



Università degli Studi di Genova
Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche
Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria

Presidente del corso di laurea: Prof.ssa Maria Menini

Tesi di Laurea “I laser in endodonzia”

Relatore: Prof. Stefano Benedicenti

Candidato: Daria Gamisoniya

Anno accademico: 2022/2023

I Laser in endodonzia

INTRODUZIONE

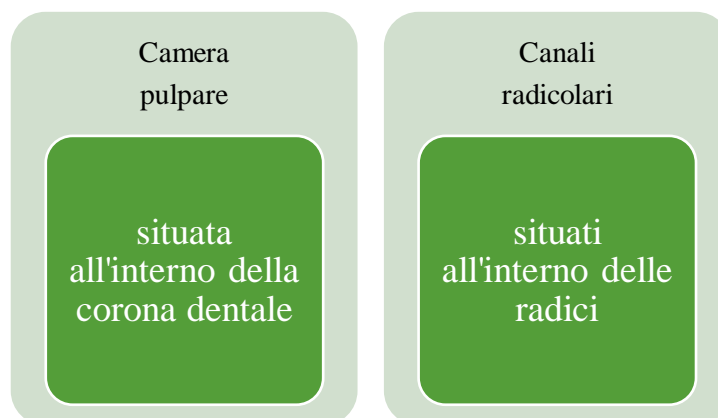
ENDODONZIA

CENNI ANATOMICI

Richard Bence(2) definisce l'Endodonzia come la branca dell' Odontoiatria che si occupa della diagnosi e del trattamento dei processi patologici e delle lesioni della polpa e del tessuto periapicale.

All'interno del dente, la camera pulpare è circondata dalla dentina. La forma dei margini della cavità corrisponde al contorno esterno del dente. Tuttavia, i processi fisiologici e patologici che si verificano nel dente nel corso della vita portano alla formazione di dentina secondaria e terziaria. Ciò comporta una riduzione della cavità.

La cavità pulpare è divisa in due compartimenti:



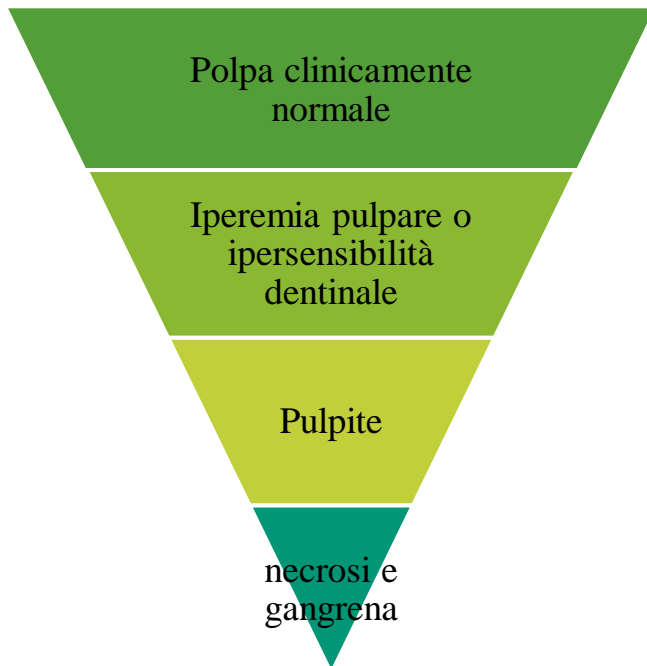
I canali radicolari si dividono in diversi tipi:



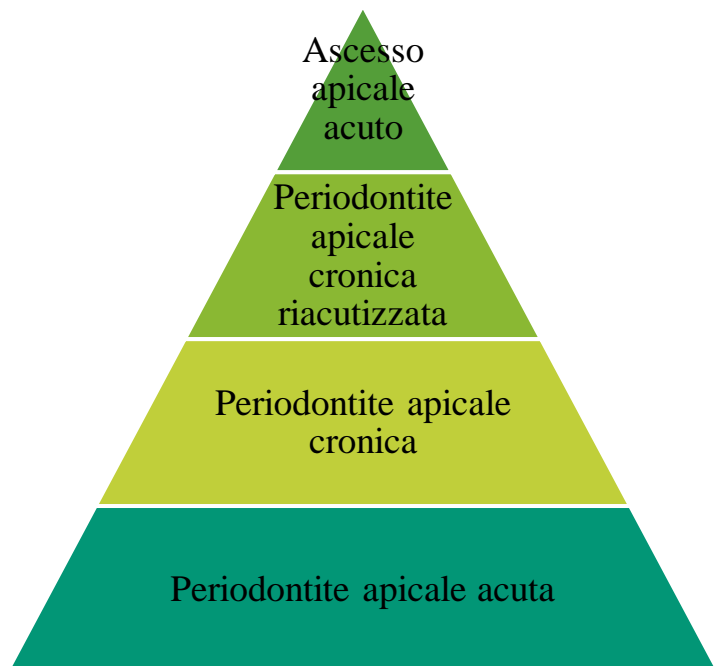
Le caratteristiche anatomiche e topografiche della polpa la rendono un organo molto delicato e suscettibile di essere danneggiato. La cavità pulpare è un ambiente chiuso con circolazione terminale. Di conseguenza, quando si verifica un'inflammazione, non ha la possibilità di espandersi di volume. Quando si verifica la necrosi della polpa, i batteri, le loro tossine e gli enzimi proteolitici trovano il loro unico punto di uscita nei tessuti periapicali.

Classificazione clinica delle malattie pulpari e delle lesioni di origine endodontica

Sono quattro gli stadi clinici che la polpa dentale può attraversare con il progredire del processo patologico:



Dal punto di vista clinico, le lesioni periapicali di origine endodontica possono essere classificate in:



EZIOPATOGENESI DELLE PATOLOGIE PULPARI

Cause batteriche

- ingresso coronale
- ingresso radicolare
- fratture
- anomalie di struttura

Cause chimiche

- liners
- mordenzanti
- adesivi smalto-dentinali
- vernici cavitarie

Cause fisiche

- meccaniche
- termiche
- elettriche
- traumatiche

Cause iatrogene

- preparazione di cavità, monconi
- profondità della preparazione
- estensione dei cornetti pulpari
- disidratazione
- emorragia pulpare
- esposizione pulpare
- presa dell'impronta
- cementazione
- calore provocato da lucidatura

Cause da alterazioni idiopatiche

- invecchiamento
- riassorbimento interno
- riassorbimento esterno
- ipofosfatasia
- anemia falciforme
- herpes zoster

La flora batterica nelle infezioni endodontiche

Tra le patologie dentali, l'infezione del canale radicolare ha caratteristiche di unicità poiché avviene in una sede dove i microrganismi normalmente non risiedono. Le altre patologie infettive del cavo orale, come la carie e le malattie parodontali, insorgono in siti nei quali già risiede un biofilm microbico, e una modifica nelle condizioni ambientali, nel tipo di flora microbica, o nell'efficienza della risposta immune dell'ospite favoriscono l'avvento della patologia (3). Finché smalto e cemento sono intatti, la polpa e il canale radicolare rimangono protetti dall'invasione, ma la perdita di integrità di tali strutture a causa di carie, fratture o traumi apre una via per la penetrazione batterica attraverso i tubuli dentinali.

Tutti i batteri presenti nel cavo orale hanno lo stesso potenziale per invadere il canale radicolare; tuttavia, solo un piccolo gruppo di specie viene solitamente rilevato nei canali infetti (*Actinomyces israelii*, *Bacteroides fragilis*, *B. melaninogenicus*, *Campylobacter sputorum*, *Eubacterium alactolyticum*, *Fusobacterium fusiforme*, *Fusobacterium varium*, *Peptococcus morbulorum*, *Propionibacterium acnes*, *Veillonella parvula*) (3-5), anche se l'uso di moderne tecniche molecolari per identificare i microrganismi ha suggerito che la complessità della flora endodontica possa essere maggiore di quanto ritenuto in passato (6).

Le caratteristiche anatomiche dei denti favoriscono lo sviluppo di microflora anaerobica all'interno dei canali radicolari. In un ambiente chiuso il consumo di ossigeno e la produzione di anidride carbonica e idrogeno, insieme alla progressiva diminuzione del potenziale ossidoriduttivo, a causa dei microrganismi che per primi hanno invaso il canale, favoriscono la crescita selettiva di batteri anaerobi. I nutrienti possono derivare dal cavo orale, da tessuto connettivo in fase degenerativa, dal contenuto dei tubuli dentinali, o da fluido proveniente dai tessuti periapicali.

Il tipo di infezione e la quantità di nutrienti determinano il tipo di batteri e il loro volume nei canali radicolari.(7-9)

Nella fase iniziale di una infezione del canale radicolare il numero di specie batteriche è normalmente limitato. Se l'invasione avviene a causa della carie i batteri sul fronte iniziale del processo carioso sono i primi a raggiungere la polpa. Nei casi dove non c'è comunicazione apparente con il cavo orale e i batteri penetrano attraverso i tubuli dentinali, come nei traumi dentali senza esposizione della polpa, l'invasione batterica primaria non segue uno schema ricorrente (5).

Il tipo di ambiente e la disponibilità nutrizionale all'interno del canale radicolare regolano la dinamica della flora batterica, il tipo di batteri presenti dipenderà dallo stadio dell'infezione. Così ci sia una correlazione tra la dimensione della lesione periapicale e il numero di specie e cellule batteriche presenti nel canale radicolare.

Quando il processo patologico si diffonde, ben presto si sviluppa una forte associazione positiva tra un ristretto gruppo di microrganismi della flora orale dovuta al tipo di nutrienti presenti nell'ambiente.(8,10-12)

Nelle infezioni endodontiche i batteri formano il cosiddetto biofilm batterico. Crescono sotto forma di comunità tra loro interconnesse all'interno di una matrice extracellulare, non sono presenti come colonie separate. Nair descrisse l'aspetto di tali biofilm nel canale infetto come comunità aggregate con una struttura a palizzata (13). I batteri che crescono sotto forma di biofilm sono molto più resistenti all'azione antimicrobica rispetto ai batteri alle forme planctoniche (in sospensione) (14-16).

In generale si ritiene che la persistenza dell'infezione endodontica sia correlata a difficoltà incontrate durante il trattamento iniziale. Un insufficiente controllo della sterilità, un'imprecisa preparazione della cavità di accesso, la mancata identificazione di tutti i canali, una inadeguata strumentazione, e danneggiamenti a restauri temporanei o permanenti sono tutti esempi di difetti procedurali che possono causare persistenza della patologia endodontica [17].

La flora microbica ha una composizione diversa a seconda della patologia che colpisce il dente. Di solito nei canali di denti con patologia persistente si ritrovano solo una o poche specie batteriche: microrganismi Gram-positivi con eguale distribuzione di anaerobi facoltativi e obbligati (18-19). La microflora dei denti non trattati con un'infezione del canale radicolare differisce in maniera significativa, , che è polimicrobica con proporzioni simili di specie Gram-positive e Gram-negative, e predominanza di anaerobi obbligati. Anche se la microflora può essere diversa da un canale radicolare all'altro molti studi concordano che vi sia una elevata prevalenza di enterococchi e streptococchi (18-24). Altre specie che sono state rilevate in proporzioni notevoli in alcuni studi sono lactobacilli [18], Actinomiceti e peptostreptococchi (22), *Pseudoramibacter alactolyticus*, *Propionibacterium propionicum*, *Dialister pneumosintes*, *Filifactor alocis* (24) e *Candida albicans* (18-20, 22-24). Vi è differenza nella flora microbica campionata durante il ritrattamento, tra denti trattati in modo inadeguato e denti ben trattati. Nei primi, la flora è simile a quella delle infezioni polimicrobiche tipiche dei canali non trattati (19-25).

La prevalenza di enterococchi è stata rilevata in tutti gli studi che hanno investigato la flora dei canali trattati endodonticamente [18-25], con una sola eccezione [26], e questo implica che l' *Enterococcus faecalis* sia da considerarsi un patogeno opportunistico specifico della patologia periapicale persistente.

In un canale contaminato e non trattato, la flora microbica può trovare nutrienti sufficienti e variati. Di fronte nel canale ben trattato endodonticamente può andare incontro a carestia. Idealmente, dopo la rimozione della polpa necrotica e la disinfezione del canale radicolare, si creano condizioni non adatte all'esistenza della flora microbica. Tuttavia, la depressurizzazione canalare, o la penetrazione di sostanze nutritive attraverso la zona apicale, provoca una reinfezione del canale dentale.

In generale, i microbi coinvolti nelle infezioni persistenti adottano una delle seguenti tre strategie per sfuggire alla risposta immune (27):

Sequestro

- implica la formazione di una barriera fisica tra microbo e ospite

Evasione cellulare

- i microrganismi evitano i meccanismi difensivi leucocitari

Evasione umorale

- i batteri evitano il riconoscimento da parte di anticorpi e complemento dell'ospite

Almeno due di queste tre strategie sono adottate dai microrganismi coinvolti nella patologia endodontica persistente (28) . I microrganismi coinvolti nella patologia persistente devono possedere proprietà che consentano loro di entrare e stabilirsi nel canale, sopravvivere ai trattamenti antimicrobici e indurre o mantenere la parodontite apicale. Per esempio *A. israelii* è un patogeno endodontico che mostra evasione cellulare evitando la fagocitosi dei leucociti polimorfonucleati in vivo attraverso un meccanismo di coesione collettiva (29-32). Invece, *E. faecalis* e *Candida* possono rimanere sequestrati all'interno del sistema canalare.

La sopravvivenza dei batteri nel canale radicolare dopo il trattamento chimico e strumentale dipende dalla loro capacità di trincerarsi, e sopravvivere in assenza di sostanze nutritive. Come già menzionato, l' *E. faecalis* può tollerare lunghi periodi di inedia, progredendo fino allo stadio di cisti.(32-35)

La parodontite apicale è un processo dinamico che coinvolge l'interazione tra ospite e microrganismi viventi, in cui i batteri devono necessariamente disporre di substrati alimentari per la crescita.

Se i canali radicolari sono trattati e sigillati correttamente, non vi può essere alcun afflusso di sostanze nutritive dal cavo orale. Il nutrimento può venire solo da un trasudato di fluido periapicale, con composizione simile al siero. Alcuni microrganismi sono in grado di degradare il contenuto del siero e delle molecole del tessuto (es. collagene) coincide con l'abilità di evitare le difese dell'ospite e di indurre una risposta infiammatoria.³⁶ Tra le proprietà dell *E. faecalis* c'è la capacità di utilizzare il collagene contenuto nella dentina come nutriente.⁽³⁷⁻³⁸⁾

Sebbene la presenza di un'infezione nel canale radicolare al momento del trattamento non sia un fattore favorevole, non è sufficiente a causare la diffusione della malattia dopo il trattamento endodontico.

Sono richiesti i seguenti fattori di correlazione:

- capacità di sopravvivere al trattamento antimicrobico
- persistenza
- capacità di sopravvivere a periodi prolungati di inedia
- capacità di assumere sostanze nutritive dall'essudato periapicale
- posizionato vicino al forame apicale (o accessorio) per un migliore accesso ai nutrienti

ENDODONZIA

Secondo American Association of Endodontists, l'endodonzia è una «specialità» dell'odontoiatria che si occupa della morfologia, fisiologia e patologia della polpa dentale umana e dei tessuti periradicolari. Comprende non solo la normale biologia della polpa sana, ma anche, e soprattutto, l'eziologia, la diagnosi, la prevenzione ed il trattamento delle patologie pulpari e periapicali ad esse connesse.(1)

Gli scopi :

- diagnosi differenziale e trattamento dei dolori orali di origine pulpare e / o periradicolare
- terapia della polpa vitale , come incappucciamento pulpare e pulpotomie
- terapia canalare , come pulpectomia , trattamento non chirurgico dei sistemi dei canali radicolari con o senza patologia periradicolare di origine pulpare e otturazione di questi sistemi di canali radicolari
- rimozione chirurgica selettiva di tessuti patologici risultanti da patologia pulpare
- eimpianto intenzionale e reimpianto di denti avulsi .
- rimozione chirurgica di strutture dentali , come api cectomia , emisezione e amputazione radicolare
- impianti endodontici
- sbiancamento di denti discolorati
- ritrattamento di denti precedentemente trattati endodonticamente
- trattamenti riferiti a restauri coronali , intendendo preparazione di perni che interessano lo spazio del canale radicolare

Secondo Schilder, qualsiasi dente può essere trattato con successo endodonticamente. L'obiettivo finale del trattamento endodontico, indipendentemente dal modo in cui viene eseguito, è un'otturazione canalare di qualità e sigillata. Per impedire l'ingresso di qualsiasi sostanza nutritiva e, di conseguenza, per evitare la reinfezione dei canali radicolari.

Indicazioni e controindicazioni alla terapia endodontica

Tutti i denti possono essere trattati endodonticamente con successo, poiché, in teoria, non esistono controindicazioni alla terapia endodontica (i denti che siano parodontalmente sani). Così dopo prima, analisi unica vera controindicazione possa essere rappresentata dalla malattia parodontale grave. Secondo Weine 39 altre cause: l'incapacità del dentista ad eseguire accuratamente il lavoro necessario e l'impossibilità per paziente a sostenere le spese dell'intervento.

Vere controindicazione:

- Insufficiente supporto parodontale
- Insufficiente rapporto corona-radice
- Carie radicolare, carie della biforcazione
- Riassorbimento interno con perforazione
- Frattura verticale della radice 40

False controindicazioni:

- Presenza di strumenti rotti
- Presenza di calcificazioni

- Difficolta anatomiche
- Difficolta di ritrattamento
- Ampiezza delle lesioni

Vere indicazione:

- Età
- Condizioni generali di salute del paziente
- Gravidanza(almeno al secondo trimestre)

FASI DEL TRATTAMENTO ENDODONTICO



Diagnosi include:

Informazioni soggettive: anamnesi medica, anamnesi odontoiatrica.

Informazioni oggettive: ispezione, percussione, palpazione, esame radiografico, test di vitalità pulpare

Cavità di accesso

Il successo in ogni trattamento endodontico dipende principalmente da tre fattori:

- Detersione e sagomatura
- Disinfezione
- Otturazione tridimensionale del sistema dei canali radicolari

La preparazione della cavità di accesso è apertura della corona dentale che ci consentirà di localizzare i canali, detergerli, sagomarli, disinfettarli. La cavità d'accesso ha i seguenti requisiti: deve permettere la rimozione di tutto il contenuto della camera pulpare, permettere di vedere direttamente il pavimento della camera pulpare e degli imbocchi canalari, facilitare l'introduzione degli strumenti canalari negli imbocchi dei canali radicolari.

Detersione e sagomatura del sistema dei canali radicolari

Durante la sagomatura del sistema dei canali radicolari, dobbiamo effettuare una accurata detersione che elimini tutti i detriti organici, inorganici e tutti i microrganismi. (41,42)

Le soluzioni irriganti

Le soluzioni irriganti in Endodonzia devono rispondere a dei precisi requisiti:

- devono avere la proprietà di digerire le sostanze proteiche e quindi di sciogliere i tessuti necrotici

- devono avere una bassa tensione superficiale, per raggiungere il delta apicale e tutte le zone non raggiungibili dagli strumenti
- devono avere proprietà germicide e antibatteriche
- devono essere non tossiche e non irritanti per i tessuti periapicali
- devono mantenere sospesi i residui dentinali
- devono fornire una lubrificazione agli strumenti canalari
- devono prevenire il discolorimento del dente e anzi eventualmente schiarirlo
- devono essere relativamente innocue per il paziente e per l'operatore
- devono essere facilmente reperibili e poco costose.

La soluzione irrigante oggi universalmente più usata e che risponde più delle altre a tutti i requisiti sopra citati è l'ipoclorito di sodio (NaClO).⁽⁴³⁻⁴⁵⁾ La proprietà dell'ipoclorito di sodio di sciogliere le sostanze organiche e quindi di digerire i frammenti ed i residui di polpa. L'ipoclorito svolge la sua azione solvente sui tessuti necrotici e sui frammenti di tessuto che hanno perso il loro apporto sanguigno, mentre è inerme nei confronti dei tessuti vitali, irrorati.⁽⁴⁶⁾

Clorexidina

La clorexidina digluconato è un irrigante endodontico con buone capacità antibatteriche.⁽⁴⁷⁾ In endodonzia viene utilizzato in una concentrazione del 2%, ma nonostante il suo effetto antibatterico di lunga durata, non scioglie i residui organici nel canale radicolare e quindi non può essere un'alternativa completa all'ipoclorito di sodio, che ha questa proprietà. ⁽⁴⁸⁾

EDTA

L'uso delle soluzioni chelanti in Endodonzia è suggerito dalla capacità di queste sostanze di legarsi chimicamente allo ione Ca^{++} e quindi dalla possibilità di rimuovere lo smear layer . La sostanza più usata a questo scopo è l'acido etilendiaminotetracetico (EDTA).

EDTA può essere usato in canali stretti e tortuosi solo dopo che essi sono già stati completamente sondati : a questo punto il chelante facilita l'azione dello strumento nella rimozione di dentina attorno a sé . E invece non è utile nel caso di canali che risultino insondabili per presenza di calcificazioni o ostacoli di qual siasi altra natura e nel caso di presenza dell'ipoclorito di sodio.

Acido citrico

Tra le varie sostanze acide impiegate, l'acido citrico è quella che provoca un allargamento minore dei tubuli. Sia a concentrazioni del 10% che dell'1%, risulta più efficace come agente decalcificante rispetto all'EDTA al 17% (49)

Attualmente ci sono varie sostanze proposti come unico irrigante al termine delle manovre di detersione e sagomatura e prima dell'otturazione canalare. Queste soluzioni dovrebbero rimuovere lo smear layer e contemporaneamente disinfettare lo spazio endodontico. Questi includono BioPure MTAD (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK), Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milano, Italia), Qmix (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK).

Tecnica di irrigazione

Le siringhe utilizzate per l'irrigazione non dovrebbero avere capacità superiore a 5 mL affinché non venga esercitata un'eccessiva pressione durante i lavaggi ed evitando al contempo fuoriuscite accidentali di NaClO oltre apice. Gli aghi per irrigazione endodontica hanno un diametro ridotto: oggi si preferisce usare aghi 27 G (diametro 0,42 mm) o, meglio, aghi 30 G (diametro 0,31 mm). Per evitare la fuoriuscita del liquido, esistono differenti puntali da irrigazione. (50,51)

L' ago sottile viene inserito nel canale. Una volta che l'ago è stato introdotto nel canale lo si estrae leggermente in maniera da essere certi che non si impegni contro le pareti. Per ulteriore sicurezza, mentre si irriga si dà alla siringa un leggero movimento di va e vieni. La pressione di irrigazione deve essere minima ed il liquido deve fuoriuscire quasi passivamente.

Gli irriganti possono essere attivati nei seguenti modi:

- Riscaldamento
- Agitazione manuale
- Ultrasuoni
- Sistemi sonici
- Irrigazione a pressione negativo
- Sistemi combinati
- Fotoattivazione

Sagomatura

Durante la fase di detersione, grazie all'azione delle soluzioni irriganti e degli strumenti endodontici, vengono rimossi dal sistema dei canali radicolari i frammenti di tessuto pulpare, i microrganismi con le loro tossine e tutto il materiale infetto che in esso può essere contenuto. Gli strumenti danno al canale una forma tale, per cui lo spazio in esso ricavato può essere poi facilmente riempito nelle sue tre dimensioni.

I requisiti meccanici della sagomatura dei canali radicolari sono i seguenti:

- Sviluppare all' interno del canale una forma conica con affusolamento continuo
- Ottenere una preparazione in cui ogni diametro trasverso sia minore di quello immediatamente più coronale e maggiore di quello immediatamente più apicale
- Non si deve trasportare il forame apicale e mantenerlo il più piccolo possibile

Obbiettivi biologici della sagomatura dei canali radicolari:

- Contenere la strumentazione all'interno del canale.
- Non si deve spingere materiale necrotico fuori del forame
- Rimovere tutti i residui tissutali

- Completare la detersione e sagomatura dei canali in un'unica seduta
- Durante l'allargamento dei canali creare uno spazio sufficiente a contenere la formazione di un eventuale essudato

La preparazione della cavità endodontica

Schilder (52) nel 1974 è stato il primo che ha trattato in maniera dettagliata la preparazione della cavità endodontica. Egli ha individuato i seguenti obiettivi: detersione e sagomatura, lo sviluppo di una cavità uniformemente conica, preparazione step-back del sistema dei canali radicolari, di ricapitolazione e di precoce allargamento coronale. La tecnica descritta da Schilder prevedeva una strumentazione seriata con strumenti progressivamente di calibro crescente che lavoravano a distanza via via maggiore dall'apice in direzione coronale.

Poco dopo, nel 1975, Coffae e Brilliant 6 hanno confermato i principi proposti in precedenza da Schilder. Il loro studio ha dimostrato che un canale a forma di cono è il più efficace per rimuovere i detriti pulpari contaminati da organismi patologici dai canali. Per ottenere questo risultato, si consiglia di utilizzare la tecnica step-back. Nella sua ricerca, Weine ha constatato che l'uso di strumenti standardizzati può portare alla creazione di un canale di forma irregolare e al danneggiamento dell'apertura apicale. (54) Per risolvere questo problema è stato proposto il concetto del metodo anticurvatura, sottolineando l'importanza della rimozione di una cospicua quantità di struttura. E nel 1980 Weine, Abou-Rass hanno introdotto il concetto del metodo anticurvatura, sottolineando l'importanza della rimozione di una cospicua quantità di struttura dentale dalle pareti esterne della curva del canale radicolare e, in accordo con quanto descritto da Schilder, sottolinearono l'importanza dell'allargamento coronale precoce. E nello stesso anno, Marschall e Pappin hanno presentato (53) il metodo per la preparazione della cavità endodontica, chiamato tecnica "Crown-down".

Il successo in Endodonzia dipende dalla rimozione completa del contenuto del sistema dei canali radicolari, da un adeguata detersione e decontaminazione e

dall'otturazione tridimensionale di questo sistema. E questo crea requisiti corrispondenti per la preparazione della cavità endodontica:

Accesso completo

La cavità d'accesso deve consentire la visibilità completa della camera pulpare e fornire un accesso agevole al sistema dei canali radicolari a qualsiasi livello

Forma progressivamente ed uniformemente conica

Cio è importante nella rimozione dei detriti, facilita la rifinitura e l'irrigazione, previene il dislocamento del materiale da otturazione durante la fase di compattazione e fornisce ritenzione al suddetto materiale

Mantenimento dell'anatomia originale

La forma della cavità endodontica preparata è dettata dalla forma anatomica di ciascun dente

Conservazione della struttura dentale

La conservazione della struttura dentale fornisce resistenza contro le fratture e diminuisce l'incidenza delle perforazioni

Precurvatura degli strumenti

Tutti i canali radicolari sono curvi in misura variabile. Questo crea una serie di problemi durante la sagomatura di questi complessi spazi. Per conservare le curvature del sistema dei canali radicolari e per prendersi cura delle varie tortuosità di quell'anatomia, l'odontoiatra non solo deve adattare gli strumenti in maniera tale che essi duplichino l'originale anatomia di quel sistema, ma anche tener conto dei cambiamenti direzionali che avvengono quando gli strumenti vengono fatti lavorare.

Pertanto, è necessaria un'analisi approfondita dei dati clinici e radiologici per comprendere la forma del canale primario, che consentirà di adattare lo strumento endodontico alla curvatura del canale. Il grado e l'estensione della precurvatura in eccesso dipendono dalla curvatura del canale e dalla funzione di quello strumento.

Ricapitolazioni

Il termine ricapitolazioni è stato introdotto da Schilder(55) nel 1974 e descrive un concetto fondamentale nella fase di detersione e sagomatura. Con esso si intende una ripreparazione di quella porzione del sistema dei canali radicolari che è già stata precedentemente allargata durante la preparazione. Questo viene ottenuto usando strumenti che erano già stati introdotti in precedenza e che sono più piccoli di quelli utilizzati attualmente. Questo rientro o ricapitolazione libera il sistema dei canali radicolari dalla limatura dentinale che si accumula apicalmente quando si usano gli strumenti all'interno del canale ed assicura una forma uniformemente conica, cosa che rappresenta uno dei principali requisiti della detersione e sagomatura. La sequenza e la frequenza con cui ogni strumento viene usato in questa maniera dipende dalla complessità dell'anatomia di ciascun sistema dei canali radicolari. Solo un utilizzo continuo e diligente di questo concetto porterà ai risultati desiderati.

Tecnica

accesso completo privo di interferenze
forma uniformemente e progressivamente
conica
il mantenimento dell'anatomia originale
la conservazione della struttura dentale

Strategia

cavità d'accesso iniziale e detersione grossolana
allargamento preliminare o sgrossatura
stabilimento della beanza apicale e misurazione della lunghezza di lavoro
fase del raccordo
lisciatura e rifinitura apicale

Otturazione tridimensionale del sistema dei canali radicolari

La fase finale del trattamento endodontico è l'otturazione del canale radicolare. In questo modo si impedisce l'ingresso nel canale radicolare di sostanze che potrebbero fungere da substrato nutritivo per i microrganismi eventualmente rimasti nel canale. I due metodi di otturazione più diffusi sono la condensazione laterale e verticale con guttaperca.

Laser.

Un laser (dall'inglese Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) è un dispositivo che produce un fascio di luce coerente e concentrato attraverso il processo di emissione stimolata.

La storia dello sviluppo del laser inizia dagli studi di M. Planck, relativi alla fisica del corpo nero (1901), e da quelli teorici di A. Einstein (1916), sull'emissione stimolata delle radiazioni (studi compresi nella sua teoria quantistica dell'emissione e dell'assorbimento, per la quale ricevette il premio Nobel nel 1917).

I primi tentativi per realizzare un laser hanno avuto luogo nel 1954. Basov e Prokhorov (Lebedev Institute, Mosca) e indipendentemente Townes, Gordon e Zeiger (Columbia University, New York), riuscirono a realizzare i primi amplificatori per microonde basati sul processo di emissione stimolata, che furono chiamati MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Per queste ricerche Basov, Prokhorov e Townes ricevettero il Nobel per la Fisica nel 1964.

Il funzionamento del maser è simile a quello del laser: un mezzo attivo (come un gas o un cristallo) viene eccitato da una sorgente di energia e gli atomi o le molecole eccitati emettono onde elettromagnetiche coerenti attraverso il processo di emissione stimolata. L'ammoniaca è stata utilizzata come mezzo attivo per il maser. poche molecole eccitate venivano estratte elettrostaticamente da un fascio molecolare e accumulate all'interno di una cavità risonante. In questo modo, una diseccitazione spontanea emetteva radiazione che provocava la diseccitazione stimolata delle molecole vicine, innescando un processo a valanga che portava in brevissimo tempo alla diseccitazione globale del mezzo, con l'emissione di un intenso lampo di microonde praticamente monocromatiche.

Il Laser

La prima idea di laser fu pubblicata nel 1958 sulla rivista americana *Physical Review* in un articolo a firma di Townes e Schawlow. Tuttavia Maiman è considerato il padre ufficiale del laser per aver costruito il primo laser funzionante e dimostrato le sue capacità.

Il laser è stato inventato da Theodore H. Maiman nel 1960, mentre lavorava come ricercatore presso la Hughes Research Laboratories in California. Maiman costruì il primo laser funzionante utilizzando un cristallo di rubino come mezzo attivo e una lampada flash per fornire energia. Il suo lavoro è stato basato su una teoria proposta da Albert Einstein nel 1917 sulla possibilità di amplificare la luce attraverso l'emissione stimolata.

Il primo laser in grado di produrre una emissione continua di luce (anziché singoli impulsi) fu realizzato verso la fine del 1960 da Ali Javan, William Bennet e Donald Herriot. Hanno utilizzato una miscela di gas nobili (l'Elio e il Neon) come mezzo attivo. Il loro laser era significativamente diverso da quello proposto da Maiman. L'eccitazione del mezzo attivo, infatti, era realizzata mediante una scarica elettrica (anziché un lampo luminoso) e sfruttava un processo detto "trasferimento risonante di eccitazione" basato sul trasferimento di energia mediante urti fra molecole di tipo diverso. Questi livelli, infine, sono soggetti al fenomeno di eccitazione per emissione stimolata e conseguentemente generano un'emissione di radiazione coerente mediante decadimento su altri due livelli di energia inferiore.

Il diodo laser è un tipo di laser a semiconduttore, in cui il mezzo attivo è costituito da una giunzione p-n di un materiale semiconduttore, come il silicio o il gallio arsenide. Il funzionamento dei diodi laser è basato sul principio dell'emissione stimolata. All'interno del diodo, una corrente elettrica viene applicata attraverso la giunzione p-n, fornendo energia agli elettroni presenti nel materiale

semiconduttore. Gli elettroni eccitati salgono a livelli energetici superiori, dove possono rimanere per un breve periodo di tempo prima di rilasciare energia sotto forma di fotoni. Quando un fotone attraversa la giunzione p-n, può stimolare l'emissione di altri fotoni identici, creando una cascata di emissione stimolata che produce il fascio coerente del laser. La struttura fisica dei diodi laser è composta da un nucleo attivo, in cui si trova la giunzione p-n, e due zone terminali, una anodica e una catodica. Quando una corrente viene applicata al diodo, gli elettroni vengono spinti attraverso la giunzione p-n, creando un accumulo di carica negativa nella zona anodica e positiva nella zona catodica. Questo accumulo di carica crea un campo elettrico che aiuta a concentrare il fascio di luce prodotto all'interno del nucleo attivo.

Il laser è stato utilizzato per la prima volta in medicina negli anni '60, poco dopo la sua scoperta. La prima volta che è stato utilizzato nel 1961 da Charles Campbell e il suo team presso il Columbia Presbyterian Medical Center di New York per rimuovere una macchia sulla retina dell'occhio. Una delle prime applicazioni del laser in medicina è stata la fotocoagulazione, un processo in cui il laser viene utilizzato per bruciare selettivamente i tessuti danneggiati, senza danneggiare i tessuti circostanti. Questa tecnica è stata utilizzata per il trattamento di patologie come la retinopatia diabetica e la degenerazione maculare. Oggi, il laser viene utilizzato in medicina in molte altre applicazioni, come la chirurgia vascolare, la terapia fotodinamica per il trattamento del cancro, il trattamento delle cicatrici e la stimolazione della guarigione delle ferite. Il laser continua ad essere un importante strumento medico per molte procedure chirurgiche e terapie, grazie alla sua precisione e alla capacità di concentrare l'energia luminosa su aree specifiche del corpo.

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il funzionamento del laser si basa su due principi fondamentali della fisica: l'emissione stimolata e l'amplificazione ottica.

L'emissione stimolata si verifica quando un atomo o una molecola già eccitata a un livello energetico superiore assorbe un fotone di energia esattamente uguale alla differenza di energia tra lo stato eccitato e lo stato di rilassamento inferiore. Questo processo porta all'emissione di un fotone identico a quello assorbito, in fase e con la stessa direzione di propagazione. L'emissione stimolata è alla base della coerenza e della monochromaticità della luce emessa dal laser.

La coerenza è una caratteristica importante del laser che lo differenzia dalla luce ordinaria emessa da una sorgente come una lampadina o il sole. In generale, la coerenza si riferisce alla correlazione tra le onde luminose, ovvero la capacità di avere fasi ben definite e costanti rispetto a una sorgente di riferimento. Nel caso del laser, la coerenza è molto alta, il che significa che il fascio di luce emesso dal laser ha un'unica lunghezza d'onda e una fase ben definita e costante nel tempo. Il sistema di cavità ottica del laser serve a mantenere la coerenza della luce emessa, sfruttando la natura ondulatoria della luce per creare un'onda stazionaria all'interno della cavità.

Un processo importante è l'amplificazione ottica attraverso il quale un fascio di luce viene amplificato da un mezzo attivo, che può essere costituito da atomi, molecole o particelle subatomiche. Questo processo avviene in un dispositivo ottico chiamato amplificatore, che sfrutta la proprietà dell'emissione stimolata per aumentare il numero di fotoni nel fascio di luce che lo attraversa. L'amplificatore nel laser è costituito da un mezzo amplificatore, che può essere costituito da atomi, molecole o particelle subatomiche, e da un'energia esterna che eccita il mezzo amplificatore.

Quando il mezzo amplificatore viene eccitato, gli atomi o le molecole del mezzo vengono portati in uno stato di energia superiore. In seguito, l'emissione stimolata

provoca la generazione di fotoni identici in fase e direzione di propagazione a quelli che lo hanno eccitato, in modo da amplificare il fascio di luce che lo attraversa.

Il sistema di cavità ottica costituito da due specchi che riflettono la luce emessa all'interno della cavità stessa. Uno dei due specchi è parzialmente trasparente, permettendo al fascio di luce di uscire dalla cavità e formare il raggio laser. Il sistema di cavità ottica serve a mantenere la coerenza della luce emessa dal laser, sfruttando la natura ondulatoria della luce per creare un'onda stazionaria all'interno della cavità.

Uno degli aspetti più importanti del funzionamento del laser è il fenomeno dell'emissione stimolata. Esso consiste nell'emissione di fotoni coerenti e monocromatici da parte di un mezzo attivo, quando gli atomi di questo mezzo vengono eccitati da una fonte di energia.

Quando un atomo di un mezzo attivo viene eccitato dall'energia fornita da una sorgente esterna, come ad esempio una lampada al plasma o un'altra sorgente di luce, il suo elettrone si sposta da uno stato di energia più basso a uno stato di energia più alto. Quando questo elettrone torna al suo stato di energia originale, emette un fotone con un'energia pari alla differenza tra gli stati energetici in questione. Questo processo è chiamato emissione spontanea.

Nel caso della emissione stimolata, invece, un fotone esterno con l'energia corretta e la stessa direzione di propagazione dell'emissione spontanea incide sull'atomo eccitato. Questo fotone provoca l'emissione di un secondo fotone, identico al primo sia in termini di frequenza che di direzione di propagazione. In questo modo, due fotoni coerenti e monocromatici sono generati simultaneamente dal mezzo attivo, aumentando l'intensità della luce emessa.

Un altro fenomeno importante è l'assorbimento: che avviene quando una radiazione elettromagnetica, incidente sull'atomo allo stato fondamentale, lo porta al livello eccitato cedendogli energia. Nel funzionamento del laser, il fenomeno

dell'assorbimento dei fotoni domina il fenomeno dell'emissione stimolata. Per tale motivo bisogna procedere alla “inversione della popolazione”, si verifica quando il numero di atomi di un mezzo attivo che si trovano in uno stato di energia eccitato è maggiore del numero di atomi presenti nello stato di energia più basso, detto stato fondamentale. In condizioni normali, gli atomi di un mezzo attivo si trovano distribuiti in tutti gli stati energetici possibili, in proporzione alla loro energia. Quando un atomo viene eccitato, il suo elettrone si sposta in uno stato di energia più alto, lasciando uno spazio vuoto nello stato di energia più basso. Questo stato vuoto può essere riempito da un altro elettrone che si trova in uno stato energetico superiore, ma per far ciò, l'elettrone deve rilasciare energia sotto forma di un fotone. In un mezzo attivo, l'inversione di popolazione si ottiene quando la maggior parte degli atomi sono stati eccitati a uno stato energetico superiore e non hanno ancora rilasciato la loro energia sotto forma di fotoni. Questo significa che il numero di atomi nello stato eccitato è maggiore del numero di atomi nello stato fondamentale. Questo processo è fondamentale per avere una maggiore probabilità di emissione stimolata, ovvero per avere una maggior probabilità che un fotone incidente provochi l'emissione di un fotone identico.

La retroazione dei fotoni avviene in quella che è denominata “cavità risonante” del laser, costituita da un contenitore con pareti riflettenti e da una piccola uscita per l'estrazione mirata dei fotoni. La geometria e le dimensioni della scatola (interferometro di Fabry-Perot) sono fondamentali in quanto le onde riflesse si devono sommare in fase con l'onda incidente (il lato della scatola deve essere un multiplo esatto della lunghezza d'onda λ della radiazione). Da quanto detto si è detto è chiaro che il laser trasforma l'energia d'alimentazione in una forma specifica di radiazione elettromagnetica coerente, non necessariamente limitata al solo spettro del visibile. Lo spettro dei colori, dal viola al rosso, e quindi della luce visibile all'occhio umano, comprende lunghezze d'onda che vanno dai 400 ai 700 nm. Lunghezze d'onda inferiori ai 400 nm danno origine a quella parte dello spettro, “ultravioletto”, che si pone prima dei colori percepibili

dall'occhio umano; esse sono le radiazioni ionizzanti (raggi X) ed i raggi cosmici. Oltre il campo del visibile (lunghezze d'onda superiori ai 700 nm), vi è l'area degli "infrarossi", che si estende fino alle microonde e alle onde utilizzate per le telecomunicazioni (radiazioni non ionizzanti).

Parametri che caratterizzano e descrivono le radiazioni elettromagnetiche

Le radiazioni elettromagnetiche sono caratterizzate da alcuni parametri fondamentali che ne descrivono le proprietà fisiche.

Lunghezza d'onda (λ):

è la distanza tra due massimi consecutivi (o minimi) dell'onda elettromagnetica ed è espressa in metri o in altre unità di lunghezza come nanometri (nm) o micrometri (μm).

Frequenza (f):

è il numero di cicli di un'onda elettromagnetica che si verificano in un secondo ed è espressa in hertz (Hz), ovvero cicli al secondo.

Energia (E):

l'energia dell'onda elettromagnetica è proporzionale alla sua frequenza e inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda. L'energia è espressa in joule (J) o in altre unità di energia come elettronvolt (eV).

Intensità (I):

è la potenza per unità di superficie trasmessa dall'onda elettromagnetica e si misura in watt per metro quadrato (W/m^2).

Polarizzazione:

è la direzione e l'orientamento del campo elettrico dell'onda elettromagnetica. Le onde elettromagnetiche possono essere polarizzate linearmente, circolarmente o ellitticamente.

Velocità di propagazione:

la velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel vuoto è costante ed è pari a circa 299.792.458 metri al secondo (m/s)

Proprietà fondamentali della luce laser

1.Coerenza:

2.la luce laser è altamente coerente, il che significa che tutte le onde luminose si muovono in fase e con la stessa lunghezza d'onda. Ciò conferisce alla luce laser una direzionalità estremamente elevata e una capacità di formare immagini ad alta risoluzione.

1.Monocromaticità:

2. la luce laser ha una singola lunghezza d'onda, il che significa che è costituita da un solo colore. Questa proprietà è importante in molte applicazioni come la spettroscopia, l'analisi di materiali e la comunicazione ottica.

1.Elevata intensità:

2.la luce laser ha un'alta intensità, il che significa che è in grado di trasportare una grande quantità di energia in un'area ristretta. Ciò rende la luce laser utile in molte applicazioni come la chirurgia laser, la fabbricazione di microchip e la saldatura.

1.Direzionalità:

2. la luce laser ha una direzionalità estremamente elevata, il che significa che la sua emissione è altamente focalizzata in una direzione. Ciò rende la luce laser utile in molte applicazioni come la lettura e la scrittura di dischi ottici e la proiezione di immagini ad alta risoluzione.

1.Polarizzazione:

2. la luce laser può essere polarizzata, il che significa che il campo elettrico dell'onda luminosa si muove in una direzione specifica. Ciò rende la luce laser utile in molte applicazioni come l'analisi di materiali e la comunicazione ottica.

L'unico parametro che differenzia le radiazioni elettromagnetiche è rappresentato dalla lunghezza d'onda. Nel caso dell'emissione pulsata, la potenza media nell'unità di tempo (in Watt), si dovrà calcolare come il prodotto dell'energia totale veicolata in un singolo impulso (in Joule) moltiplicata per la frequenza d'emissione (in Hertz). Si può anche definire una potenza di picco, dividendo l'energia dell'impulso per la durata temporale dell'impulso stesso. Nei laser pulsati è molto importante la durata dell'impulso perché è inversamente proporzionale alla potenza di picco. L'uso del laser pulsato è associato alla necessità di evitare il

pericolo del danno termico, reso possibile dalla generazione di elevate temperature da parte del laser stesso e fonte di rischio nella pratica clinica. Il laser produce il suo effetto sulle cellule dei tessuti biologici quando l'energia emessa è assorbita dall'acqua contenuta nei tessuti stessi. Il rilascio dell'energia determina l'istantanea vaporizzazione dell'acqua all'interno delle cellule, generando vapore in pressione capace di distruggere le strutture ormai disidratate. L'effetto termico viene minimizzato utilizzando un laser in grado di emettere impulsi di breve durata e di elevata potenza di picco.

ELEMENTI COSTITUTIVI DEI SISTEMI LASER

I sistemi laser sono composti da diversi elementi che lavorano insieme per generare, amplificare e dirigere la luce laser. Gli elementi costitutivi tipici di un sistema laser includono:

- Mezzo attivo
- Cavità di risonanza (o cavità di risonanza ottica)
- Sistema di pompaggio (sorgente d'energia)

Mezzo attivo:

è il materiale che produce la luce laser. Esso può essere costituito da un gas, un liquido o un solido, a seconda del tipo di laser utilizzato.

Nel caso di un laser a gas, il mezzo attivo è costituito da un gas contenuto in una cella che viene eccitato da una sorgente esterna, come una lampada flash, un diodo pompa o un altro laser. I gas comunemente utilizzati includono l'elio-neon (HeNe), il diossido di carbonio (CO₂), l'argon (Ar) e il kripto (Kr).

Nel caso di un laser a stato solido, il mezzo attivo è costituito da un solido contenente ioni o atomi che vengono eccitati dalla sorgente di pompa. I materiali solidi utilizzati includono il rubino (ruby), il neodimio-dopato con ittrio, l'erbio-dopato con ittrio (Yb:Er) e l'erbio-dopato con ittrio e alluminio (Yb:YAG).

Nel caso di un laser a stato liquido, il mezzo attivo è costituito da una soluzione contenente una sostanza attiva che viene eccitata dalla sorgente di pompa. I liquidi comunemente utilizzati includono il colorante organico, il neodimio-dopato con ittrio e l'erbio-dopato con ittrio.

Laser allo stato solido

Un laser allo stato solido è un tipo di laser in cui il mezzo attivo è un solido cristallino contenente atomi o ioni che possono essere eccitati a un livello energetico superiore. Quando questi atomi o ioni tornano al loro stato di energia inferiore, emettono fotoni che vengono amplificati attraverso una cavità laser. Ha un'alta efficienza e stabilità di emissione, nonché un'ampia gamma di potenze di uscita e lunghezze d'onda. Il mezzo attivo può essere costituito da diversi tipi di materiali, come il rubino (ruby), il neodimio-dopato con ittrio (Nd:YAG), l'erbio-dopato con ittrio (Er:YAG) e il titanio-dopato con zaffiro (Ti:sapphire). Il meccanismo di eccitazione del mezzo attivo può variare, ma di solito viene utilizzata una sorgente di pompa, come un flash lamp o un diodo laser, per fornire l'energia necessaria per eccitare gli atomi o gli ioni nel mezzo attivo.

Laser allo stato liquido

Il liquido utilizzato come mezzo attivo può essere costituito da diversi tipi di solventi, tra cui acqua, etanolo e acetone, contenenti uno o più coloranti. Il mezzo attivo può essere costituito da soluzioni diluite di coloranti organici, come la rodamina 6G, la rodamina B, la fluoresceina o la rodamina 640, o da ioni di metalli inorganici, come il cromo, il titanio o il neodimio. I laser allo stato liquido sono stati utilizzati in molte applicazioni, tra cui la medicina, la spettroscopia, la ricerca scientifica e l'industria. Possono essere progettati per emettere luce in diverse lunghezze d'onda, dalle UV al vicino infrarosso, a seconda del colorante utilizzato come mezzo attivo.

Laser allo stato gassoso

È un tipo di laser in cui il mezzo attivo è un gas. I gas più comuni utilizzati nei laser allo stato gassoso sono l'elio, il neon, l'argon, il kripto, il xeno e il biossido di carbonio. Il principio di funzionamento: gli atomi o le molecole del gas vengono eccitati da una sorgente di energia esterna, come una scarica elettrica o una lampada a flash. Quando questi atomi o molecole tornano al loro stato di energia inferiore, emettono fotoni che vengono amplificati attraverso una cavità laser. A seconda del gas utilizzato come mezzo attivo, un laser allo stato gassoso può emettere luce in una vasta gamma di lunghezze d'onda, dal vicino infrarosso all'UV. Ad esempio, un laser al biossido di carbonio può emettere luce infrarossa a 10,6 micron, mentre un laser all'argon-ionico può emettere luce nel blu-verde a 488 nm.

Laser a semiconduttori o a Diodi

Sono un tipo di laser che utilizza una giunzione PN di un materiale semiconduttore come mezzo attivo. La giunzione PN viene alimentata da una corrente elettrica che inietta elettroni e lacune nella zona di transizione della giunzione. Quando gli elettroni si ricombinano con le lacune, rilasciano energia sotto forma di fotoni coerenti, generando la luce laser. I laser a semiconduttori sono molto compatti e convenienti perché possono essere integrati su un chip di silicio. Sono anche molto efficienti dal punto di vista energetico, richiedendo solo una bassa potenza di alimentazione rispetto ad altri tipi di laser. I laser a semiconduttori sono utilizzati in molte applicazioni, tra cui la comunicazione ottica, la lettura dei codici a barre, la lettura dei dischi ottici, la chirurgia oftalmica e la ricerca scientifica.

La cavità di risonanza ottica

È un elemento fondamentale dei sistemi laser. Essa è costituita da due specchi posti ai lati opposti di un mezzo attivo che è in grado di emettere luce coerente.

Questa cavità è progettata per permettere alla luce di rimanere intrappolata all'interno della cavità e interagire ripetutamente con il mezzo attivo, amplificandosi ogni volta che passa attraverso il mezzo attivo. I due specchi della cavità sono progettati in modo da riflettere quasi tutta la luce che li colpisce, creando una serie di riflessioni multiple all'interno della cavità. Queste riflessioni multiple permettono alla luce di interagire con il mezzo attivo più volte, aumentando l'amplificazione della luce coerente.

La lunghezza della cavità di risonanza ottica determina la lunghezza d'onda della luce laser emessa. Quando la luce attraversa il mezzo attivo, viene amplificata e riflessa dai due specchi. La luce che è in fase con se stessa, ossia che ha la stessa lunghezza d'onda, viene riflessa indietro nella cavità, amplificandosi ancora di più. Questa amplificazione continua crea un'onda stazionaria di luce all'interno della cavità, che si propaga avanti e indietro tra i due specchi. Inoltre, la forma dei due specchi può essere progettata in modo da limitare la modalità di risonanza a una o poche frequenze specifiche, creando un laser che emette luce a una specifica lunghezza d'onda. Questa proprietà è chiamata selezione modale e permette di ottenere luce laser altamente coerente e monocromatica.

Modalità di emissione della luce laser

Le modalità di emissione della luce laser sono assai varie e si differenziano in base all'utilizzo a cui è destinato l'apparecchio stesso. Nell'odontoiatria sono impiegate praticamente tutte le forme d'emissione, comprendendo quella "continua", "pulsata" e "superpulsata".

Modalità continua

La luce laser viene emessa in modo continuo, senza interruzioni. La potenza di uscita del laser rimane costante nel tempo, anche se può variare leggermente a seconda delle fluttuazioni di temperatura o di altri fattori ambientali

Modalità pulsata

La luce laser viene emessa sotto forma di impulsi brevi e ripetitivi, con una frequenza che può variare da pochi Hertz a diverse decine di kHz. Ogni impulso ha una durata molto breve, tipicamente nell'ordine dei nanosecondi o dei picosecondi. La potenza di picco di ogni impulso può essere molto elevata, anche se la potenza media totale del laser è relativamente bassa.

Modalità superpulsata

Questa modalità combina gli aspetti delle due modalità precedenti, emettendo impulsi laser ad alta energia a una frequenza molto elevata, tipicamente nell'ordine dei GHz. In questa modalità, la potenza di picco di ogni impulso può raggiungere livelli estremamente elevati, mentre la potenza media totale del laser è relativamente bassa

Sistemi di conduzione della luce laser

I sistemi di conduzione della luce laser sono necessari per trasportare il fascio di luce laser dal dispositivo di generazione alla zona in cui deve essere utilizzato. Ci sono diversi tipi di sistemi di conduzione della luce laser, tra cui:

Fibre ottiche:

sono tubi sottili e flessibili fatti di vetro o di materiali plastici che consentono la trasmissione della luce laser a lunghe distanze. La luce viene riflessa all'interno della fibra grazie all'effetto di riflessione totale, garantendo che il fascio rimanga concentrato e coerente

Mirrors:

i mirroring riflettono la luce laser, indirizzandola in una determinata direzione. Sono utilizzati per deviare il fascio laser in una specifica zona di lavoro, oppure per creare una cavità di risonanza ottica all'interno di un laser

Lenti:

le lenti sono utilizzate per focalizzare il fascio laser e per modificarne la sua forma e dimensione. Possono essere utilizzate per concentrare la luce in un punto preciso, o per espandere il fascio laser

Beam splitters

i beam splitter sono dispositivi ottici che dividono il fascio laser in due o più parti uguali. Sono utilizzati per applicazioni come l'interferometria o la microscopia confocale

Prisms:

i prismi sono utilizzati per deviare il fascio laser in una determinata direzione, o per separare la luce in diverse lunghezze d'onda.

La scelta del sistema di conduzione della luce laser dipende dall'applicazione specifica e dalla distanza che deve essere coperta. Le fibre ottiche sono spesso utilizzate in applicazioni mediche, in quanto consentono la trasmissione della luce laser attraverso il corpo umano senza causare danni.

Le fibre ottiche sono sottili fili di vetro o plastica utilizzati per la trasmissione di segnali luminosi. Una singola fibra ottica è costituita da tre parti principali: il nucleo, il rivestimento e lo strato di guaina.

Il nucleo è la parte centrale della fibra ottica, attraverso cui la luce viene trasmessa. È costituito da un materiale con un alto indice di rifrazione, generalmente vetro o plastica.

Il rivestimento, o cladding, circonda il nucleo ed è costituito da un materiale con un indice di rifrazione più basso rispetto al nucleo. Il rivestimento serve a riflettere la luce all'interno del nucleo attraverso l'effetto di riflessione totale.

Lo strato di guaina, o jacket, è l'esterno della fibra e serve a proteggere il nucleo e il rivestimento. È solitamente costituito da un materiale resistente agli agenti esterni come l'acqua, la polvere e la luce solare.

La dimensione del nucleo e del rivestimento varia a seconda dell'applicazione. Le fibre ottiche utilizzate per la trasmissione di segnali luminosi ad alta velocità, come quelle utilizzate nelle reti di comunicazione a fibra ottica, hanno un nucleo molto piccolo (circa 9 micron) e un rivestimento sottile (circa 125 micron). Le fibre ottiche utilizzate in ambito medico e industriale hanno invece un nucleo più grande e un rivestimento più spesso per resistere a urti e sollecitazioni meccaniche

La luce viene trasmessa all'interno della fibra grazie all'effetto di riflessione totale, che avviene quando la luce colpisce l'interfaccia tra due materiali con diversi indici di rifrazione sotto un angolo maggiore dell'angolo limite. Nel caso specifico del laser, le fibre ottiche possono essere utilizzate per la trasmissione del fascio laser da una sorgente a un punto di applicazione. In particolare, le fibre ottiche sono spesso utilizzate in applicazioni mediche, in quanto consentono di trasmettere il fascio laser attraverso il corpo umano senza causare danni alle cellule o ai tessuti circostanti.

INTERAZIONI ED EFFETTI DELLA RADIAZIONE LASER SUI TESSUTI

Il meccanismo veramente condizionante è costituito dalle proprietà ottiche del bersaglio rapportate alla lunghezza d'onda del raggio incidente. Perciò il raggio laser può essere soggetto, in gradi differenti, a fenomeni di assorbimento, riflessione, diffusione, rifrazione e trasmissione.

- **Assorbimento:** Quando la luce laser colpisce un materiale, può essere assorbita dalle molecole del materiale stesso. L'energia assorbita può

provocare un aumento della temperatura del materiale e in alcuni casi anche la fotodegradazione.

- **Riflessione:** Quando la luce laser colpisce una superficie, una parte della luce viene riflessa in modo simile alla riflessione di una luce su uno specchio. La quantità di luce riflessa dipende dall'angolo di incidenza e dalle proprietà ottiche della superficie.
- **Diffusione:** La diffusione si riferisce alla deviazione della luce laser dalla sua direzione originale quando la luce attraversa un materiale non omogeneo o una superficie ruvida. Questo effetto può essere sfruttato per creare effetti estetici come il trattamento delle rughe o per la rimozione di cicatrici.
- **Rifrazione:** La rifrazione si verifica quando la luce laser attraversa un materiale con un indice di rifrazione diverso rispetto al suo ambiente circostante. L'angolo di rifrazione dipende dall'angolo di incidenza e dai due indici di rifrazione.
- **Trasmissione:** La trasmissione si riferisce alla luce che attraversa un materiale senza essere assorbita, riflessa o diffusa. La quantità di luce trasmessa dipende dalle proprietà ottiche del materiale attraverso cui la luce passa.

Tutti questi fenomeni possono influenzare l'interazione della luce laser con i tessuti biologici e vengono considerati quando si utilizzano i laser in ambito medico e estetico.

Effetti Biologici dei laser

Nel caso dei tessuti biologici l'energia del laser verrà assorbita dai tessuti e convertita in calore. A seconda dei diversi parametri l'energia potrà determinare riscaldamento, coagulazione, asportazione ed incisione del tessuto tramite la sua vaporizzazione. Tali parametri comprendono: la lunghezza d'onda della luce emessa, la potenza, la modalità di emissione della luce laser, la durata della pulsazione, il rapporto energia/pulsazione, la densità dell'energia, la durata

d'esposizione, il picco di potenza della pulsazione, l'angolazione della punta sulla superficie e le proprietà ottiche del tessuto.

L'effetto fototermico si verifica quando il fascio laser colpisce un tessuto biologico e viene assorbito dalle molecole di acqua e di altre sostanze presenti nel tessuto.

L'energia del laser viene quindi convertita in calore, che può provocare danni termici ai tessuti fino alla necrosi cellulare e al fenomeno della vaporizzazione tessutale. Una temperatura di 40-42 gradi provoca un'iperemia reversibile, mentre una temperatura di 500 gradi causa la vaporizzazione dei tessuti solidi.

Effetto fotoplasmatico / fotodistruttivo

L'effetto laser fotoplasmatico o fotodistruttivo sui tessuti biologici avviene quando la luce laser ad alta energia interagisce con i tessuti e provoca la distruzione delle cellule attraverso il riscaldamento e la vaporizzazione istantanea dell'acqua all'interno delle cellule. Questo effetto è utilizzato in chirurgia laser per rimuovere tessuti indesiderati, come verruche, tatuaggi e lesioni della pelle. La luce laser ad alta energia viene assorbita dalle molecole di acqua presenti nei tessuti biologici, che si surriscaldano rapidamente e provocano l'espansione del volume intracellulare fino alla vaporizzazione istantanea dell'acqua stessa. Questo processo, chiamato fotovaporizzazione, genera una forte onda d'urto che può distruggere le cellule circostanti.

Effetto fotochimico

L'effetto laser fotochimico sui tessuti biologici si riferisce alla capacità del laser di indurre reazioni chimiche specifiche all'interno delle cellule o dei tessuti. Questo effetto dipende dalle proprietà ottiche del tessuto e dalle proprietà del laser utilizzato. In questo caso i fotoni si comportano come reagenti chimici che, assorbiti dagli svariati tipi di cromofori, partecipano a una reazione stechiometrica

con eccitazione di una particolare molecola (per esempio, emoglobina, melanina, etc.) con effetti differenti a seconda della natura delle molecole. Il risultato finale è riassumibile in un'ablazione dei tessuti, derivante dalla rottura diretta dei legami intercellulari prodotta dalla ionizzazione d'atomi e molecole.

LASER IN ODONTOIATRIA

Il laser trova molte applicazioni in odontoiatria grazie alle sue proprietà di taglio, ablazione, coagulazione, e terapia antimicrobica. Utilizzando correttamente le proprietà del laser, è possibile esporre i tessuti a diversi gradi di esposizione.

Usando una combinazione lunghezza d'onda, del suo impulso e della sua potenza il laser, infatti, può avere effetti ablativi più o meno profondi, effetti fotochimici, fototermici e fotobiomodulanti a seconda del tessuto bersaglio irradiato dalla luce.

I laser vengono utilizzati in odontoiatria per le seguenti procedure:

- **Trattamento delle carie:** il laser può essere utilizzato per rimuovere le carie dal dente e preparare il dente per una ricostruzione
- **Parodontologia:** il laser viene utilizzato per rimuovere il tessuto infiammato o danneggiato attorno ai denti, aiutando a ridurre l'infiammazione e promuovendo la guarigione.
- **Chirurgia orale:** il laser può essere utilizzato per effettuare incisioni e tagli precisi durante la chirurgia orale, riducendo al minimo il sanguinamento e il dolore post-operatorio.
- **Terapia antimicrobica:** il laser viene utilizzato per eliminare i batteri presenti nelle tasche parodontali e canali radicolari e per il trattamento dell'herpes labiale e dell'afte.

- **Biomodulazione:** la luce laser a basse potenze può velocizzare i processi di guarigione, ridurre l'inflammazione e il dolore

UTILIZZO DELLA LUCE LASER IN ENDODONZIA

L'utilizzo di un'energia fotonica (laser) che possa aiutare a decontaminare efficacemente il sistema dei canali radicolari si è iniziata a investigare dal 1970. Solo l'introduzione di fibre ottiche sottili e flessibili ha reso però possibile un'efficace penetrazione della luce nel terzo apicale. Da un punto di vista clinico possiamo utilizzare differenti lunghezze d'onda con finalità diverse:

- 1) terapia Fotodinamica
- 2) decontaminazione con Nd:Yag e Diodi
- 3) laser a Erblio - Laser Activated Irrigation (Lai), Pips (Photon Initiated Photoacoustic Streaming) e Sweeps.
- 4) biomodulazione

1. Terapia Fotodinamica

Il concetto di terapia fotodinamica è basato sull'utilizzo di coloranti che possano legarsi a batteri e, una volta attivati dalla luce laser, possano liberare ossigeno nascente che determini l'eliminazione dei batteri stessi. In endodonzia il principio e i parametri di utilizzo sono simili a quelli in uso in parodontologia: un cromoforo esogeno (blu di metilene o verde indocianina) viene inserito nel canale con una normale siringa da irrigazione e si lega alla parete batterica. Il laser di opportuna lunghezza d'onda (635-660 nm per il blu di metilene e 810 nm per il verde indocianina) interagisce con il cromoforo che libera ROS (radicali liberi dell'ossigeno) che hanno azione citotossica sulla parete batterica, causandone la

distruzione. Una recente revisione (56) della letteratura ha preso in considerazione più di trecento articoli internazionali, dimostrando che la combinazione di terapia fotodinamica (aPDT) e irriganti può portare a un effetto sinergico, azzerando il rischio di danno termico alle pareti dentinali in virtù delle basse potenze utilizzate, ma la mancanza di standardizzazione nei protocolli e discrepanze nella metodologia dei vari studi non consentono di avallare pienamente la metodica.

2. Decontaminazione con Nd:Yag e Diodi.

Le lunghezze d'onda che operano nel near infraed possono efficacemente implementare la decontaminazione del sistema dei canali radicolari. I tre possibili meccanismi descritti in letteratura di interazione tra i batteri e le lunghezze d'onda citate sono (57):

- assorbimento diretto di calore nei batteri
- riscaldamento del substrato nel quale si trovano i batteri
- effetto fototermico

In una interessante revisione della letteratura Saydjari e collaboratori (58) hanno chiarito che:

a) sia il laser Nd:Yag sia i diodi hanno una ottima penetrazione nei tubuli dentinali e negli strati profondi della dentina rispettivamente di 1 mm per Nd:Yag e di 750 micron per i diodi (range 810-980 nm) (59) (Fig. 1).

b) Potenze controllate evitano danni termici, che invece avvengono se si superano parametri di sicurezza. Una potenza di 1,5 W con 15 pps per il Nd:Yag, 2,5 W in modalità pulsata 10 ms t-on e 10 ms t-off per il diodo 810 nm e 1,5 W sempre in modalità pulsata per il diodo 940 e 980 nm sono efficaci per la decontaminazione e minimizzano il danno termico sulle pareti dentinali.

c) La riduzione della carica batterica è maggiore per i batteri gram-, mentre i batteri gram+ sono più resistenti (es E. Faecalis).

Nel 2008 (60) è stato pubblicato un articolo che chiarisce che i laser sono un ausilio per la decontaminazione del sistema dei canali radicolari che si aggiunge al trattamento convenzionale eseguito secondo lo stato dell'arte. In endodonzia non esistono sconti. Rimangono quindi inalterate le fasi convenzionali di apertura di cavità, isolamento del campo operatorio con diga di gomma, reperimento degli imbocchi canalari, sagomatura con strumenti manuali o rotanti, detersione canalare con ipoclorito e rimozione del fango dentinale con EDTA al 17% o con acido citrico al 10%. Cercare di "saltare passaggi" affidandosi unicamente alla decontaminazione laser risulterà fallimentare (61).

Decontaminazione con near infrared laser: protocollo clinico.

La decontaminazione canalare laser-assistita eseguita con laser near infrared richiede che i canali vengano preparati in maniera tradizionale con preparazione apicale con strumenti ISO 25/30. L'irradiazione viene eseguita come passaggio finale per decontaminare il sistema endodontico prima dell'otturazione. Si utilizza una fibra ottica di 200 micron che corrisponde a un diametro ISO 20 per non avere contatto della fibra all'interno del canale. La fibra non attivata è inserita a 1 mm dalla lunghezza di lavoro. Per inserire la fibra alla lunghezza desiderata si può marcare con un pennarello scuro la fibra a livello coronale (come facciamo con gli stop in gomma per regolare la lunghezza dei file). A questo punto il laser viene azionato e la fibra viene retratta in direzione apico-coronale, con movimento rettilineo in direzione apico-coronale per 5-10 secondi, avendo cura di non indugiare all'apice per più di 1 secondo. In passato si eseguivano movimenti a spirale, ma studi hanno dimostrato che i tubuli dentinali agiscono come piccole fibre ottiche e il movimento rettilineo è ugualmente efficace, minimizzando il rischio di entrare in contatto con le pareti canalari (62). I parametri di utilizzo del laser a diodi 810 nm sono: 2,5W di potenza in modalità pulsate con 10 ms di azione e 10 ms di pausa. Per il diodo 980 nm e 940 nm le potenze vanno ridotte a 1,5 W sempre in modalità pulsata. Per il laser Nd:YAG i parametri sono: 1,5 W di

potenza e 15 Hz di frequenza. Dopo aver eseguito per tre volte la decontaminazione con il canale "in bagno" di ipoclorito, si irriga con acido citrico al 10% o EDTA al 17% e si esegue nuovamente la decontaminazione laser. Al lavaggio di EDTA ne segue un'ulteriore di ipoclorito e un successivo passaggio per tre volte con laser alle potenze e secondo i tempi precedentemente descritti.

In totale nove passaggi del laser (tre volte con ipoclorito, tre volte con EDTA, tre volte con ipoclorito). Seguono le fasi di asciugatura del canale e di otturazione tridimensionale.

3. Laser a Erblio

I laser Erbium (2.780 nm e 2.940 nm) appartengono alla regione del "medium infrared". La loro lunghezza d'onda non riesce ad arrivare in profondità e, nelle pareti dentinali, la profondità di azione è intorno ai 300 micron (59). Come per i laser diodici la preparazione canalare è affidata a strumenti tradizionali meccanici o manuali fino a in diametro apicale ISO 25-30 e le fibre sottili dell'erbio vengono posizionate a un millimetro dalla lunghezza di lavoro e retratte in direzione apico-coronale per 5-10 secondi a seconda dei protocolli, alternando l'irradiazione all'irrigazione con i comuni irriganti canalari, eseguendo la procedura in un canale sempre bagnato (ipoclorito di sodio e/o EDTA); lo spray integrato va mantenuto chiuso. I parametri ad oggi accettati e utilizzati per i laser Er:YAG sono: potenza 1,125 W, energia 75 mJ e frequenza 15 Hz; mentre per i laser Er,Cr:YSGG sono: potenza 1,5 W, energia 75 mJ, frequenza 20 Hz.

Le fibre possono essere tradizionali o end firing a emissione laterale (63).

Questa tecnica risulta oggi superata rispetto alla più efficace tecnica PIPS o SWEEPS.

Tecnica PIPS o SWEEPS.

Intorno al 2010 è stata introdotta dal Dottor Enrico Di Vito e perfezionata dal Dottor Giovanni Olivi per i laser Er:YAG una nuova metodica chiamata **Photon Initiated Photoacoustic Streaming (PIPS)**, che prevede l'utilizzo del laser Erbium e della sua interazione con le soluzioni irriganti 17% EDTA e 5% NaOC (64). L'uso di energie sub-ablative (20 mJ) applicate con impulsi molto brevi di 50 usec producono una potenza di picco molto elevata (400 W) che causa fenomeni di implosione-esplosione della soluzione irrigante, generando un effetto fotoacustico con un flusso tridimensionale di irrigante all'interno del sistema dei canali radicolari, in assenza di effetti termici indesiderati (65). Il laser non è quindi usato direttamente per "decontaminare", ma l'interazione avviene tra laser e irrigante ed è l'irrigante "attivato" a espletare l'azione decontaminante. Altra peculiarità della tecnica è che la fibra non deve essere portata a un millimetro dalla lunghezza di lavoro, ma si lascia in camera pulpare all'imbocco dei canali radicolari. La tecnica PIPS utilizza i seguenti parametri: energia 20 mJ, 15 pps, con impulso di 50 microsecondi e la specifica punta da 600 micron (a emissione laterale, privata della guaina esterna negli ultimi 4 mm) (Fig. 15). Un recente studio (66) ha così modificato il protocollo operativo: irrigazione/irradiazione con ipoclorito di sodio al 5% con tecnica PIPS, per 20 secondi, seguito da irrigazione/irradiazione con EDTA al 17% per 20 secondi per rimuovere lo smear layer e aprire i tubuli dentinali, seguito da una irrigazione di ipoclorito sempre al 5% con tre cicli di attivazione laser. Il canale subisce un lavaggio finale di acqua distillata per inattivare l'ipoclorito e si procede alla fase di otturazione canalare.

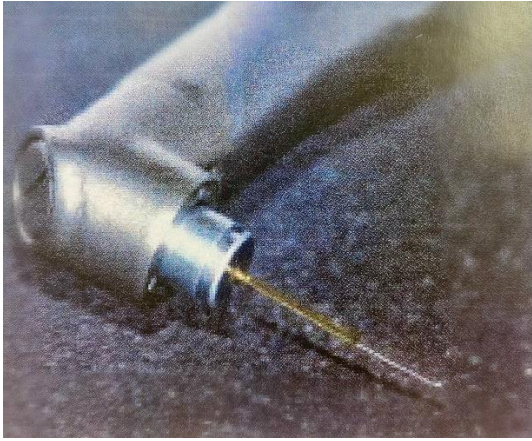


Fig. 15

La specifica punta da 600 micron usata nella tecnica PIPS.

Questa tecnica si è dimostrata valida nell'eliminare biofilm di *E. Faecalis* dal sistema dei canali radicolari (66).

Una evoluzione della tecnica PIPS è la **SWEEPS (Shock Wave Enhanced Emission Photo-acoustic Streaming)** che consiste nel generare una serie di impulsi che amplificano ulteriormente il movimento degli irriganti anche nei canali laterali più stretti (67).

Questa tecnica, di recente introduzione, sembra essere promettente e, nelle pemesse, porterebbe a una riduzione del rischio di estrusione apicale di irrigante (68).

Materiali e Metodi e RISULTATI.

Al fine di valutare anche da un punto di vista clinico le metodiche descritte presentiamo ora tre casi clinici eseguiti con le varie lunghezze d'onda e tecniche in uso.

CASO CLINICO 1.

Il paziente presenta un'estesa lesione apicale in sede 46 causata da un trattamento endodontico incongruo con interessamento della forcazione (Fig. 1).

Il trattamento endodontico viene eseguito in modo convenzionale con apertura della camera pulpare, rifinitura della cavità d'accesso con strumenti ultrasonici,

localizzazione degli imbocchi canalari e misurazione della lunghezza di lavoro (Fig. 2).

La sagomatura viene eseguita con strumenti rotanti fino a un diametro apicale di ISO 25, alternando lavaggi di ipoclorito e di EDTA al 17%.

Non presentando curvature eccessive che possono ostacolare il decorso della fibra, si decide di effettuare la decontaminazione finale con laser a diodi 980 nm (Wiser 2-Doctor Smile-Brendola-Italia) con fibra ottica di 200 micron, posta a un millimetro dalla lunghezza di lavoro e, una volta azionato il laser a potenza di 1,5 W in modalità pulsata con 10 ms t-on e 10 ms t-off, si retrae da apicale verso coronale per 5 secondi, avendo cura di non indugiare per più di un secondo all'apice. Il timer integrato nel dispositivo permette di rispettare i tempi e, dopo 5 secondi, il laser, automaticamente, si spegne. Il procedimento viene eseguito 3 volte, mantenendo il canale "in bagno" di ipoclorito al 5%. Segue un lavaggio con EDTA liquido al 17% e tre passaggi di laser. Ultimo lavaggio di ipoclorito al 5% e decontaminazione finale con laser a diodi. Seguono le fasi di asciugatura e di otturazione tridimensionale del sistema dei canali radicolari (Fig. 3). Il controllo a due anni (Fig. 4) mostra un'eccellente guarigione in totale assenza di sintomatologia clinica.



Fig. 1

Lesione apicale in sede 46.



Fig.2

Misurazione lunghezza di lavoro



Fig.3

Otturazione canalare appena eseguita.



Fig. 4

Controllo a due anni.

CASO CLINICO 2.

La paziente lamenta la presenza di due fistole su 15 e 17 (Fig. 1, 2.) La fistolografia evidenzia la chiara origine endodontica della patologia (Fig. 3,4).

Le fasi del trattamento endodontico sono quelle previste dall'endodonzia convenzionale (Fig. 5). Come è stato ampiamente spiegato in questa tesi i laser sono un ausilio nella decontaminazione canalare, che si aggiunge alla terapia convenzionale.

In questo caso la decontaminazione è stata eseguita con laser diodico 810 nm (Wiser 3-Doctor Smile-Brendola-Italia) con potenza 2,5 W in modalità pulsata 10 ms t-on e 10 ms t-off seguendo il protocollo precedentemente descritto.

L'otturazione canalare avviene in prima seduta solo se è possibile asciugare completamente il canale. Se non si riesce ad asciugare completamente il canale è preferibile rimandare l'otturazione a una seduta successiva ed utilizzare una medicazione intermedia.

Dopo aver eseguito l'otturazione canalare del 15 (Fig. 6) si procede al ritrattamento del 17 seguendo le stesse procedure adottate per il trattamento del 15 e con decontaminazione eseguita con laser a diodi 810 nm. L'otturazione tridimensionale è eseguita nella stessa seduta (Fig. 7). Il controllo a pochi mesi (7 per il 17 e 9 per il 15) evidenzia una buona guarigione dei tessuti, in assenza di sintomatologia clinica (Fig. 8).



Fig. 1

Fistole in sede 1.5 e 1.7

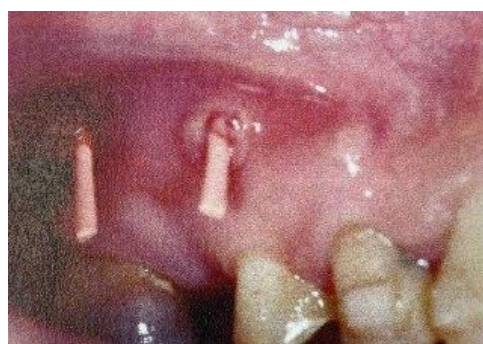


Fig 2

Fistolografia



Fig. 3
Rx che evidenzia l'origine endodontica del problema



Fig. 4
Rx preoperatoria.

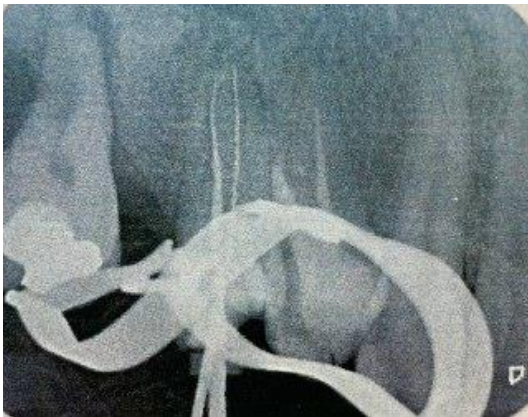


Fig. 5
Rx con misurazione lunghezza di lavoro su 15



Fig. 6
Rx post operatoria del 15



Fig. 7
Rx post operatoria di 15 e 17



Fig. 8
Rx di controllo e guarigione a 7 e 9 mesi

CASO CLINICO 3.

La paziente si presenta in studio lamentando dolore a un secondo molare mandibolare sinistro. All'esame obiettivo si evidenzia un'incrinatura che coinvolge la cresta marginale distale (Fig. 1).

La radiografia periapicale preoperatoria mostra radici curve e sottili e un sistema endodontico parzialmente calcificato (Fig. 2).

Il sondaggio manuale con un K-file 10 precurvato permette di determinare la lunghezza di lavoro (Fig. 3). La sagomatura del sistema dei canali radicolari è eseguita con strumenti rotanti in lega Gold di ultima generazione (Fig. 4). Al termine di sagomatura e di detersione convenzionale si esegue una decontaminazione finale con tecnica PIPS con laser Er:Yag (Lightwalker-Fotona-Slovenia). La punta dedicata da 600 micron viene inserita in camera pulpare all'imbocco dei canali radicolari e attivata con energia 20 mJ, 15 pps, con impulso di 50 microsecondi. Si eseguono tre passaggi con ipoclorito al 5%, seguiti da tre passaggi con EDTA al 17% e ulteriori tre passaggi con ipoclorito.

La combinazione di detersione con ipoclorito di sodio al 5% e attivazione laser-assistita assicura una rimozione completa di residui pulpari, microrganismi e calcificazioni canalari (Fig. 5). Si esegue la prova dei coni di guttaperca della stessa misura dell'ultimo strumento utilizzato per la rifinitura canalare (Fig. 6). La radiografia intraoperatoria conferma la scelta corretta dei coni di guttaperca (Fig. 7). A questo punto si effettua l'asciugatura del sistema dei canali radicolari con coni di carta codificati, corrispondenti alla misura dei coni di guttaperca (Fig. 8). L'otturazione canalare viene eseguita con cemento bioceramico e coni di guttaperca (Fig. 9). La radiografia postoperatoria a diga montata mostra il sistema dei canali radicolari sagomato, deterso e otturato con procedura minimamente invasiva, nel rispetto delle curvature (Fig. 10). La radiografia di controllo a distanza di sei mesi dopo il restauro post endodontico evidenzia una buona stabilità del sigillo apicale e di quello coronale (Fig. 11). La paziente risulta asintomatica.



Fig.1
Secondo molare
mandibolare sinistro
incrinato sintomatico.

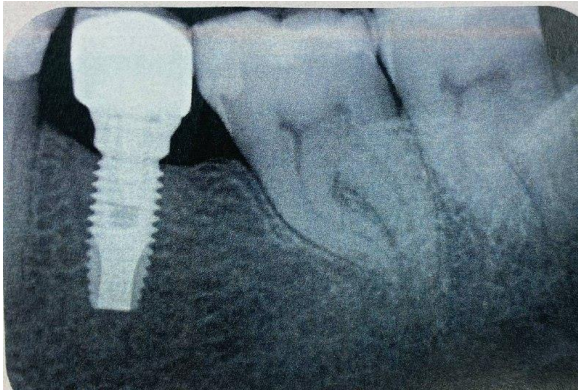


Fig. 2 La radiografia periapicale preoperatoria mostra radici curve e sottili e un sistema endodontico parzialmente calcificato.

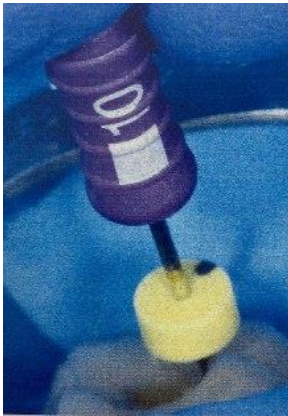


Fig. 3 Sondaggio manuale con un K-file 10, precurvato.

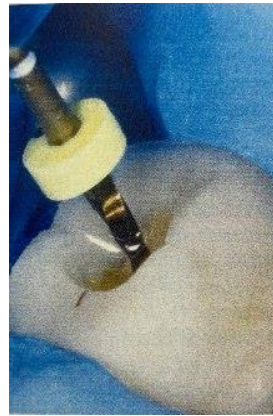


Fig. 4 Sagomatura del sistema dei canali radicolari con strumenti rotanti in lega Gold di ultima generazione



Fig. 5 Disinfezione del sistema dei canali radicolari.



Fig. 6 Prova dei coni di gutta-perca.

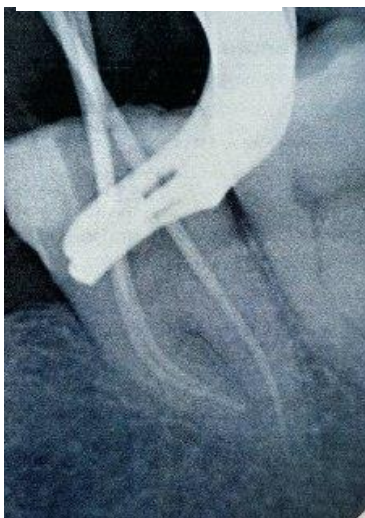


Fig. 7 La radiografia intraoperatoria conferma la scelta corretta dei coni di gutta-perca.



Fig. 8

Asciugatura del sistema dei canali radicolari con coni di carta codificati, corrispondenti alla misura dei coni di guttaperca.



Fig. 9

Introduzione del cemento bioceramico utilizzato per l'otturazione dei canali radicolari.

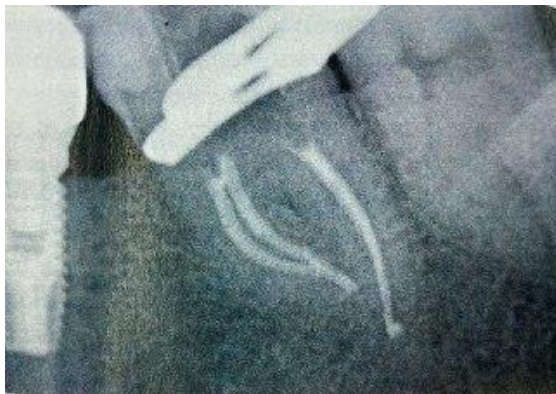


Fig. 10

La radiografia postoperatoria a diga montata mostra il sistema dei canali radicolari sagomato, deterso e otturato con procedura minimamente invasiva, nel rispetto delle curvature.



Fig. 11

Radiografia di controllo a distanza dopo restauro post endodontico. La paziente risulta asintomatica.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.

Alla luce della revisione della letteratura e dell'analisi dei casi clinici possiamo trarre le seguenti conclusioni:

- 1) I laser diodici, Nd:Yag e ad erbio possono aiutare il clinico nell'ottimizzazione dei protocolli di decontaminazione
- 2) La tecnica è veloce e semplice anche nelle mani del neofita
- 3) La decontaminazione laser si aggiunge a un trattamento tradizionale e non sostituisce alcun passaggio tecnico.
- 4) La nuova metodica SWEEPS sembra migliroativa, tuttavia, vista la recente introduzione, saranno necessari studi clinici con follow up a medio-lungo termine per validare pienamente la nuova tecnica.

BIBLIOGRAFIA

1. Association of Endodontists, "Quality Assurance Guidelines" published in 1987.
2. Bence, R.: Handbook of clinical endodontics. 2nd ed. St. Louis, The C.V. Mosby Company, 1980, p.1.
3. Marsh PD. Are dental diseases examples of ecological catastrophes? *Microbiology* 2003;149:279-294
4. Wittgow WC, Jr., Sabiston CB, Jr. Microorganisms from pulpal chambers of intact teeth with necrotic pulps. *J Endod* 1975;1:168-171
5. Sundqvist G. Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:522- 530
6. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Exploiting molecular methods to explore endodontic infections: part 2 – Redefining the endodontic microbiota. *J Endod* 2005;31:488-498
7. Carlsson J. Microbiology of plaque associated periodontal disease. In: Lindhe J, ed. *Textbook of clinical periodontology*. Copenhagen: Munksgaard, 1990:129-152
8. Sundqvist G. Associations between microbial species in dental root canal infections. *Oral Microbiol Immunol* 1992;7:257-262
9. Sundqvist G. Ecology of the root canal flora. *J Endod* 1992;18:427-430
10. Gomes BP, Drucker DB, Lilley JD. Positive and negative associations between bacterial species in dental root canals. *Microbios* 1994;80:231-243
11. Lana MA, Ribeiro-Sobrinho AP, Stehling R, et al. Microorganisms isolated from root canals presenting necrotic pulp and their drug susceptibility in vitro. *Oral Microbiol Immunol* 2001;16:100-105
12. Peters LB, Wesselink PR, van Winkelhoff AJ. Combinations of bacterial species in endodontic infections. *Int Endod J* 2002;35:698-702
13. Nair PNR. Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *J Endod* 1987;13:29-39
14. Costerton JW, Stewart PS. Biofilms and device-related infections. In: Nataro JP, Blaser MJ, Cunningham-Rundles S, eds. *Persistent bacterial infections*. Washington, DC: ASM Press, 2000:423-439
15. Costerton W, Veeh R, Shirtliff M, Pasmore M, Post C, Ehrlich G. The application of biofilm science to the study and control of chronic bacterial infections. *J Clin Invest* 2003;112:1466- 1477 87

16. Abdullah M, Ng YL, Gulabivala K, Moles DR, Spratt DA. Susceptibilities of two *Enterococcus faecalis* phenotypes to root canal medications. *J Endod* 2005;31:30-36
17. Nair PNR. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J* 2006;39:249-81
18. Molander A, Reit C, Dahlén G, Kvist T. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 1998;31:1-7
19. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998;85:86-93
20. Möller ÅJR. Microbiological examination of root canals and periapical tissues of human teeth. Methodological studies. *Odontol Tidsk* 1966;74:Suppl: 1-380
21. Peciuliene V, Balciuniene I, Eriksen HM, Haapasalo M. Isolation of *Enterococcus faecalis* in previously root-filled canals in a Lithuanian population. *J Endod* 2000;26:593-595
22. Hancock HH, Sigurdsson A, Trope M, Moiseiwitsch J. Bacteria isolated after unsuccessful endodontic treatment in a North American population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91:579-586
23. Peciuliene V, Reynaud AH, Balciuniene I, Haapasalo M. Isolation of yeasts and enteric bacteria in root-filled teeth with chronic apical periodontitis. *Int Endod J* 2001;34:429-434
24. Siqueira JF, Jr., Rôças IN. Polymerase chain reaction-based analysis of microorganisms associated with failed endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:85-94
25. Pinheiro ET, Gomes BP, Ferraz CC, Sousa EL, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Microorganisms from canals of root-filled teeth with periapical lesions. *Int Endod J* 2003;36:1- 11
27. Nataro JP, Blaser MJ, Cunningham-Rundles S. Persistent bacterial infections: commensalism gone awry or adaptive niche? In: Nataro JP, Blaser MJ, Cunningham-Rundles S, eds. *Persistent bacterial infections*. Washington, DC: ASM Press, 200
28. Figdor D. Microbial aetiology of endodontic treatment failure and pathogenic properties of selected species. Umeå University Odontological Dissertations No. 79. Umeå: Umeå University, Sweden, 2002. PhD thesis 0: 3-10

29. Brown JR, von Lichtenberg F. Experimental actinomycosis in mice. Arch Path 1970;90:391-402 88
30. Figdor D, Sjögren U, Sörlin S, Sundqvist G, Nair PNR. Pathogenicity of *Actinomyces israelii* and *Arachnia propionica*: experimental infection in guinea pigs and phagocytosis and intracellular killing by human polymorphonuclear leukocytes in vitro. Oral Microbiol Immunol 1992;7:129-136
31. Sumita M, Hoshino E, Iwaku M. Experimental actinomycosis in mice induced by alginate gel particles containing *Actinomyces israelii*. Endod Dent Traumatol 1998;14:137-143
32. Giard JC, Hartke A, Flahaut S, Benachour A, Boutibonnes P, Auffray Y. Starvation-induced multiresistance in *Enterococcus faecalis* JH2-2. Curr Microbiol 1996;32:264-271
32. Giard JC, Hartke A, Flahaut S, Benachour A, Boutibonnes P, Auffray Y. Starvation-induced multiresistance in *Enterococcus faecalis* JH2-2. Curr Microbiol 1996;32:264-271 [33] Wendt C, Wiesenthal B, Dietz E, Ruden H. Survival of vancomycin-resistant and vancomycin-susceptible enterococci on dry surfaces. J Clin Microbiol 1998;36:3734-3736
34. Figdor D, Davies JK, Sundqvist G. Starvation survival, growth and recovery of *Enterococcus faecalis* in human serum. Oral Microbiol Immunol 2003;18:234-239
35. Sedgley CM, Lennan SL, Appelbe OK. Survival of *Enterococcus faecalis* in root canals ex vivo. Int Endod J 2005;38:735- 742
36. Jansen H-J. The periodontal microflora as a protein-dependent anaerobic degradation system. Nijmegen: University of Nijmegen, The Netherlands, 1996
37. Love RM. *Enterococcus faecalis*—a mechanism for its role in endodontic failure. Int Endo J 2001;34:399-405
38. Hubble TS, Hatton JF, Nallapareddy SR, Murray BE, Gillespie MJ. Influence of *Enterococcus faecalis* proteases and the collagen-binding protein, Ace, on adhesion to dentin. Oral Microbiol Immunol 2003;18:121-126
39. WEINE, F.S.: Endodontic therapy 3rd ed. St. Louis. The C.V. Mosby Company, 1982, pp.1-29
40. FRANK, A.L., WEINE, F.S.: Non surgical therapy for the perforative defect of internal resorption. J. Am. Dent. Assoc. 87: 863, 1973
41. SCHILDER, H.: Corso avanzato di Endodonzia. Isinago, Firenze, Giugno 1987.

42. SCHILDER , H. , FULTON , S.Y .: Canal debridement and disinfection . In Cohen S. , Burns R.C .: Pathways of the pulp . 3rd ed . , St. Louis , The C.V. Mosby Company , 1984 , p . 175 .
43. DAKIN . H.D .: On the use of certain antiseptic substances in the treatment of infected wounds . Br . Med . J. , 2 : 318 , 1915 . 44 DELANY , G.M .: The effect of chlorhexidine gluconate irrigation on the root canal flora of freshly extracted necrotic teeth Thesis . Indianapolis , Indiana University , School of Dentistry , 1980 , pp . 90-92 .
45. DYCHDALA , G.R .: Disinfection , sterilization and preservation . In Block S.S. (ed .) . Lea & Febiger , 1977 , p . 175 .
46. GOLDBERG , F. , MASSONE . J.E. , SPIELBERG , C .: Effect of irrigation solutions on the filling of lateral root canals . Endod Dent . Traumatol . 2:65 , 1986 .
47. Jeansonne MJ, White RR. A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. J Endod 1994; 20:276-8
48. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. J Endod 2004; 30:785-7
49. Machado-Silveiro LF, Gonzalez-Lopez S, Gonzalez-Rodriguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. Int Endod J 2004; 37:365-98
50. Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod 2006; 32:389-98
51. Boutsoukis 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
52. Schilder, Cleaning and shaping the root canal. Dent.Clin. North. AM 84-269, 1974.
53. MARSHALL, F.J., PAPPIN, J.: A crown-down pressureless preparation root canal enlargement technique. Technique manual. Portland, Ore, Oregon Health Sciences University, 1980
54. WEINE, F.S., KELLY, R.F., LIU, P.J.: The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical formation shape. J. Endod. 1:255, 1975.
55. SCHILDER, H.: Cleaning and shaping the root canal. Dent. Clinic. North. AM&£: 269, 1974.

56. Bordea IR, Hanna R, Chiniforush N, et al. Evaluation of the outcome of various laser therapy applications in root canal disinfection: A systematic review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020;29:101611.
57. Neuman KC, Chadd EH, Liou GF, Bergman K, Block SM. Characterization of photodamage to *Escherichia coli* in optical traps. *Biophysical Journal* 1999;77:2856-63.
58. Saydjari Y, Kuypers I, Gutknecht N. Laser Application in Dentistry: Irradiation Effects of Nd:YAG 1064 nm and Diode 810 nm and 980 nm in Infected Root Canals-A Literature Overview. *Biomed Res Int.* 2016;2016:1-10.
59. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med.* 2004;35:111-6.
60. Benedicenti S, Cassanelli C, Signore A, Ravera C, Angiero F. Decontamination of root canals with the gallium-aluminum-arsenide laser: an in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2008;26:367-70.
61. Dawasaz AA In Vivo Efficacy of Diode Laser as a Monotherapy in Root Canal Disinfection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2022 Jan;40:59-70.
62. Vaarkamp J, Bosch JJ, Verdonschot EH. Propagation of light through human dental enamel and dentine, *Caries Research.* 1995; 29: 8-13.
63. Gordon W, Atabakhsh VA, Meza F et Al. The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with *Enterococcus faecalis*. *J Am Dent Assoc* 2007;138:992-1002.
64. Divito T, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the Erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci.* 2012 Mar; 27:275-80.
65. Arslan H, Capar ID, Saygili G, Gok I, Akcay M. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *International Endodontic Journal.* 2014;47:1072-7.
66. Golob BS, Olivi G, Vrabec M, El Feghali R, Parker S, Benedicenti S. Efficacy of Photon-induced Photoacoustic Streaming in the Reduction of *Enterococcus faecalis* within the Root Canal: Different Settings and Different Sodium Hypochlorite Concentrations. *J Endod.* 2017;45:1750-1735.
67. Lukac N, Jezersek M. Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. *Lasers Med Sc* 2018;35:823-855.

68. Jezersek M, Jereb T, Lukac N, Tenyi A, Lukac M, Fidler A (2019) Evaluation of Apical Extrusion during Novel Er:YAG Laser activated Irrigation Modality (2019), *Photomedicine and Laser Surgery* 2019;37:544-550.
69. vandatinia F, Gholami L, Karkehabadi H, Fekrazad R. Photobiomodulation in Endodontic, Restorative, and Prosthetic Dentistry: A Review of the Literature. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2010;37:869-880.