. *Endod Topics* 2002;2:1–9

Ferrer-Luque, CM., González-López, S., González-Rodríguez, MP., Martín-Peinado, FJ., Perez-Heredia, M. Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2,5% sodium Hypochlorite on root canal dentine. *Int Endod J*, 2008,41, 418-423

Fardal, O., Turnbull, RS. A review of the literature on use of chlorhexidine in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.*, 1986,112: 863 – 869

Foulkes DM. Some toxicological observations on chlorhexidine. *J. Periodontal Res Suppl.* 1973;12:55-60

Foley DB, Weine FS, Hagen JC, deObarrio JJ: Effectiveness of selected irrigants on the elimination of *Bacteroides melaninogenicus* from the root canal system: an in vitro study. *J Endodon* 1983;9(:236-241

Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschi L, Malagnino VA et al. SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2004; 37(: 832–839

Friedman S. Considerations and concepts of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *Endod Topics* 2002, 1:54–78

Franco V, Fabiani C. L'azione di dissoluzione di quattro differenti protocolli di irrigazione: studio in vivo. *G It End* 2008; 22: 67-71

Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants: a comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994; 78: 359-67.

- Gen yuan X, Zhongni Z. Filling of the lateral canal. *Oral Surg, Oral Med Oral Pathol* 1984; 58: 221-224
- Gibson, JR., Leigh ,IM., Tatnall FM. Comparative study of antiseptic toxicity on basal keratinocytes, transformed human keratinocytes and fibroblasts. *Skin Pharmacology*, 1990, 3: 157 – 163
- Goldman L . B . , Goldman M . , Kronman J . M . ,Sun Lin P. The efficacy of several irrigation solution for endodontics a SEM study. *Oral Surg* 1981; 52: 197 - 204
- Goldman M, Goldman L, Cavaleri R, Bogis J, Peck S. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study. Part 2. *J Endodon* 1982;8: 487-92
- Gordon T, Damato D, and Christner P. Solvent effect of various dilutions of sodium hypochlorite on vital and necrotic tissue. *J. Endodon* 1981;7(10):466-469
- Grawehr, M., Sener, B., Waltimo, T., Zehnder, M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J* 2003;36:411–415
- Grey CG.: The capabilities of sodium hypochlorite to digest organic debris from root canal, with emphasis on accessory canals. B.U. Thesis 1970
- Grossman L.I.: *Endodontia Pratica*. Cides Odonto-Torino-1981
- Haapasalo M, Orstavik D, Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endodontics and Dental Traumatology* 1990;6(: 142-9
- Hand R.E., Smith M.H., Harrison J.W.: Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J. Endodon* 1978;4:60-64
- Harashima, T., Kimura, Y., Matsumoto, K., Takeda, FH. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J* ,1999, 32, 32-39
- Hasselgren G., Olsson B., Cvek M.: Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue. *J. Endod.* 1988;14:125-127
- Hata G, Hayami S, Weine F S, Toda T. Effectiveness of oxidative potential water as a root canal irrigant. *Int Endod J* 2000; 34: 308-317
- Havaee, A., Khademi, AA., Mohammadi, Z. Evaluation of the antibacterial substantivity of several intra-canal agents. *Aust. Endod. J.*, 2006; 32: 112 – 115
- Heard F, Walton RE. Scanning electron microscope study comparing four root canal preparation techniques in small curved canals. *Int Endod J.* 1997; 30: 323-31.
- Heling I, Rotstein I, Dinur T, Szwec-Levine Y, Steinberg D. Bactericidal and cytotoxic effects of sodium hypochlorite and sodium dichloroisocyanurate solutions in vitro. *J Endodon* 2001;27:278-280
- Huang T.Y. ,K Gulabivala e Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J* 2008; 41: 60-71
- Hülsmann M, Schade MJ, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J* 2001; 34: 538-46
- Hülsmann M, Heckendorff M. Comparative evaluation of three chelator pastes. *Int Endod J* 2002 35, 668-79
- Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. “Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use”. *Int Endod J* 2003;36):810-830
- Irala LED, Graziotin-Soares R, Azevedo Salles A, Munari AZ, Pereira JS. Dissolution of bovine pulp tissue in solutions consisting of varying NaOCl concentrations and combined with EDTA. *Braz Oral Res* 2010;24:271–276
- Iwu Cet al. The microbiology of periapical granulomas. *Oral Surg* 1990;69:502-505
- Kim E, Kim KD, Roh BD, Cho YS, Lee SJ. Computed tomography as a diagnostic aid for extracanal invasive resorption. *J Endodon* 2003;29:463-465
- Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endodon* 1998;24:472-476

Kopp, WM., Lazzari, EP, Pinero, GJ., Wayman, BE. Citric and lactic acids as root canal irrigants in vitro. *J Endodon* 1979; 5: 258-265

Loel, DA. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*, 1975; 90: 148-151

Lotfi M, Vosoughhosseini S, Saghiri MA, Zand V, Ranjkesh B, Ghasemi N. Effect of MTAD as a final rinse on removal of smear layer in ten minute preparation time. *J Endodon* 2012; 38: 1391-1394

Machtou P.: Investigations sur l'irrigation en Endodontie. M.S. Thesis, Paris 7 University, 1980

Mader C, Baumgartner JC, Peters D. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endodon* 1984; 10: 477-483

Malkhassian G, Manzur AJ, Legner M, Fillery ED, Manek S, Basrani BR et al. Antibacterial efficacy of MTAD final rinse and two percent chlorhexidine gel medication in teeth with apical periodontitis: a randomized double-blinded clinical trial. *J Endodon* 2009; 35: 1483-1490

Marchesan MA, Pasternak Junior B, Afonso MM, Sousa-Neto MD, Paschoalato C. Chemical analysis of the flocculate formed by the association of sodium hypochlorite and chlorhexidine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2007; 103: 103-105

Marshall FJ, Massler M, Dute HL. Effects of endodontic treatments on permeability of root dentine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1960; 13: 208-23

Mentz T.C.F.: The use of sodium hypochlorite as a general endodontic medicament. *Int Endod J*. 1982; 15: 132-136

Meryon SD, Tobias R S, Jakeman K J. Smear removal agents: a quantitative study in vivo and in vitro. *J Prosthet Dent* 1987; 57: 174-179

Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential Endodontic irrigants. *J Endodon* 2004; 30: 785-787

Nicholls E. Lateral radicular disease due to lateral branching of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963; 16: 839-845

Niemann RW, Dickinson GL, Jackson CR, Wearden S, Skidmore AE. Dye ingress in molars: furcation to chamber floor. *J Endodon*. 1993; 19: 293-296

Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J* 2002; 35: 934-9.

Norrington DW, Ruby J, Beck P, Eleazer PD. Observations of biofilm growth on human dentin and potential destruction after exposure to antibiotics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 105: 526-529

Nygaard-Ostby B. Chelation in Root Canal Therapy: ethylenediaminetetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontol. Tidskr* 1957; 65: 3

Pashley E.L., Birdsong N.L., Bowman K., Pashley D.H.: "Citotoxic effect of NaOCl on vital tissue". *J. Endodon* 1985; 11: 525-528

Peters LB, van Winkelhoff AJ, Buijs JF, Wesselink PR. Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *Int Endod J* 2002; 35: 13-21

Peters O, Eggert C, Barbakow F. Wurzelkanalobreflächen nach Lightspeed-Präparation im REM dargestellt eine Pilotstudie. *Endodontie* 1997; 6: 225-31

Peters O, Barbakow F. Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: a scanning electron microscopic study. *J Endodon* 2000; 26: 6-10.

Peters OA, Boessler C, Zehnder M. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int Endod J* 2005; 8: 223-229

Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Hababbeh N, Qualtrough A, Worthington H et al: Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2004; 37: 438-446

Rodriguez-Ferrer HJ, Strahan JD, Newman HN. Effect on gingival health of removing overhanging margins of interproximal subgingival amalgam restorations. *J Clin Periodontol* 1980; 7: 457-462

Rosenthal, S., Safavi, KE., Spangberg, L. Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol Endod.* 2004; 98: 488 - 492

Rossi-Fedele G, Doğramaci EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JA. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *J Endodon* 2012;38:426–431

Safavi, K., Spångberg, LS., Zamany, A. The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003, 96:578-581

Scelza, MFZ., Scelza, P, Teixeira, AM.,. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Radiol and End*, 2003, 95 (2), 234-236

Schäfer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickeltitanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. *Int Endod J* 2002 35, 514-21

Schmidlin, P., Sener, B. Zehnder, M., Waltimo, T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endodon* 2005;31: 817-820

Schwarze T, Geurtsen W. Comparative qualitative SEM study of automated vs. hand instrumentation of root canals. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1996; 51:227-230

Senia ES, Marraro RV, Mitchell JL, Lewis AG, Thomas L. Rapid sterilization of gutta-percha cones with 5,25% sodium hypochlorite. *J. Endod*, 1975;1:136-140

Serper A, Çalt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endodon* 2002; 28: 501-2

Shuping G, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using Nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endodon* 2000; 26: 751-755

Shiozawa A: Characterization of reactive oxygen species generated from the mixture of NaOCl and H₂O₂ used as root canal irrigants. *J Endodon* 2000; 26:11-15

Shih M., Marshall F.G., Rosen S.: The bactericidal efficiency of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant. *Oral Surg.* 1970;2(4):613-619

Shabahang S, Torabinejad M. Effect of MTAD on *Enterococcus faecalis* contaminated root canals of extracted human teeth. *J Endodon* 2003;29:576–579

Siqueira JF, Roças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2,5% and 5% sodium hypochlorite. *J Endodon* 2000; 26:331-334

Siqueira JF Jr, Rocas IN, Santos S, Lima KC, Magalhaes FAC, De Uzeda M. Efficacy of Instrumentation Techniques and Irrigation Regimens in Reducing the Bacterial Population within Root Canals. *J Endodon* 2002; 28: 181-184

Siqueira JF Jr, Machado AG, Silveria RM, Lopes HP, de Uzeda M. Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the root canal. *Int Endod J* 1997;30:279-282

Siqueira JF Jr, De Uzeda M, Fonseca ME A scanning electron microscopic evaluation of in vitro dentinal tubules penetration by selected anaerobic bacteria. *J Endodon* 1996;22):308-310

Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The Effects of Temperature on Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, and Antimicrobial Efficacy. *J. Endodon* 2005; 31:669-671

Spangberg L., Rutberg m., Rydinge: Effect of endodontic antimicrobial agents. *J. Endodon* 1979;5:166-175

Spangberg L, Engstrom B, Langeland K. Biologic effects of dental materials III. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973;36:856-871

Sundqvist, G. Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:522-530

Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod* 1977; 3(2): 49-53

Svensäter G, Bergholtz G. Biofilms in endodontic infections. *Endod Topics* 2004;9:27-36

Tay FR, Mazzoni A, Pashley DH, Day TE, Ngoh EC, Breschi L. Potential iatrogenic tetracycline staining of endodontically treated teeth via NaOCl/MTAD irrigation: a preliminary report. *J Endodon* 2006; 32: 354–358

Thé SD. The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1979; 47(:558-561

Thé SD, Maltha JC, Plasschaert AJM. Reaction of guinea pigs subcutaneous connective tissue following exposure to sodium hypochlorite. *Oral Surg* 1980;49:460-466

Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K et al. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endodon* 2003; 29: 170–175

Tong Z, Ling J, Lin Z, Li X. The Effect of MTADN on 10 *Enterococcus faecalis* Isolates and Biofilm: An In Vitro Study *J Endodon* 2013;39:674-678

Tuncer, AK., Tuncer, S. Effect of different final irrigation solutions on dentinal tubule penetration depth and percentage of root canal sealer. *J Endodon* 2012, 38, 860-863

Turkun M, Cengiz T. The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *Int Endodon J* 1997; 30: 335-42

Wayman BE, Kopp WM, Pinero GJ, Lazzari EP. Citric and lactic acids as root canal irrigants in vitro. *J Endodon* 1979;5,258-265

Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endodon* 1980;6:740-743

Wu L, Mu Y, Deng X, Zhang S, Zhou D. Comparison of the Effect of Four Decalcifying Agents Combined with 60°C 3% Sodium Hypochlorite on Smear Layer Removal *J Endodon* 2012;38:381–384

Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS: “A scanning electron microscopic comparison of high volume final flush with several irrigating solutions: Part3”. *J Endodon* 1983;9:137-42

Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Philips E, Trope M. Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants *J Endodon* 1995;21;513-515