

Utilizzo dei laser in endodonzia

La capacità di ottenere un'efficace detersione e decontaminazione dello spazio endodontico e di rimuovere significativamente smear layer, batteri e loro prodotti dal sistema canalare rappresenta lo scopo della terapia endodontica. Moritz afferma che¹ vi sono tre fattori principali che ostacolano il raggiungimento di un ambiente sterile in endodonzia: la configurazione dell'anatomia radicolare, la particolare flora batterica dell'endodonto, la difficoltà degli irriganti canalari a penetrare efficacemente in profondità nei tubuli dentinali.

La complessità anatomica dell'endodonto è ben conosciuta: dai canali principali si dipartono numerosi canali laterali, di varie dimensioni e molteplici ramificazioni apicali. Un recente studio ha evidenziato la presenza di queste strutture anatomiche nel 75% dei denti analizzati e la presenza di residui pulpari infetti al termine della preparazione chemo-meccanica, sia nei canali laterali che nelle ramificazioni apicali di denti vitali e necrotici, con associata flogosi periradicolare².

L'esistenza dei tubuli dentinali, inoltre, rappresenta una riserva per la sopravvivenza dei microrganismi che possono proliferare senza

**Giovanni Olivi* - Francesco Maria Manconi*
Rolando Crippa* - Giuseppe Iaria* - Vassilios Kaitsas*
Stefano Benedicenti***

*Facoltà di Medicina e Chirurgia, Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria, Università di Genova Insegnamento di Conservativa ed Endodonzia: prof. S. Benedicenti

Enrico DiVito

Arizona Center for Laser Dentistry, Scottsdale, Arizona - USA

Riassunto

La capacità di ottenere un'efficace sagomatura, detersione e decontaminazione del sistema dei canali radicolari e un'otturazione tridimensionale stabile rappresenta l'obiettivo della terapia endodontica. Molti fattori possono però compromettere il risultato finale del trattamento endodontico, primo fra tutti la complessità anatomica del sistema dei canali radicolari e la conseguente difficoltà a far agire efficacemente gli irriganti nel terzo apicale. I laser Nd:YAG 1064nm e a diodi da 810 - 980 nm si sono dimostrati efficaci nel ridurre la carica batterica endocanalare e potenziare l'efficacia degli irriganti; recentemente anche i laser Er:YAG 2940 nm e Er,Cr:YSGG 2740 nm si sono affiancati alle lunghezze d'onda già conosciute e costituiscono oggi un prezioso alleato per diminuire la carica batterica endocanalare e migliorare la rimozione dello smear layer prodotto dalla strumentazione.

Summary

The main goal of endodontic therapy is to shape, clean and decontaminate the root canal system and to achieve a three dimensional filling of the endodontic space. Different factors may compromise the treatment outcome; prominent among these is the complex anatomy of the root canal system and the difficulties of the irrigants to reach the apical third. Nd:YAG 1064nm and diode lasers 810 - 980 nm are effective tools in reducing endocanal bacterial load and improve irrigants efficacy; recently Er:YAG 2940nm and Er,Cr:YSGG 2740nm lasers proved themselves to be useful and effective in removing the smear layer generated by mechanical instrumentation and decontaminate the root canal system.

● **PAROLE CHIAVE:** endodonzia, laser, decontaminazione

● **KEY WORDS:** endodontics, laser, decontamination

LASER USE IN ENDODONTICS

The goal of endodontic treatment is to obtain an effective cleaning and decontamination of the smear layer, including bacteria and all its products, in the root canal system. According to Moritz¹ there are three main factors that hinder the achievement of a sterile environment: the anatomical root configuration; the particular quality of the bacterial colonization; bacteria resistant to the oral solutions used.

The complexity of the root canal system is well known. Numerous lateral canals of various dimensions and with multiple morphologies branch off from the principal canals.

A recent study found the presence of these anatomical structures in 75% of the teeth analyzed as well as the presence of residual infected pulp, after completion of chemo-mechanical preparation, both in the lateral canals and in the apical structures of vital and necrotic teeth associated with periradicular inflammation².

In addition, the micro-anatomy of the tooth, with its dentinal tubules, represents a reservoir for microorganisms, which can grow without encountering the immune system^{3,5}.

With regard to the presence of bacteria in the root canal, it is limited to a small number of

species that, however, exhibit high pathogenicity: they can produce, or induce the production of toxic substances (leucotoxins, endotoxins, proteolytic/fibrinolytic enzymes)^{1,6}. It has also been demonstrated⁷ that, because of high surface tension, endocanal irrigants only penetrate for 100-300 µm into dentinal tubules, while bacteria can colonize the dentinal tubules for as much as 1100 µm from the canal lumen.

However, a final flush with EDTA or citric acid appears to remove the smear layer, allowing the hypochlorite to better penetrate into dentinal tubules⁸.

venire a contatto con il sistema immunitario^{3,5}. La presenza di batteri nell'endodonto è limitata a un numero ristretto di specie che, tuttavia, mostrano una elevata patogenicità: possono infatti produrre o indurre la produzione di sostanze tossiche (leucotossine, endotossine, enzimi proteolitici/fibrinolitici)^{1,6}.

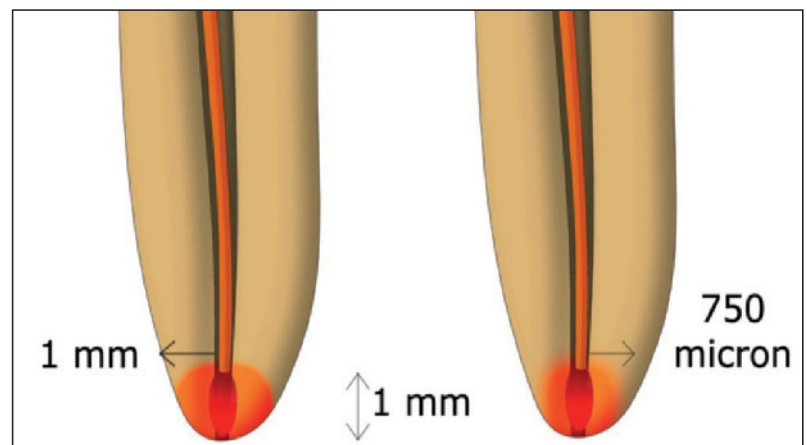
È stato inoltre dimostrato che, a causa di un'elevata tensione superficiale, gli irriganti endocanalari possono penetrare per 100-300 µm nei tubuli dentinali mentre i batteri possono colonizzare fino a 1100 µm partendo dal lume canalare verso l'interno dei tubuli⁷. Un lavaggio con EDTA o acido citrico è tuttavia in grado di rimuovere lo smear layer e di permettere all'ipoclorito di penetrare meglio nei tubuli dentinali⁸.

Laser in endodonzia

La tecnologia laser è stata introdotta nei primi anni Sessanta⁹, e in endodonzia la possibilità di decontaminare i canali radicolari grazie a energie molto concentrate si è iniziata a investigare dal 1970¹⁰. Solo l'introduzione di fibre ottiche sottili e flessibili ha reso però possibile un'efficace penetrazione della luce nel terzo apicale. Differenti sono le lunghezze d'onda che si sono dimostrate efficaci nel ridurre notevolmente la carica batterica nei canali infetti e importanti studi hanno avvalorato "in vitro" questi risultati¹¹. I laser a diodi (da 810 nm a 980 nm) e il Nd:YAG (1064 nm) che appartengono alla regione del "near infrared" dello spettro elettromagnetico della luce, hanno un'interazione prevalentemente per diffusione nei tessuti molli, più in profondità opera il laser Nd:YAG (fino a 4-5 mm), più superficialmente quelli a diodi (fino a 3 mm). La loro luce

viene elettivamente assorbita da emoglobina, ossiemoglobina e melanina. In endodonzia rappresentano a oggi il migliore sistema di decontaminazione, grazie alla loro capacità di penetrare in profondità dentro i tubuli dentinali (fino a 750 micron i laser a diodi, fino a 1 mm il Nd:YAG¹¹ (figura1) e per l'affinità di queste lunghezze d'onda con i batteri, che vengono distrutti per effetto fototermico¹².

Schoop et al. (2004) hanno dimostrato su modello sperimentale come i laser diffondano la propria energia in profondità nella parete dentinale, dimostrandosi fisicamente più efficaci dei tradizionali sistemi irriganti chimici nel decontaminare le pareti dentinali in profondità¹¹. Il laser Nd:YAG (1064 nm) ha mostrato riduzione batterica dell'85% a 1 mm, mentre il laser a diodi 810 nm del 63% a 750 micron e inferiore per il diodo 980 nm.



1. Differenti penetrazioni in dentina di laser Nd:YAG e diodi 810-980 nm.

1. Different penetration in dentin with Nd:Yag and diode lasers.

LASER IN ENDODONTICS

Laser light was introduced in the early 1960s⁹, and in endodontics, the use of very concentrated energy capable of decontaminating the root canal has been investigated since the 1970s¹⁰. Only with the introduction of thin flexible glass fibers that has a deep penetration of laser light into the apical third of the root canal become possible.

Different wavelengths have shown to be effective in significantly reducing bacteria in infected canals and studies have confirmed these "in vitro" results¹¹.

The diode laser (from 810 nm to 1,064 nm) and

the Nd:YAG (1,064 nm) belong to the near infrared region of the electromagnetic spectrum of light. They interact primarily with soft tissue by diffusion (scattering). The Nd:YAG laser has a greater depth of penetration in soft tissues (up to 5 mm), while the diode laser is more superficial (up to 3 mm). Their beam is selectively absorbed by haemoglobin, oxyhaemoglobin and melanin, and has photo-thermal effects on tissue.

In endodontics, they currently represent the best system for decontamination, owing to their ability to penetrate the dentinal walls (up to 750 µm with the 810 nm diode laser; up to 1 mm with the Nd:YAG)¹¹ (figure 1) and for the affinity of

these wavelengths with bacteria, destroying them through photo-thermal effects¹².

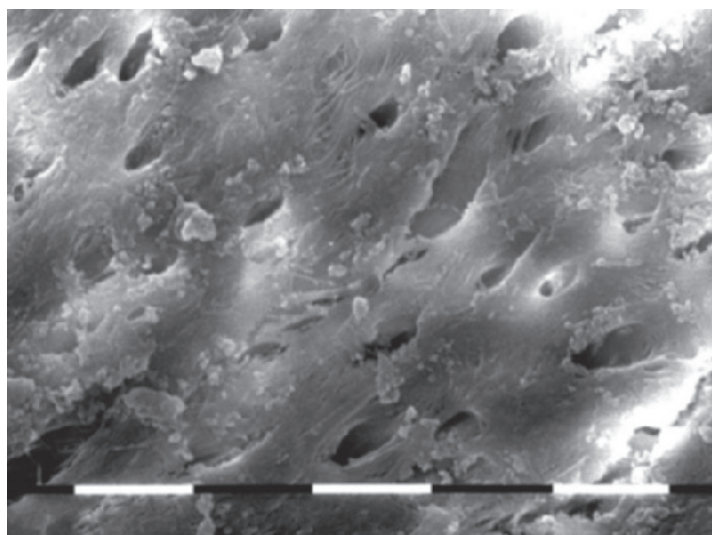
Using an experimental model, Schoop et al. demonstrated the manner in which lasers spread their energy and penetrate into the dentinal wall, showing them to be physically more efficient than traditional chemical irrigating systems in decontaminating the dentinal walls¹¹. The Neodymium:YAG (Nd:YAG; 1064 nm) laser demonstrated a bacterial reduction of 85% at 1 mm, compared with the diode laser (810 nm) with 63% at 750 µm or less.

This marked difference in penetration is due to the low and varying affinity of these wavelengths for

Questa spiccata e differente penetrazione è dovuta alla scarsa e diversa affinità di queste lunghezze d'onda per i tessuti duri e per la tipica capacità di diffusione non uniforme che permette alla luce di raggiungere e distruggere per effetto termico i batteri anche in profondità (figure 2 e 3).

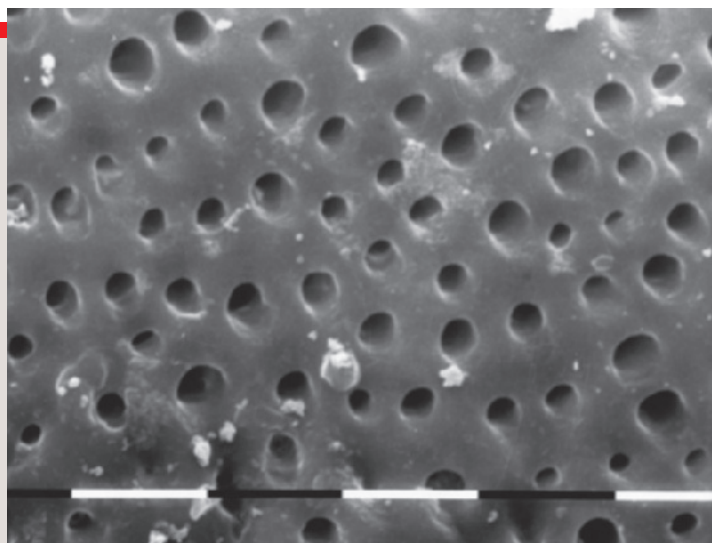
Molti altri studi microbiologici hanno confermato la forte azione battericida dei laser a diodi e Nd:YAG, con decontaminazione fino al 100% della carica batterica nel canale principale¹³⁻¹⁶.

Uno studio *in vitro* di Benedicenti *et al.* ha riportato come l'utilizzo di un laser a diodi 810 nm associato all'uso di irriganti chimici chelanti come acido citrico ed EDTA porti a



2. Immagine al SEM di dentina radicolare trattata con laser a diodi 810 nm utilizzato con potenza 2,5 W in modalità pulsata 50/50 10 msec (4 cicli x 5 sec) con irrigazione di EDTA.

2. ESM of radicular dentin treated with 810 nm diode laser: 2,5 W, pulsed mode, 50/50 10 msec (4 times x 5 sec) with EDTA irrigation.



una riduzione pressoché assoluta della carica batterica (99.9%) di *Enterococcus faecalis* dal sistema endodontico¹⁷.

I laser Erbium (2780 nm e 2940 nm) appartengono alla regione del "medium infrared", la loro luce è prevalentemente assorbita superficialmente nel tessuto molle, tra 100 e 300 micron e fino a 300-400 micron nelle pareti dentinali^{11,18}; il cromoforo bersaglio è l'acqua, per questo il loro utilizzo in odontoiatria è esteso dai tessuti molli a quelli duri, per il contenuto in acqua di mucosa, gengiva, dentina e tessuto cariato che vengono vaporizzati per effetto termico.

Quando utilizzati in soluzione acquosa, l'esplosione delle molecole dell'acqua genera anche un certo grado di effetto fotomeccanico che partecipa al processo ablativo e di detersione¹⁹⁻²¹. Laser a Erbium con impulsi di durata molto corta (inferiore a 150 microsecondi) permettono con l'utilizzo di energie molto basse (meno di 50 mJ) il raggiungimento di potenze di picco assai elevate. L'utilizzo di energia minimamente ablativa riduce gli indesiderati effetti termici a vantaggio di fenomeni di esplosione delle molecole d'acqua (cromoforo bersaglio), con successiva produzione di effetti fotomeccanici e fotoacustici (shock wave) delle soluzioni irriganti introdotte nel lume canale, sulle pareti dentinali. Questi effetti sono risultati estremamente efficaci nell'azione di detersione dello smear layer dalle pareti dentinali, nella rimozione del biofilm batterico e nella decontaminazione canale²²⁻²⁵.

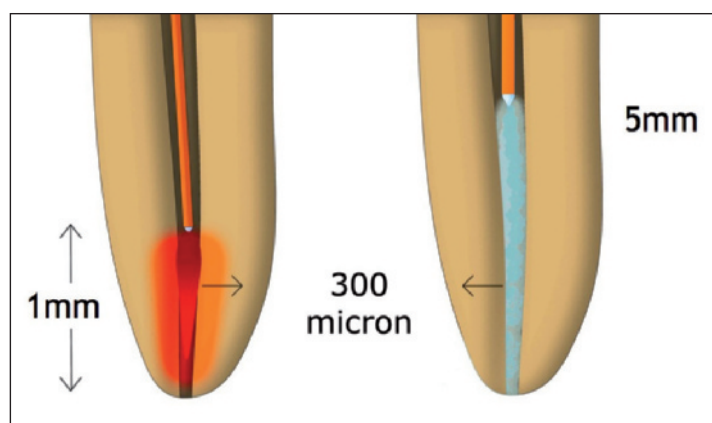
La decontaminazione tridimensionale del sistema endodontico eseguita con i laser Erbium non è ancora comparabile a quella dei laser near infrared. L'energia termica sviluppata da questi

hard tissue. The diffusion capacity, which is not uniform, allows the light to reach and destroy bacteria by penetration via the thermal effects (figures 2 and 3).

Many other microbiological studies have confirmed the strong bactericidal action of the diode and Nd:YAG lasers, with up to 100% decontamination of the bacterial load in the principal canal¹³⁻¹⁶. An *in vitro* study by Benedicenti *et al.* reported that the use of the diode 810 nm laser in combination with chemical chelating irrigants, such as citric acid and EDTA, brought about a more or less

3. Immagine al SEM di dentina radicolare trattata con laser a diodi 810 nm utilizzato con potenza 2,5 W in modalità pulsata 50/50 10 msec (4 cicli x 5 sec) alternando irrigazione con ipoclorito sodio 5.5.% e 17% EDTA (secondo il protocollo proposto nel testo).

3. ESM of radicular dentin treated with 810 nm diode laser: 2,5 W, pulsed mode, 50/50 10 msec (4 times x 5 sec) with alternate irrigation with 5,5% hypochlorate solution and EDTA (see the clinical protocol explained in text).



4. Differenti applicazioni di punte endodontiche tradizionali per laser a erbio e nuove punte PIPS.

4. Different erbium tips.

laser è infatti assorbita prevalentemente in superficie (elevata affinità per i tessuti dentinali ricchi di acqua), dove esercitano il più elevato potere battericida su *E. coli*, Gram- e *E. faecalis* gram+; a 1,5 W Moritz et al. (1999) hanno ottenuto una eradicazione quasi totale, del 99,64%, di questi batteri²⁶; questi sistemi non sono però in grado di esercitare effetto battericida in profondità nei canali laterali, raggiungendo i 300 microns di profondità, nello spessore della parete radicolare¹¹ (figura 4).

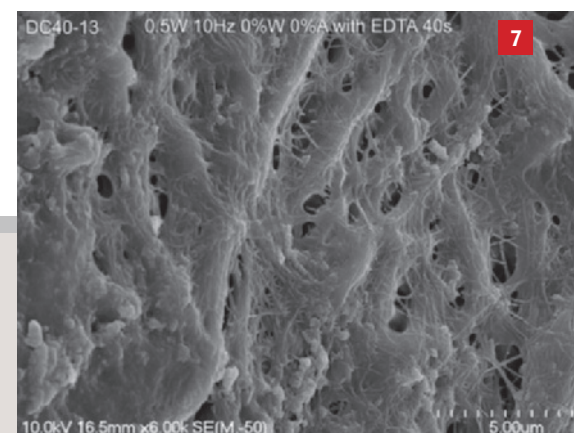
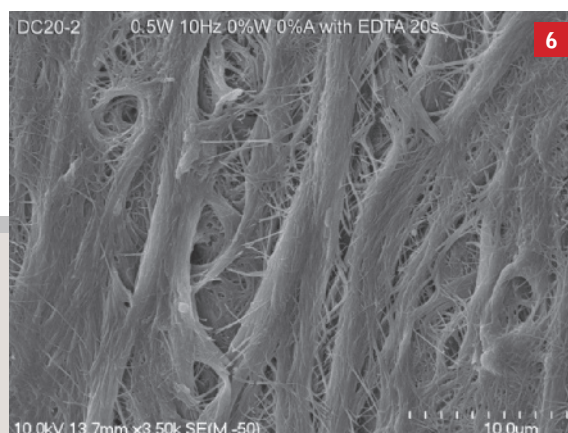
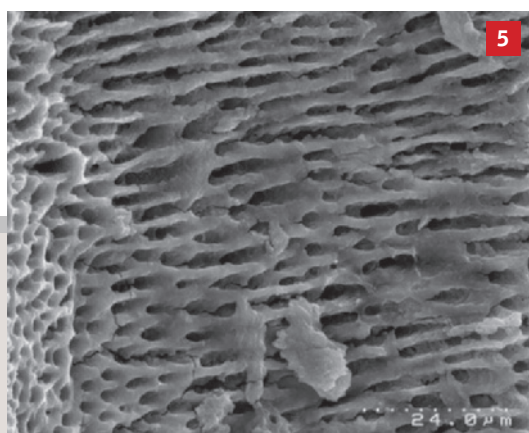
Ulteriori studi (2007) hanno investigato l'efficacia dell'Er,Cr:YSGG laser nella decontaminazione di canali tradizionalmente

preparati; utilizzando bassa potenza (0,5 W 10 Hz 50 mJ con 20% air/water spray) non si è ottenuta l'eradicazione completa dei batteri²⁷, mentre risultati migliori per l'Er:YAG si sono ottenuti con una riduzione del 77% a 1 W e del 96% a 1,5 W¹⁵.

Un nuovo filone di ricerca (2006) ha investigato l'efficacia del laser Erbium nella rimozione del biofilm batterico a livello apicale²⁸ e un recente studio *in vitro* (2008) ha ulteriormente validato la capacità del laser Er:YAG di rimuovere un biofilm endodontico formato da numerose specie batteriche (*Actinomyces naeslundii*, *Enterococcus faecalis*, *Lactobacillus casei*, *Propionibacterium acnes*, *Fusobacterium nucleatum*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella nigrescens*), con considerevole diminuzione delle cellule batteriche e disgregazione del biofilm, a eccezione di quello formato da *L. casei*²⁹. Studi in corso stanno valutando l'efficacia di una nuova tecnica laser che utilizza una punta a emissione radiale a bassa energia, con produzione di elevato effetto fotomeccanico e fotoacustico per la rimozione oltre che dello smear layer²⁵ anche del biofilm batterico. I risultati sono molto promettenti (figure 5-9).

5-7. Immagini al SEM di dentina irradiata con radial firing tip, a 50 mJ, 10 Hz per 20 e 40 secondi in un canale irrigato con EDTA. Notevole deterzione della dentina da detriti e smear layer. Esposizione della struttura collagenica. Immagini riprodotte per cortesia del dottor E. DiVito, Scottsdale, Arizona-USA.

5-7. ESC of dentin irradiated by radial firing tip, 50 mJ, 10 Hz for 20 to 40 seconds in a canal irrigated with EDTA. Good cleaning and removal of smear layer with exposure of collagen fibers. Courtesy of dottor E. DiVito - Scottsdale, Arizona-USA.

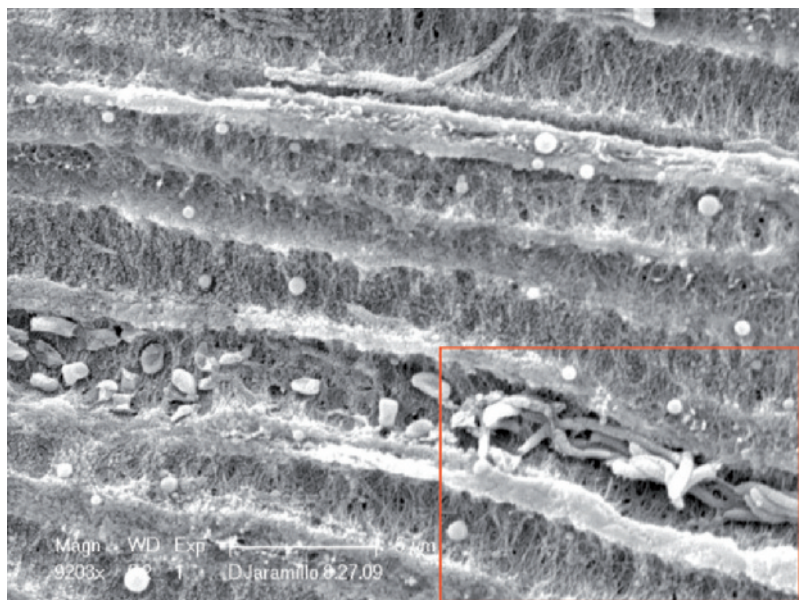


absolute reduction of the bacterial load (99.9%) of *E. faecalis* in the endodontic system¹⁷. The Erbium lasers (2,780 nm and 2,940 nm) belong to the medium infrared region and their beam is primarily absorbed superficially by soft tissue between 100 and 300 μm and up to 400 μm by the dentinal walls^{11,18}. The chromophore target is water, which is why their use in dentistry extends from soft to hard tissue.

Owing to the water content of the mucosa, gingiva, dentine and carious tissue, Erbium lasers vaporize and affect these tissues thermally. The explosion of the water molecules generates a photomechanical effect that contributes to the ablative and cleaning process^{19,21}.

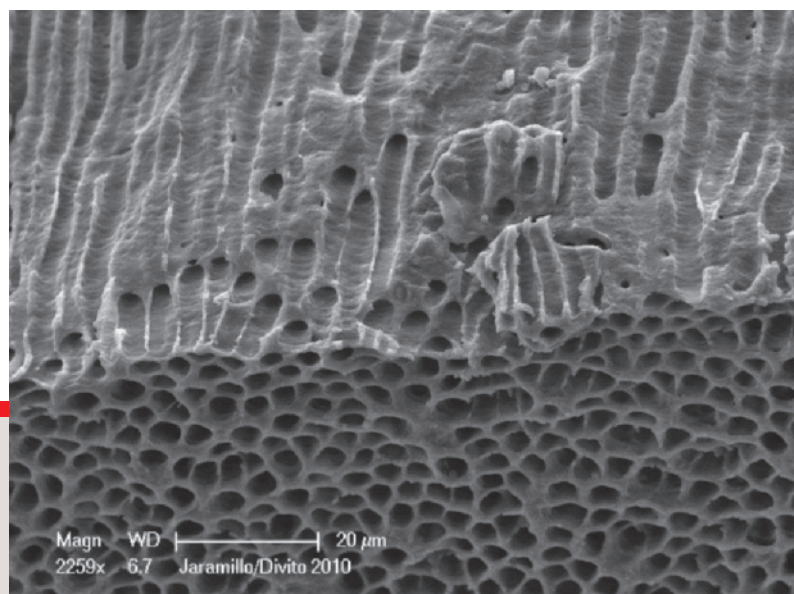
With a very short pulse length (less than 150 μs), the Erbium laser reaches peak power using very low

energy (less than 50 mJ). The use of minimally ablative energy minimizes the undesirable ablative and thermal effects on dentinal walls while the peak power offers the advantage of the phenomena of water molecule excitation (target chromophore) and the successive creation of the photomechanical and photoacoustic effects (shock waves) of the irrigant solutions introduced in the root canal on the dentinal walls.



8. Immagine al SEM di dentina radicolare ricoperta di biofilm batterico di *E. faecalis* prima dell'irradiazione laser.

8. ESM of radicular dentin covered by bacterical biofilm of *E. faecalis* prior to laser irradiation.

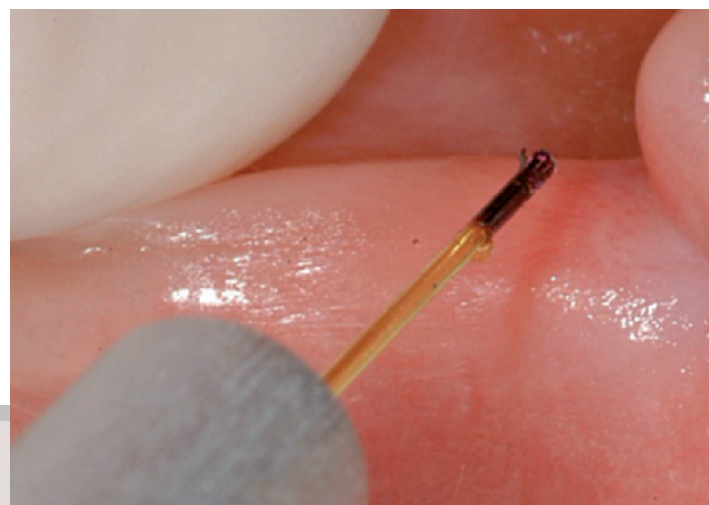


9. Immagine al SEM di dentina radicolare ricoperta di biofilm batterico di *E. faecalis* dopo irradiazione con laser Er:YAG, a 25 mJ, 15 Hz, punta PIPS con irrigazione (EDTA). Distruzione e distacco del biofilm batterico e sua completa vaporizzazione dal lume canalare principale e dai tubuli laterali. Immagini per gentile concessione del dottor E. DiVito (Scottsdale, Arizona-USA) e del dottor D. Jaramillo (University of Loma Linda, California-USA).

9. ESM of radicular dentin covered by bacterical biofilm of *E. faecalis* after laser irradiation by means of Er:Yag laser; 25 mJ, 15 Hz, PIPS tip with EDTA irrigation. Complete disruption and vaporisation of bacterial biofilm from the main root canal and lateral tubules. Permission of dottor E. DiVito (Scottsdale, Arizona-USA) e dottor D. Jaramillo (University of Loma Linda, California-USA).

I laser Erbium hanno utilizzato sinora punte “end firing”, cioè con emissione frontale alla parte terminale della punta, e hanno dimostrato una scarsa penetrazione laterale nella parete dentinale. Nuove punte a emissione radiale sono state proposte nel 2007 per il laser Er,Cr:YSGG. Gordon et al.³⁰ e Schoop et al.^{31,32} hanno studiato gli effetti morfologici e decontaminanti di questo nuovo sistema. I primi hanno utilizzato una punta da 200 microns a emissione radiale, a 20 Hz con spray aria/acqua (34% e 28%) e a secco, a 10 mJ e 20 mJ, 20 Hz (0,2 W e 0,4 W rispettivamente); i tempi di irradiazione erano variabili da 15 secondi sino a 2 minuti.

Il massimo potere battericida si è ottenuto alla massima potenza (0,4 W), con il tempo di esposizione più lungo e nella modalità senz'acqua, con una eradicazione del 99,71% di effetto battericida; il minimo tempo di irradiazione di 15 secondi alla potenza più bassa (0,2 W) con acqua ha ottenuto il 94,7%³⁰. I secondi hanno utilizzato una punta da 300 microns di diametro a due differenti parametri di emissione, 1 W e 1,5 W, 20 Hz, irradiando 5 volte per 5 secondi con un tempo di raffreddamento di 20 secondi ogni passaggio. Il livello di decontaminazione ottenuto è stato significativamente elevato

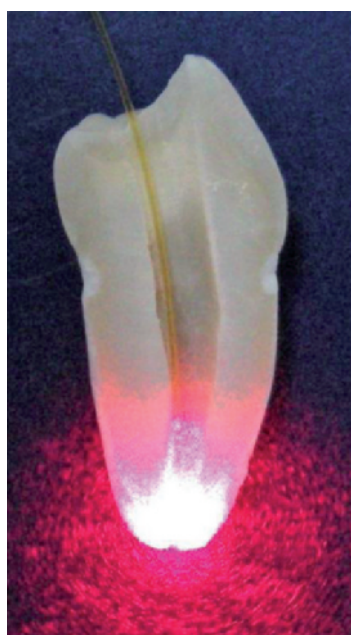


10. Fibra del laser a diodi attivata.

10. Initiated diode laser fiber.

These effects are extremely efficient in cleaning the smear layer from the dentinal walls, in removing the bacterial biofilm and in the canal decontamination^{22,25}.

The 3-D decontamination of the endodontic system with Erbium lasers is not yet comparable to that of near infrared lasers. The thermal energy created by these lasers is in fact absorbed primarily on the surface (high affinity to dentinal tissue rich in water), where they have the highest bactericidal effect on *E. coli* (Gram-negative bacteria), and *E. faecalis* (Grampositive bacteria). At 1.5 W, Moritz et al. obtained an almost total eradication (99.64%) of these bacteria²⁶; however, these systems do not have a bactericidal effect at depth in the lateral canals, as they only reach 300 µm in depth when tested in the width

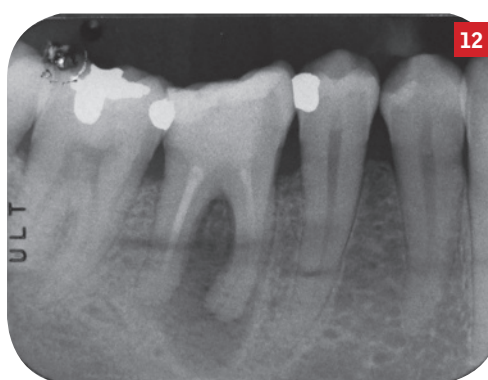


11. Fibra del laser a diodi 810 nm nel canale radicolare.

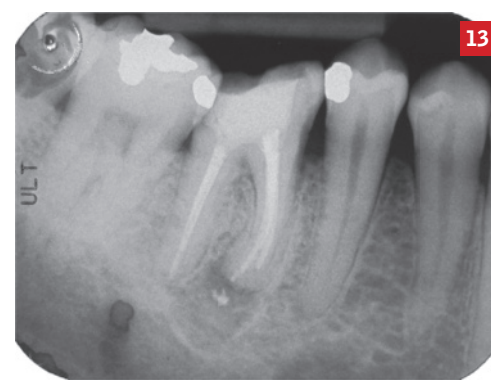
11. 810 nm diode laser fiber in the root canal.

senza importanti differenze tra 1 W e 1,5 W, con rialzo termico contenuto tra 2,7 °C e 3,2 °C³¹. Lo stesso gruppo di Vienna ha studiato anche i parametri 0,6 W e 0,9 W che producevano un rialzo

termico molto contenuto rispettivamente di 1,3 °C e 1,6 °C, mantenendo un elevato effetto battericida su *E. coli* e *E. faecalis*³². L'effetto termico del laser, utilizzato per l'effetto battericida, deve essere controllato per evitare danni sulle pareti dentinali: l'irradiazione a parametri corretti produce, infatti, oltre alla vaporizzazione dello smear layer (solo i medium infrared laser) e della struttura organica dentinale (fibre collagene) anche aspetti di fusione superficiale più o meno marcati a seconda della lunghezza d'onda (near e medium infrared laser). I soli laser Erbium producono



12



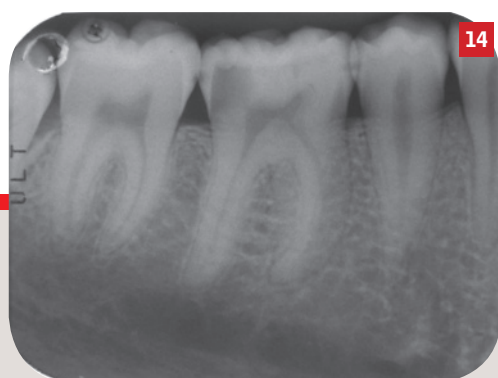
13

12-13. Ritrattamento di 46 con estesa lesione apicale e mobilità grado 2. La radiografia pre-operatoria ci consente di apprezzare le dimensioni della lesione e l'importante indebolimento del setto interradicolare. È stata effettuata decontaminazione endocanalare laser-assistita con laser a diodi 810 nm secondo il protocollo descritto nel testo. La radiografia di controllo mostra una rapida risposta tissutale - dovuta anche all'azione fisica della luce laser - e remissione quasi completa della lesione.

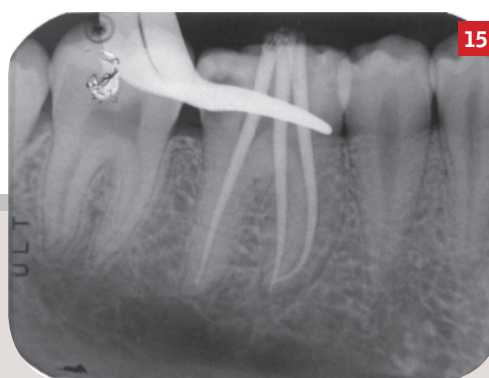
12-13. Retreatment of 46 with huge periapical lesion and great mobility. Decontamination was achieved by means of a 810 nm diode laser following the protocol explained in text. Control Xray shows an initial healing.

14-16. Trattamento endodontico di 46 in giovane paziente con pulpite sintomatica. La sagomatura del canale MV si presenta alquanto difficoltosa per la presenza di una curva severa al terzo apicale, come dimostrato dall'rx della prova dei coni. Viene eseguita decontaminazione del sistema dei canali radicolari con laser Nd:Yag seguendo il protocollo descritto nel testo. La radiografia di controllo mostra una corretta otturazione tridimensionale del SCR.

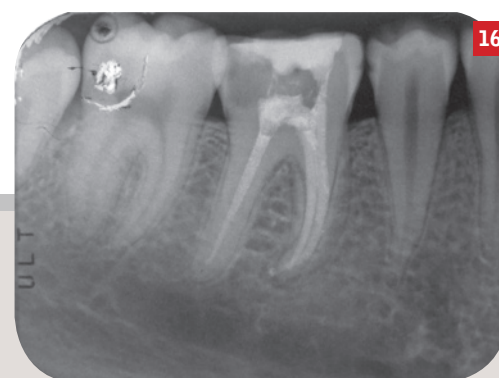
14-16. Endodontic treatment of a lower molar in a young patient with symptomatic pulpitis. The MV canal presents a severe curve in the apical third. Decontamination is performed by a Nd:Yag laser according to the protocol described in text. Control Xray shows a correct three dimensional filling of the root canals.



14



15

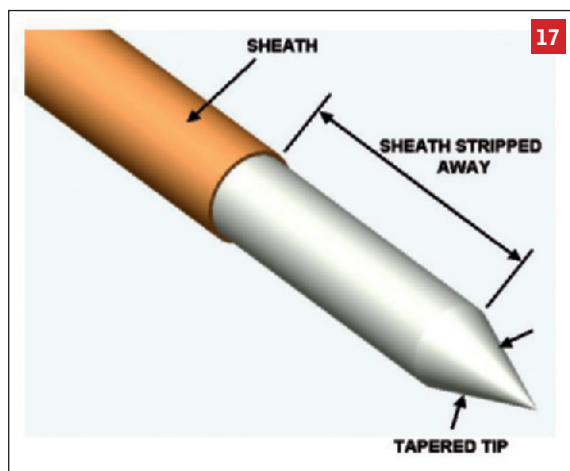


16

of the radicular wall¹¹ (figure 4). Further studies have investigated the ability of the Er,Cr:YSGG laser in the decontamination of traditionally prepared canals. Using low power (0.5 W, 10 Hz, 50 mJ with 20% air/water spray), complete eradication of bacteria was not obtained²⁷. However, better results for the Er,Cr:YSGG laser were obtained with a 77% reduction at 1 W and of 96% at 1.5 W¹⁵. A new area of research has investigated the Erbium

laser's ability to remove bacterial biofilm from the apical third²⁸, and a recent in vitro study has further validated the ability of the Er:YAG laser to remove endodontic biofilm of numerous bacterial species (e.g. *A. naeslundii*, *E. faecalis*, *L. casei*, *P. acnes*, *F. nucleatum*, *P. gingivalis* or *P. nigrescens*), with considerable reduction of bacterial cells and disintegration of biofilm. The exception to this is the biofilm formed by *L. casei*²⁹.

Ongoing studies are evaluating the efficacy of a new laser technique that uses a newly designed both radial and tapered stripped tip for removal of not only the smear layer, but also bacterial biofilm²⁵. The results are very promising (figures 5-9). The Erbium lasers with "end firing" tips—frontal emission at the end of the tip have little lateral penetration of the dentinal wall. The radial tip was proposed in 2007 for the Er,Cr:YSGG, and

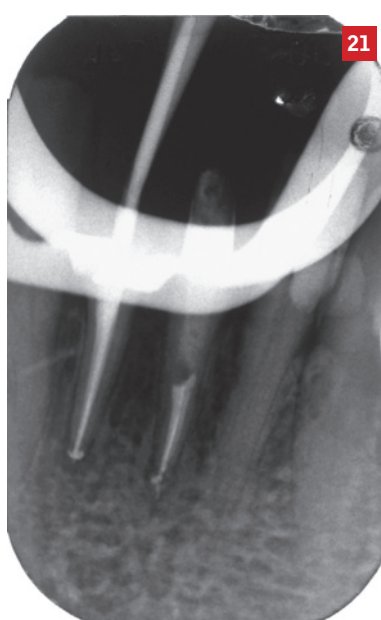
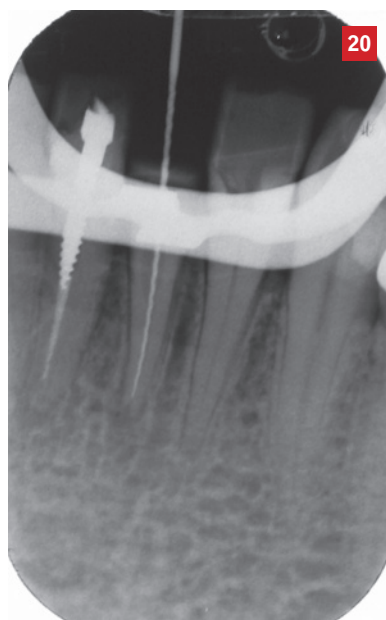


17-18. Punta endodontiche per tecnica PIPS.

17-18. PIPS tips.



anche fenomeni ablativi superficiali della dentina, più prevalenti nelle aree intertubulari più ricche in acqua che in quelle peritubulari più mineralizzate. I danni termici, quando si utilizzano parametri o modalità di utilizzo scorretti, si manifestano con estese aree di fusione (melting), di ricristallizzazione della matrice minerale (bubble), con microfratture superficiali con segni di carbonizzazione radicolare interna ed esterna.



19-21. Denti 31e 41: ritrattamento canale richiesto per sintomatologia dolorosa alla pressione degli elementi dentari. L'rx pre-operatoria evidenzia riempimento canale incompleto, mancato trattamento del secondo canale e radiolucenza periapicale. I canali linguale sono stati trovati dopo ispezione microscopica e lavaggi con irriganti e laser Erbium con tecnica PIPS (Er:YAG Fidelis III, Fotona, Slovenia). Canali ritrattati e otturati con guttaperca e minima estrusione di cemento all'apice (Endoreze, Ultradent, USA).

19-21. Root canal re-treatment is requested on 31 and 41 due to a painful symptomatology. Xray shows incomplete filling, a second untreated canal and periapical radiolucency. Operative microscope was used to find the lingual canal. And decontamination was performed with PIPS technique (Er:YAG Fidelis III; Fotona, Slovenia). Root canal filling was performed with gutta percha and cement (Endoreze, Ultradent; USA).

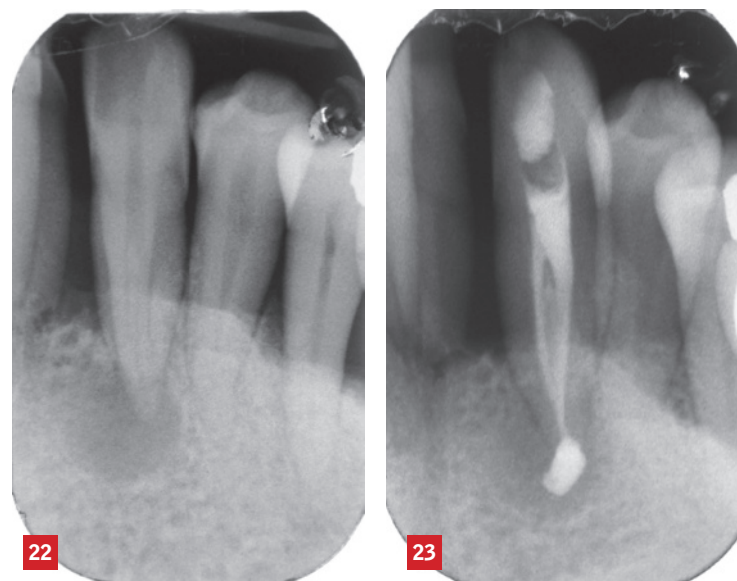
Gordon et al.³⁰ and Schoop et al.^{31,32} have studied the morphological and decontaminating effects of this laser system. The first study used a tip of 200 μm with radial emission at 20 Hz with air/water spray (34 and 28%) and dry at 10 and 20 mJ and 20 Hz (0.2 and 0.4 W, respectively). The radiation times varied from 15 seconds to two minutes. The maximum bactericidal power was reached at maximum power (0.4 W), with a longer exposure time, without water in dry mode and with a 99.71% bacterial eradication. The minimum time of radiation (15 seconds) with minimum power (0.2 W) and water obtained 94.7% bacterial reduction³⁰. The second study used a tip of

300 μm diameter with two different parameters of emission (1 and 1.5 W, 20 Hz), radiating five times for five seconds, with a cooling time of 20 seconds for each passage. The level of decontamination obtained was significantly high, with important differences between 1 and 1.5 W, with a thermal increase contained between 2.7 and 3.2 $^{\circ}\text{C}$ ³¹. The same group from Vienna studied other parameters (0.6 and 0.9 W) that produced a very contained thermal rise of 1.3 and 1.6 $^{\circ}\text{C}$, respectively, showing a high bactericidal effect on *E. coli* and *E. faecalis*³². Thermal effect produced by lasers should be taken under control in order to prevent thermal damages on dentinal walls: the

use of proper parameters leads to a vaporization of the smear layer (only medium infrared lasers) and of the organic dentinal structure (collagen fibers) with superficial melting depending on the specific wavelength (near and medium infrared lasers). Erbium lasers only produce superficial dentinal ablative effects. The inter-tubular dentine which is richer in water however, is more ablated than the peri-tubular. When incorrect parameters or modes of use are employed, thermal damage is evident with extensive areas of melting, recrystallisation of the mineral matrix (bubble), and superficial microfractures concomitant with internal and external radicular carbonization.

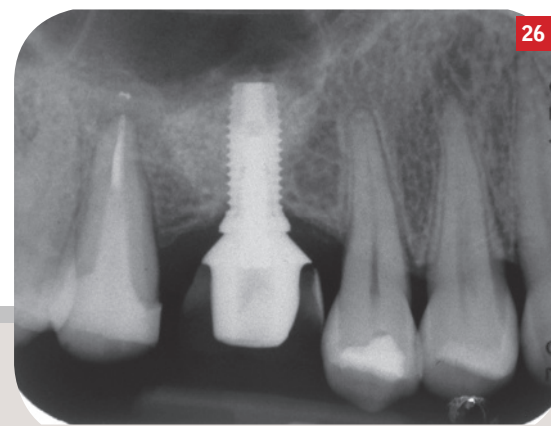
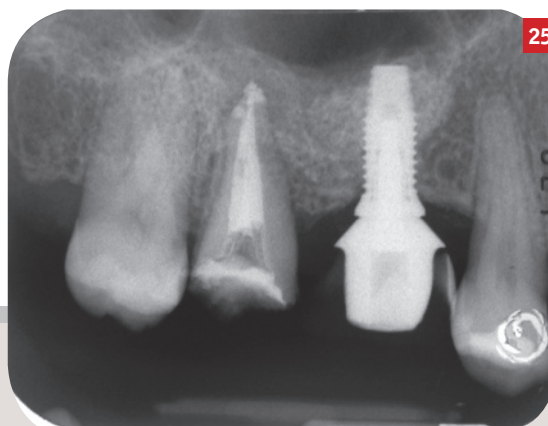
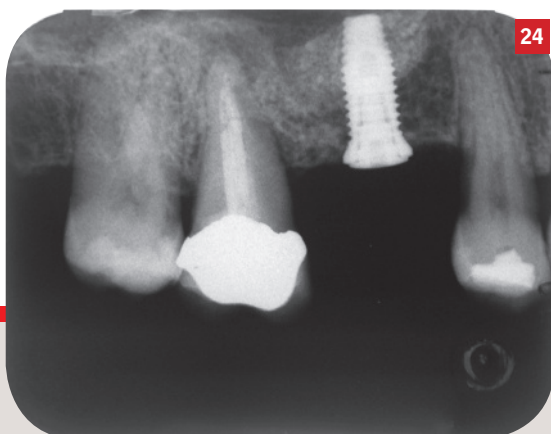
Decontaminazione con near infrared laser

La decontaminazione canalare laser-assistita eseguita con laser near infrared richiede che i canali vengano preparati in maniera tradizionale (preparazione apicale con strumenti ISO 25/30) non avendo questa lunghezza d'onda nessuna affinità e quindi capacità ablativa sui tessuti duri. L'irradiazione viene eseguita come passaggio finale per decontaminare il sistema endodontico prima dell'otturazione. La fibra ottica di 200 micron precedentemente attivata su una superficie scura (figura 10) è inserita a 1 mm dalla lunghezza di lavoro e azionata con movimento elicoidale in direzione apico-coronale per 5-10 secondi, avendo cura di non indugiare all'apice per più di 1 secondo (figura 11). I parametri di utilizzo del laser a diodi 810 nm sono: 2,5 W di potenza in modalità pulsate con 10 ms di azione e 10 ms di pausa. Per il diodo 980 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 ipoclorito ne segue un'ulteriore di ipoclorito e un successivo passaggio per tre volte con laser alle potenze e secondo i tempi precedentemente descritti (figure 12-16).



22-23. Dente 33: l'esame radiografico mostra ampia lesione periapicale in dente non vitale, di probabile origine endoparodontale. Trattamento dei due distinti canali, con otturazione con guttaperca e cemento che si riunificano all'apice, dopo trattamento con laser con tecnica PIPS (Er:YAG Fidelis III, Fotona, Slovenia). Estrusione di cemento resinoso all'apice (Endoreze, Ultradent, USA).

22-23. Huge periapical lesion on lower tooth. Laser Decontamination with PIPS technique (Er:YAG Fidelis III; Fotona, Slovenia). Estrusione di cemento resinoso all'apice (Endoreze, Ultradent, USA).



DECONTAMINATION WITH NEAR INFRARED LASER

Laser-assisted canal decontamination performed with the near infrared laser requires the canals to be prepared in the traditional way (apical preparation with ISO 25/30), as this wavelength has no affinity and therefore no ablative effect on hard tissue. The radiation is performed at the end of the traditional endodontic preparation as a final means of decontaminating the endodontic system before

24-26. Dente 17: la radiografia mostra radiolucenza per lesione periapicale del secondo molare; la vicinanza dell'impianto endo-osseo inserito in sede 1.6 indica la necessità di ritrattamento del secondo molare, seppur asintomatico. Dopo rimozione del materiale di otturazione preesistente, si irriga con tecnica PIPS (Er:YAG Fidelis III, Fotona, Slovenia) ed EDTA 17%; otturazione immediata, con riempimento dell'intero lume, sino all'apice con riempimento di un canale laterale. Il controllo a 4 mesi evidenzia il riassorbimento del cemento resinoso (Endoreze, Ultradent, USA) oltre apice.

24-26. Periapical radiolucency on 17. The teeth is asymptomatic but it needed to be re-treated due to the presence of an implant on 1.6. Decontamination was performed with PIPS technique following the protocol described in text and immediate root canal filling was attempted. Xray after four months shows the resorption of the excess of cement.

Decontaminazione con medium infrared laser

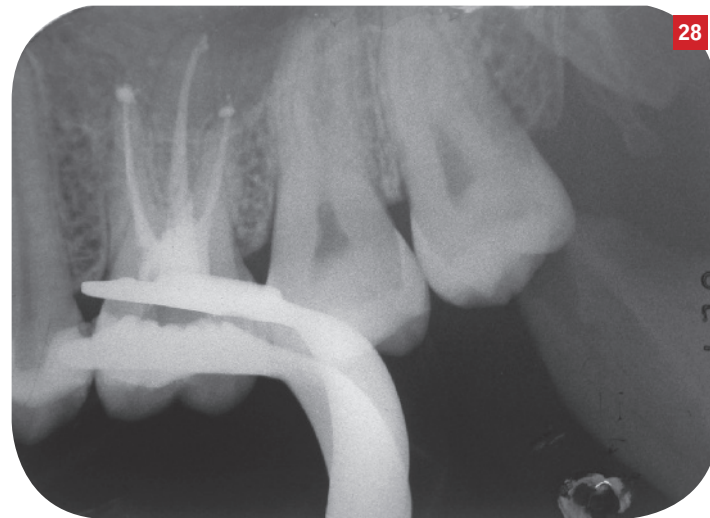
Considerata la scarsa efficacia nella preparazione e sagomatura canalare, anche l'utilizzo dei laser Erbium per la decontaminazione in endodonzia prevede una preparazione canalare eseguita con tecnica tradizionale, con canali preparati all'apice con strumenti ISO 25-30; il passaggio finale con il laser è reso possibile grazie all'utilizzo di punte lunghe e sottili (200 e 320 micron), disponibili per alcune apparecchiature Erbium, in grado di raggiungere facilmente la lunghezza di lavoro (1 mm dall'apice). Anche in questo caso la tecnica tradizionale prevede un movimento elicoidale di retrazione della

punta (in 5-10 secondi), da ripetersi 3-4 volte a seconda dei protocolli, alternando l'irradiazione all'irrigazione con i comuni prodotti chimici, eseguendo la procedura in un canale bagnato (ipoclorito di sodio e/o EDTA); lo spray integrato va mantenuto chiuso.

I parametri a 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. Recentemente è stata introdotta per i laser Er:YAG una nuova metodica. La tecnica Photon Initiated Photoacoustic Streaming (PIPS) prevede l'utilizzo del laser Erbium (Fidelis III AT/HT - Lighthalker ST-E/AT Fotona, Lubiana, Slovenia) e della sua interazione con le soluzioni irriganti (17%



27



28

27-28. Dente 26: primo molare superiore con pulpita acuta. Trattamento "one visit" con decontaminazione e detersione con NaOCl ed EDTA attivati con tecnica PIPS (Er:YAG Fidelis III, Fotona, Slovenia). Preparazione minimale dei canali vestibolari e MB2 a ISO 25/04 e 25/06 per il palatino. Otturazione con gutta-percha e cemento resinoso (Endoreze, Ultradent, USA).

27-28. Acute pulpitis on 26. Treatment was performed in one session with decontamination with NaOCl and EDTA activated by PIPS technique. Preparazione minimale dei canali vestibolari e MB2 a ISO 25/04 e 25/06 per il palatino. Root canal filling with gutta percha and cement (Endoreze, Ultradent, USA).

obturation. An optical fiber of 200 μ m diameter is initiated on a dark surface (figure 10), then placed at 1 mm from the apex and retracted with a helical movement, moving coronally (in five to ten seconds) taking care not to delay on the apex for more than 1 sec (figure 11). This procedure is repeated three times. For 810 nm diode laser parameters are: 2,5 W, pulsed mode (10 ms t-on, 10 ms t-off). For 980 nm diode laser parameters are: 1,5 W, pulsed mode. Nd:YAG laser should be used at 1,5 W, 15 Hz. After three applications of laser light with a fully wet root canal (hypochlorite solution as irrigant) a new irrigation with 10% citric acid or 17% EDTA is

performed together with a laser application. A final flush with hypochlorite solution is followed by a final laser application (figures 12-16).

DECONTAMINATION WITH MEDIUM INFRARED LASER

Considering its low efficacy in canal preparation and shaping, using the Erbium laser for decontamination in endodontics requires the use of traditional techniques in canal preparation, with the canals prepared at the apex with ISO 25/30 instruments. The final passage with the laser is possible thanks to the use of long, thin tips (200 and 320 μ m), available

with various Erbium instruments, allowing for easier reach to the working length (1 mm from apex). In this methodology, the traditional technique is to use a helical movement when retracting the tip (over a five- to ten-second interval), repeating three to four times depending on the procedure and alternating radiation with irrigation using common chemical irrigants, keeping the canal wet, while performing the procedure (NaClO and/or EDTA) with the integrated spray closed. Internationally accepted parameters for Er:YAG laser are: 1,125 W, energy 75 mJ, 15 Hz and for Er,Cr:YSGG lasers: 1,5 W, 75 mJ, 20 Hz.

EDTA o 5,5% NaOCl)²⁵. La tecnica si propone con un meccanismo diverso rispetto ai precedenti; essa sfrutta esclusivamente i fenomeni fotoacustici e fotomeccanici che risultano dall'utilizzo di energia minimamente ablativa di 20 mJ a 15 Hz, con impulsi di soli 50 microsecondi.

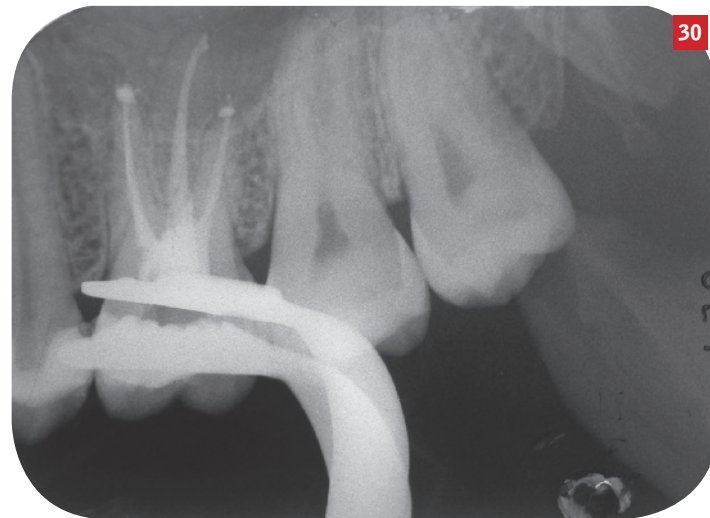
A fronte di una potenza media di soli 0,3 W, ogni impulso interagisce con le molecole d'acqua con una potenza di picco di 400 W, in grado di creare esplosione e successivo "shock waves" con formazione di un forte flusso di fluidi all'interno del canale, senza generare gli indesiderati effetti termici; questi, misurati con termocoppie sulla superficie radicolare, sono risultati essere 1,2 °C e 1,5 °C

rispettivamente a 20 e a 40 secondi. Questa sistematica, per la minima energia applicata e la ridotta potenza sviluppata, può essere considerata più una tecnica di irrigazione canalare che una procedura di irradiazione laser.

Gli effetti fisici (fototermici) indesiderati vengono ridotti o annullati, mentre sono implementati gli effetti chimici (decontaminante e/o detergente) propri dei vari irriganti utilizzati che vengono spinti nel sistema endodontico tridimensionalmente, con maggiore efficacia. Altro considerevole vantaggio deriva dall'inserimento della tip in camera pulpare all'imbocco canalare, senza avere problemi nell'inserimento delle punte a 5 mm o a 1 mm dall'apice come



29-30. Dente 47: secondo molare inferiore destro con ascesso periapicale acuto e radiolucenza all'esame radiografico. Trattamento in due sedute con medicazione intermedia con Ca(OH)₂. Detersione e decontaminazione con NaOCl ed EDTA attivate con tecnica PIPS (Er:YAG Fidelis III, Fotona, Slovenia). Otturazione dei canali laterali delle radici mesiale e distale, con



modica estrusione di cemento (Endoreze, Ultradent, USA).

29-30. Periapical abscess on 47. Two session treatment with intermediate medication with Calcium hydroxide and PIPS technique (Er:YAG Fidelis III; Fotona, Slovenia). Otturazione dei canali laterali delle radici mesiale e distale, con modica estrusione di cemento (Endoreze, Ultradent, USA).

Recently a new technique with Er:YAG lasers has been found by researchers. The Photon Initiated Photoacoustic Streaming (PIPS) technique presupposes the use of the Erbium laser (Powerlase AT/HT and LightWalker AT, both Fotona) and its interaction with irrigating solutions (17% EDTA or 5,5% NaOCl)²⁵. The technique uses a different mechanism from the preceding LAI. It exploits the photoacoustic and photomechanical phenomena exclusively, which result from the use of subablative energy of 20 mJ at 15 Hz, with impulses of only 50 µs. With an average power of only 0.3 W, each impulse interacts with the water molecules at a peak power

of 400 W, creating expansion and successive "shock waves" and leading to the formation of a powerful stream of fluids inside the canal, without generating the undesirable thermal effects seen with other methodologies. The study with thermocouples applied to the radicular apical third revealed only a 1.2 °C thermal rise after 20 seconds and 1.5 °C after 40 seconds of continuous radiation. This procedure due to the very low energy and low power delivered on tissues, can be considered an irrigation technique rather than a laser irradiation. Undesirable thermal effects are reduced or eliminated, while the efficacy of commonly used

irrigants are highly implemented. Another considerable advantage is derived from the insertion of the tip into the pulp chamber at the entrance to the root canal only, without the problematic insertion of the tip into the canal or 1 mm from the apex required by the other techniques. Newly designed tips (12 mm in length, 300 to 400 µm in diameter and with "radial and stripped" terminals) are used. The final 4 mm are without coating to allow a greater lateral emission of energy compared with the frontal tip. This mode of energy emission makes better use of the laser energy when, at subablative levels,

previsto per le altre tecniche. Vengono utilizzate punte di nuovo disegno di 12 millimetri di lunghezza, di 300-400 micron di diametro, con terminale "radial fring"; i 4 millimetri finali sono liberati dalla pellicola di rivestimento in modo tale da permettere una maggiore emissione laterale di energia, rispetto a quella frontale; questa modalità di emissione porta a un migliore utilizzo dell'energia laser che a soglia minimamente ablativa eroga una potenza di picco molto elevata per ogni singolo pulse (400 W), producendo così "shock wave" sugli irriganti, con un effetto fotoacustico e fotomeccanico importante sulla parete dentinale²⁵. La tecnica PIPS utilizza i seguenti parametri: energia 20 mJ, 15 pps, con impulso di 50 microsecondi e la specifica punta da 400 micron (lunga 14 mm) a emissione laterale, privata della guaina esterna negli ultimi 4 mm (tapered and stripped tip) (figure 17 e 18). Il protocollo operativo prevede un'irrigazione/irradiazione con ipoclorito di sodio al 5,5% con tecnica PIPS, per 20 secondi, dopo ogni strumentazione canalare e passaggio finale con irrigazione/irradiazione con EDTA al 17% per 20 secondi prima dell'otturazione (figure 19-30).

Discussione e conclusioni

Scopo del trattamento endodontico è pulire e disinfettare il sistema dei canali radicolari e nel sigillarlo tridimensionalmente ma, sfortunatamente, questo obiettivo non è sempre raggiunto. È raro per un trattamento ortograde superare il 90% di successo³³. Molti studi hanno dimostrato che trattamenti endodontici su denti vitali senza radiotrasparenze apicali hanno possibilità di successo migliori, con percentuali di insuccesso inferiori al 4% laddove la

percentuale di fallimento per denti non vitali con radiotrasparenze apicali sale al 20%³⁴. Molti fattori possono compromettere il risultato finale del trattamento endodontico, primo fra tutti la complessità anatomica del sistema dei canali radicolari e la conseguente difficoltà a far agire efficacemente gli irriganti nel terzo apicale³⁵. I laser Nd:YAG e a diodi da 810 nm a 980 nm si sono dimostrati efficaci nel ridurre la carica batterica endocanalare; recentemente anche i laser Er:YAG e Er,Cr:YSGG si sono dimostrati efficaci nel potenziare l'azione degli irriganti comunemente utilizzati, costituendo oggi un prezioso alleato per diminuire la carica batterica endocanalare e migliorare la rimozione dello smear layer prodotto dalla strumentazione. Il continuo miglioramento della tecnologia sta portando a un'evoluzione dell'interazione laser con il tessuto bersaglio, a interazione laser-irrigante-tessuto, con diminuzione degli effetti fisici indesiderati (termici) e aumentata perfusione ed efficacia degli effetti chimici (decontaminanti e chelanti) degli irriganti canalari.

Come ogni presidio tecnologico il loro utilizzo non può prescindere da una necessaria curva di apprendimento e dall'applicazione di parametri rigorosi acquisiti dalla letteratura scientifica internazionale.

Corrispondenza/Correspondence

Stefano Benedicenti
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biomediche Odontostomatologiche (DISTBIMO)
Università di Genova, Genova, Italy
Tel. +39 010.3537309, +39 06.5815190, Fax+39 010.3537020, benedicenti@unige.it

Giovanni Olivi
P.za F. Cucchi, 3
00152 Roma

delivery with very high peak power for each single pulse of 50 μ s (400 W) produces powerful "shock waves" in the irrigants, leading to a demonstrable and significant mechanical effect on the dentinal wall²⁵.

PIPS technique should be done as follows: energy 20 mJ, 15 pps with a very short pulse duration (50 microsecond) with a specific 400 micron tapered and stripped tip (figures 17 and 18).

The protocol provides an irrigation/irrigation with 5,5% hypochlorite solution and PIPS technique for 20 seconds after each mechanical instrumentation and final irrigation/irradiation with 17% EDTA before obturation (figures 19-30).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The goal of endodontic treatment is to clean and disinfect the root canal, and to hermetically seal it in three dimensions, but unfortunately this goal is not always achieved. It is rare for the success rate to exceed 90% for orthograde endodontic treatment³³. Varying results have been reported, and some studies show that vital teeth without periapical radiolucency show the best results, with as little as 4% failure, whereas numerous others studies have demonstrated that failure rates for non-vital teeth with periapical radiolucency are up to 20 % higher³⁴.

Different factors may compromise the treatment

outcome; prominent among these is the complex anatomy of the root canal system and the poor capacity of dental irrigants to decontaminate the apical third³⁵.

Nd:YAG lasers and 810 to 980 nm diode lasers proved themselves effective in reducing endocanal bacterial load: recently also Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers can be used to improve the efficacy of commonly used irrigants and remove the smear layer produced by endodontic instrumentation. Like every new technological aid, laser therapy needs a learning curve and the application of straight protocols drawn from internationally accepted literature.

Bibliografia/References

1. Moritz A, Schoop U, Kluger W, Jakolitsch S, Sperr W. Laser in endodontology. *Journal of Oral Laser Applications* 2001;2:87-97.
2. Ricucci D, Siqueira JF Jr. Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *J Endod* 2010 Jan;36(1):1-15.
3. Nagaoka S et al. Bacterial invasion into dentinal tubules of human vital and non vital teeth. *J Endod* 1995;21:70-73.
4. Ramachandran PN. Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *J Endod* 1987;13:29-39.
5. Shovelton DS. The presence and distribution of microorganisms within non vital teeth. *Br Dent J* 1964;117:101-107.
6. Meryon SD et al. Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity. *Int Endo J* 1990;23:196-202.
7. Berutti E et al. Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *J Endod* 1997;23:725-727.
8. Ghoddusi J, Rohani A, Rashed T, Ghaziani P, Akbari M. An evaluation of microbial leakage after using MTAD as a final irrigation. *JOE* 2007;vol 33,2:173-6.
9. Maiman TH. Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 1960;187:4493-494.
10. Weichman JA. Laser use in endodontics. *Oral Surgery* 1972;31:416-20.
11. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelik N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med* 2004;35(2):111-6.
12. Moritz A. *Oral Laser Application*. Berlin: Quintessence Verlags-GmbH, 2006, 258-277.
13. Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Wernisch J, Sperr W. In vitro irradiation of infected root canals with a diode laser: results of microbiologic, infrared spectrometric, and stain penetration examinations. *Quintessence Int* 1997, Mar;28(3):205-9.
14. Schoop U, Kluger W, Dervisebegovic S, Goharkhay K, Wernisch J, Georgopoulos A, Sperr W, Moritz A. Innovative wavelengths in endodontic treatment. *Lasers Surg Med* 2006 Jul;38(6):624-30.
15. Wang QQ, Zhang CF, Yin XZ. Evaluation of the bactericidal effect of Er,Cr:YSGG, and Nd:YAG lasers in experimentally infected root canals. *J Endod* 2007 Jul;33(7):830-2. Epub 2007 May 7.
16. de Souza EB, Cai S, Simionato MR, Lage-Marques JL. High-power diode laser in the disinfection in depth of the root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008 Jul;106(1):e68-72.
17. Benedicenti S, Cassanelli C, Signore A, Ravera G, Angiero F. Decontamination of root canals with the gallium-aluminum-arsenide laser: an in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2008 Aug;26(4):367-70.
18. Hibst R, Stock K, Gall R, Keller U. Controlled tooth surface heating and sterilization by Er:YAG laser radiation. *Proc. SPIE*; vol. 2922:119-1261.
19. Rizioiu IM, DeShazer GL. New laser-matter interaction concept to enhance hard tissue cutting efficiency. *Laser Tissue. San José, California: Interaction V*, Vol. 2134A, 309-317, 1994
20. Meister J, Franzen R, Forner K, Grebe H, Stanzel S, Lampert F, Apel C. Influence of the water content in dental enamel and dentin on ablation with erbium YAG and erbium YSGG lasers. *J Biomed Opt* 2006 May-Jun;11(3):34030.
21. Chen Z, Bogaerts A, Vertes A. Phase explosion in atmospheric pressure infrared laser ablation from water-rich targets. *App Phys Letters* 2006;89,041503:1-3.
22. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod* 2010 Sep;36(9):1580-3.
23. de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J* 2009 Dec;42(12):1077-83.
24. Hmud R, Kahler WA, George R, Walsh LJ. Cavitation effects in aqueous endodontic irrigants generated by near-infrared lasers. *J Endod* 2010 Feb;36(2):275-8. Epub 2009 Dec 4.
25. DiVito E, 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* 2010 Dec 1.
26. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch J, Sperr W. The bactericidal effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: an in vitro comparison. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17(4):161-4.
27. Eldeniz AU, Ozer F, Hadimli HH, Erganis O. Bactericidal efficacy of Er,Cr:YSGG laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation: an ex vivo pilot study. *Int Endod J* 2007 Feb;40(2):112-9.
28. Araki AT, Ibraki Y, Kawakami T, Lage-Marques JL. Er:Yag laser irradiation of the microbiological apical biofilm. *Braz Dent J* 2006;17(4):296-9.
29. Noiri Y, Katsumoto T, Azakami H, Ebisu S. Effects of Er:YAG laser irradiation on biofilm-forming bacteria associated with endodontic pathogens in vitro. *J Endod* 2008 Jul;34(7):826-9. Epub 2008 May 22.
30. Gordon W, Atabakhsh VA, Meza F, Doms A, Nissan R, Rizioiu I, Stevens RH. 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 Jul;138(7):992-1002.
31. Schoop U, Goharkhay K, Klimscha J, Zagler M, Wernisch J, Georgopoulos A, Sperr W, Moritz A. The use of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in endodontic treatment: the results of an in vitro study. *J Am Dent Assoc* 2007 Jul;138(7):949-55.
32. Schoop U, Barylyak A, Goharkhay K, Beer F, Wernisch J, Georgopoulos A, Sperr W, Moritz A. The impact of an erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tips on endodontic treatment. *Lasers Med Sci* 2007 Nov 20 [Epub ahead of print].
33. Sjogren U et al. Factors affecting the long term results of endodontics treatment. *J Endodon* 1990;16:498-504.
34. Kerekes K, Tronstad L. Long term results of endodontic treatment performed with astandardized technique. *J Endod* 1979;5:83-90.
35. Kreisler M et al. Efficacy of NaOCl/H2O2 irrigation and GaAlAs laser decontamination of root canals in vitro. *Lasers in surgery and Medicine* 2003;32:189-196.