

James L. Gutmann, D.D.S.

Professor and Director
Graduate Endodontic Programs
Baylor College of Dentistry
Dallas, Texas 75246 USA

Correspondence: *Direct all correspondence regarding this manuscript to Professor James L. Gutmann, 3302 Gaston Ave. Dallas, Texas 75246 USA*

Biological and Biomechanical Perspectives on Dentine and Root Structure Prior to Restoring Endodontically Treated Teeth

ABSTRACT

The dentine of pulpless teeth undergoes alteration in its inherent structure, which reduces its tensile strength and ability to safely flex within the parameters of forces identified during normal oral function. Coupled with moisture loss and architectural loss of tooth structure, pulpless teeth present with special and unique restorative needs, especially as they relate to radicular anatomy and supporting osseous tissue. The biological ramifications of these alterations in dentine are discussed and related to the treatment goals for endodontically treated teeth.

In 1895 G.V. Black (1) is credited with the first real attempt to analyze the physical properties of dentine. Although limited by technology, his ingenuity was not dissuaded as he also wished to address the possible changes which occurred in the dentin of devitalized teeth... "I have made a diligent search to find whether or not teeth from which the pulp had been removed, and the canals and pulp chamber filled without admitting the fluids of the mouth, were subject to a similar deterioration of strength. It is now well known that teeth treated in this way retain their color almost perfectly; and from my observation of the relation of color to strength of the teeth. I am prepared to entertain the suppositions that they retain their strength also. Only one tooth came into my hands with a root-filling. It was a central incisor, and had not sufficient tissue for me to obtain a block; but it showed no undue percentage of water, and the color was good. Up to the present time I have been unable to obtain the history of the filling of this root". When reading Black's appraisal of this tooth and his observations that there was no appreciable water loss after the root canal treatment, it is obvious that the issue of the dentine and its strength following endodontic treatment was already a concern nearly 100 years ago.

Key Words: Dentine, root, endodontic treatment, restoration.

INTRODUCTION

Multiple techniques have been advocated for the restoration of endodontically treated teeth, with the most popular being the use of a post-core and crown, especially when significant tooth structure has been lost. Proponents of this approach to restoration cite a plethora of benefits, including cuspal protection, core retention and increased strength and stabilization of the supporting root. Recent reports and studies, however, have focused on the retention of sound dentine, reduction in the use of intraradicular posts, and an increased use of material-enhanced core build-ups which can be bonded to dentine (2-3-4-5-6-7). This has led to the conservative restoration of endodontically treated teeth when sufficient coronal dentine remains or when radicular anatomy precludes the use of a post. Likewise, it has also prevented the possibilities of root perforation or fracture due to root wall thinness and the pressure of post cementation (8).

In order to understand these new directives in the restoration of endodontically treated teeth, a review of the biologic factors which impact on the remaining root and dentine is essential (9).

This is necessary because there has been a general acceptance of the empirical statement that endodontically treated teeth are "more brittle" and subject to fracture (10). In this paper five major areas of concern for the practitioner will be discussed, which have a unique and direct impact on the biology of the "root-dentine complex". These include:

1. moisture loss from dentine
2. architectural alterations subsequent root canal treatment
3. behavior of dentine under stress
4. dentine toughness and changes after treatment
5. alterations in the collagen network which comprises the scaffold for the calcified dentine.

MOISTURE LOSS

The moisture content of the coronal dentine is approximately 13.2%. However, because

coronal dentine contains many more tubules than radicular dentine by a ratio of approximately 2:1, there may be less moisture in radicular dentine due to the greater amounts of inorganic material.

Likewise, as teeth age, greater amounts of peritubular dentine are laid down, which also diminishes the amount of organic material which may contain moisture.

In 1956, Battistone and Burnett (11) were not able to rehydrate teeth completely after removing the moisture content. They indicated that once the moisture has been lost from calcified tissues, it is not recoverable, even in a saturated atmosphere at body temperature. Hence, if endodontically treated teeth really did suffer from moisture loss, this loss would be irreversible. However, Jameson and associates (12) recently were able to demonstrate that dentine could be effectively rehydrated and that changes in the biomechanical properties accompanied by dehydration could be reversed.

In 1972, Helfer et al. (13) determined that the moisture of a tooth was divided into free water and bound water. The amount of free water was determined gravimetrically, while the bound water was tested by differential thermal analysis. Their identified study a 9 per cent moisture loss in the calcified tissues of pulpless dog teeth. Recently, Huang and coworkers (14), when evaluating wet, air-dried, desiccated and rehydrated dentine specimens, could not demonstrate that there were significant changes in the compressive and tensile strengths of dentine from pulpless teeth and normal teeth. Their study could not support the theory that dehydration after root canal treatment weakens dentine structure in these parameters of evaluation, and they stated that, "a significant increase of brittleness is unlikely to occur from water loss alone". On the other hand, Jameson and coworkers (12) recently identified the fact that dehydration of human dentine resulted in the absence of plastic energy of deformation and significantly reduced the energy required to induce fracture, manifesting as brittle behavior. The question still remains, however, in the *in vivo* setting, is the behavior of dentine as described by many as brittleness, the basis

James L. Gutmann, D.D.S.
Autore invitato

Professore e Direttore
dei Programmi Endodontici Post-Laurea
alla Baylor College of Dentistry
Dallas, Texas 75246 USA

*Indirizzare la corrispondenza riguardante
questo lavoro al Professor James L. Gutmann,
3302 Gaston Ave.
Dallas, Texas 75246 USA*

Lavoro originale

Considerazioni biologiche e biomeccaniche sulla dentina e sulla struttura della radice prima della ricostruzione di denti trattati endodonticamente

RIASSUNTO

La dentina dei denti senza polpa subisce un'alterazione della propria struttura riducendo la sua resistenza alla tensione e la sua flessibilità entro i parametri delle forze identificate durante una normale funzione orale. Con la perdita d'acqua e della struttura architettonica del dente, i denti senza polpa hanno particolari esigenze di ricostruzione, esigenze che devono tener conto dell'anatomia radicolare e del tessuto osseo di sostegno. Le considerazioni biologiche di queste alterazioni della dentina vengono discusse e messe in relazione agli obiettivi del trattamento per denti trattati endodonticamente.

Il primo vero tentativo per analizzare le proprietà fisiche della dentina viene attribuito a G.V.Black nel 1895. Sebbene limitata dalla tecnologia dell'epoca, la sua ingegnosa non fu scoraggiata in quanto desiderava studiare i possibili cambiamenti che avvenivano nella dentina di denti trattati endodonticamente... "Ho fatto una ricerca diligente per scoprire se i denti dai quali la polpa era stata rimossa, ed il canale e la camera pulpale erano stati otturati senza ammettere i fluidi orali, fossero soggetti ad un simile deterioramento della forza. Ormai è risaputo che i denti trattati in questo modo mantengono quasi alla perfezione il loro colore e dalle mie osservazioni inerenti la relazione esistente tra colore e forza dentale, suppongo che mantengano anche la loro forza. Mi è capitato sotto mano un unico esemplare di dente con la radice otturata. Era un incisivo centrale che non aveva sufficiente tessuto da permettermi di ottenere un blocco, ma non mostrava una sproporzionata percentuale d'acqua e il colore era buono.

Finora non sono stato in grado di ottenere l'anamnesi dell'otturazione di questo dente". Leggendo la valutazione di Black riguardante questo dente e le sue osservazioni sul fatto che non c'era stata un'apprezzabile perdita d'acqua dopo il trattamento endodontico, è ovvio che l'argomento concernente la dentina e la sua forza in seguito a trattamento endodontico era già d'interesse quasi cent'anni fa.

Parole chiave: Dentina, radice, trattamento endodontico, restaurazione.

INTRODUZIONE

Sono state realizzate molte tecniche per la ricostruzione di denti trattati endodonticamente: la più popolare resta quella che contempla l'uso di un perno e una corona quando c'è una significativa perdita della struttura dentale. I sostenitori di questo approccio alla ricostruzione citano un grande numero di benefici, tra cui la protezione cuspidale, la ritenzione del perno, la maggior forza e stabilità della radice di supporto. Tuttavia, recenti studi hanno posto l'attenzione sulla ritenzione di dentina sana, su un minor uso di perni intraradicolari, e su un più frequente uso di ricostruzioni in materiale rigido che possono essere cementate alla dentina (2-3-4-5-6-7). Questo ha permesso la ricostruzione conservativa di denti trattati endodonticamente quando rimane sufficiente dentina coronale oppure quando l'anatomia radicolare preclude l'uso di un perno. Allo stesso modo ha evitato il rischio di perforare la radice o di fratturare le sottili pareti della radice per la pressione esercitata durante la cementazione del perno (8).

Per capire queste nuove direttive della ricostruzione di denti trattati endodonticamente, è essenziale una revisione dei fattori biologici che influiscono sulla radice e sulla rimanente dentina (9), in quanto è generalmente accettata l'affermazione empirica che i denti endodonticamente trattati sono "più fragili" e soggetti a fratture (10). In questo studio vengono discusse cinque principali aree di interesse per l'operatore, aree che hanno un singolare e diretto impatto sulla biologia del "complesso radice-dentina". Queste aree comprendono:

1. la perdita di umidità dalla dentina
2. le alterazioni architettoniche in seguito a trattamenti endodontici
3. il comportamento della dentina sotto stress
4. la resistenza della dentina e i cambiamenti della stessa in seguito a un trattamento
5. le alterazioni del reticolo collagene che costituisce l'impalcatura della dentina calcificata.

PERDITA D'UMIDITÀ

Il contenuto d'acqua nella dentina coronale è di circa 13.2%. Tuttavia, poiché la dentina coronale contiene tubuli dentinali in numero maggiore rispetto alla dentina radicolare con un rapporto di circa 2:1, è possibile che ci sia meno umidità nella dentina radicolare dovuta alla maggior quantità di materiale organico. Similmente, man mano che i denti invecchiano, si forma una maggiore quantità di dentina peritubulare e diminuisce la quantità di materiale organico che potrebbe contenere l'umidità.

Nel 1956, Battistone e Burnett (11) dopo aver rimosso l'umidità di alcuni denti, non sono stati in grado di reidratarli completamente. Hanno concluso che una volta che l'umidità venga persa dal tessuto calcificato, non si può più recuperarla, anche in un ambiente saturo a temperatura corporea. Quindi, se un dente trattato endodonticamente aveva veramente subito una perdita d'umidità, questa perdita era irreversibile. Recentemente però, Jameson et al. (12) hanno dimostrato che la dentina si può reidrattare e che i cambiamenti delle proprietà biomeccaniche accompagnati dalla disidratazione possono essere invertiti.

Nel 1972, Helfer et al. (13) stabilirono che l'acqua di un dente era divisa in acqua libera e acqua legata. La quantità di acqua libera venne determinata gravimetricamente, mentre l'acqua legata venne calcolata attraverso un'analisi termale differenziale. La loro ricerca trovò una perdita d'acqua del 9% nel tessuto calcificato di denti di cani senza polpa.

Huang e colleghi (14), quando valutarono campioni di dentina umida, prosciugati all'aria, essiccati e reidratati, non poterono dimostrare che ci fossero significative differenze delle forze compressive e di tensione tra la dentina di denti senza polpa e quella di denti normali. Con i parametri di valutazione che utilizzarono nel loro studio, non poterono sostenere la teoria che la disidratazione in seguito ad un trattamento endodontico indebolisce la struttura della dentina e affermarono che "un significativo aumento della fragilità probabilmente non dipende dalla sola perdita d'acqua".

D'altro canto, Jameson e colleghi (12) recentemente hanno scoperto che la disidra-

for the perceived alteration in the response of this tissue to ultimate restorative procedures and function.

ARCHITECTURAL ALTERATIONS

The removal substantial amounts of dentine during endodontic access preparation and canal cleaning and shaping, apparently do not significantly weaken the tooth. Reeh and coworkers (15) evaluated the effects of endodontic procedures versus restorative procedures on the reduction in tooth stiffness. While restorative procedures contributed greatly to the loss of tooth stiffness, endodontic procedures reduced tooth stiffness by only 5 per cent, which was attributed primarily to the access opening. A three-surface cavity preparation reduced tooth stiffness by more than 60 per cent, with the loss of the marginal ridge contributing the greatest to loss of tooth strength. This loss of architectural integrity has received significant attention regarding cuspal anatomy, flexure and strength. With the reduction of tooth structure, such as the inner cuspal slopes, which ties the cusps together, or which exposes acute cuspal angles a significantly greater chance of fracture exists. Therefore, while there is substantiation for the decrease in the strength of endodontically treated teeth when the tooth architecture has been altered, at least coronally, the loss of strength is not necessarily of endodontic origin. The excessive removal of radicular dentine during canal cleaning and shaping and post space preparation will, however, place the root in a compromised position.

TOOTH BEHAVIOR UNDER STRESS

The biomechanical behavior of teeth under stress has been investigated, and has provided some insight into the changes which may occur the pulpless tooth. Tidmarsh (16) identified an intact tooth as a hollow, laminated structure that deforms under load, that is, it may shorten, its sides may bulge, and its cusps may be wedged apart by opposing cusps. Although under physiologic loads complete elastic recovery takes place, permanent deformation may follow very high or sustained loads. Therefore, the tooth appears to behave as

Tab. 1

PHYSICAL PROPERTIES OF DENTINE		
Elastic Modulus	1.90 x 10 ⁶	pounds per square inch
Tensile Strength (proportional limit)	7.00 x 10 ³	pounds per square inch
Compressive Strength (breaking stress)	43.00 x 10 ³	pounds per square inch

a prestressed laminate. In this state a structure can withstand greater loads in the prestressed rather than the unstressed state, because the prestressed mode can flex with the varying degree and angle of load applied.

If correct, this phenomenon assumes significance when the cuspal inner slopes are removed during endodontic access preparation or cavity preparation, and the prestressed state is destroyed. Subsequently, stress is released and there can be a slight shift in cuspal structure. However, the tooth can now deform to a much greater extent under applied loads, and thus be susceptible to fracture. Grimaldi (17) has shown that there is a direct relationship between the amount of central tooth structure that is lost in cavity preparation and the deformations that occur under load. This would seem to apply to teeth which have endodontic cavity preparations. Integrated into this scheme would be the nature of the cuspal anatomy, its buccal-lingual width and angle of inclination. As previously indicated, Jameson et al. (12) identified the loss of the plastic energy of deformation when dentine was dehydrated, thereby subjecting the tooth to fracture at reduced energy levels. When these concepts are integrated, with architectural changes in tooth structure, a pattern begins to emerge relative to the alterations which may occur in the root-dentine-tooth complex which may impact on its ultimate clinical behavior.

DENTINE TOUGHNESS

The physical properties of dentine vary significantly from tooth and within the same tooth (18-19). The significant physi-

cal aspects of dentine are the modulus of elasticity, which is defined as the slope of the stress-strain curve within the elastic limit; the proportional limit or tensile strength, which is defined as the stress beyond which is no longer proportional to strain or the limit above which deformation becomes non-linear and non-elastic; and compressive strength, which is the highest stress the material will withstand (Tab. 1). During experimentation, Tyldesley (19) noted that at the breaking stress, fracture took place along the lines of maximum shear and of principle stress, rather than along the lines of tubule orientation. Even with specimens with distinctly different tubule orientation and distributions, the dentine gave similar results for physical property tests. Therefore dentine, under dynamic catastrophic testing of bending and torsion, has been regarded as an isotropic material. In essence this means that the properties of dentine are independent of tubule orientation (Fig. 1).

This explains why dentine is seen to fracture longitudinally and perpendicularly to the dentinal tubules. Even with an apparent fracture at the gingival or osseous crest, dentinal tubules do not parallel these landmarks, but rather display a coronal to apical "S-shaped" curvature. In studies designed to examine fractured dentinal surfaces, tubule direction, tooth type, specimen location, age and sex had no influence on the nature of the surface, which further supports the isotropic nature of this tissue (20).

The fracture properties of dentine were further evaluated by Rasmussen et al., who determine the work required to initiate and propagate a fracture in dentine. Wider

Tab. 1

LE PROPRIETÀ FISICHE DELLA DENTINA

Modulo elastico	1.90 x 10⁶	libre per pollice quadrato
Forza di tensione (limite proporzionale)	7.00 x 10³	libre per pollice quadrato
Forza compressiva (punto di massimo stress)	43.00 x 10³	libre per pollice quadrato

tazione della dentina umana comporta la perdita di plasticità e deformabilità e inoltre riduce significativamente l'energia richiesta per indurre una frattura, con conseguente aumento della fragilità. Tuttavia il dilemma rimane, in situazioni *in vivo*, se il comportamento della dentina, descritto da molti come fragilità, non sia alla base delle supposte alterazioni percepite nella risposta di questo tessuto a definitive tecniche di ricostruzione e alla funzione.

ALTERAZIONI ARCHITETTONICHE

Apparentemente la rimozione di notevoli quantità di dentina durante la preparazione dell'accesso endodontico e durante la pulizia e modellazione del canale radicolare non indebolisce il dente in modo significativo. Reeh e colleghi (15) hanno valutato gli effetti delle tecniche endodontiche rispetto a quelle di ricostruzione sulla riduzione della rigidità dentale. Mentre le tecniche di ricostruzione hanno contribuito tantissimo alla perdita della rigidità dentale, le tecniche endodontiche hanno ridotto la rigidità dentale solo del 5%, perdita causata principalmente nella fase di apertura della camera pulpale. La preparazione di una cavità su tre superfici riduce la rigidità dentale di oltre il 60%; la perdita della cresta marginale è la zona anatomica che contribuisce di più alla perdita della resistenza alla tensione. Questa perdita d'integrità dell'architettura ha implicato una particolare attenzione riguardo l'anatomia, la flessibilità e la forza cuspidale.

Con la riduzione della struttura dentale, in particolare delle creste triangolari che legano insieme le cuspidi, o con la creazione di angoli vivi acuti, esiste una maggior possibilità di frattura. Quindi, mentre è stata con-

fermata una resistenza alla tensione nei denti trattati endodonticamente quando l'architettura dentale è stata alterata coronalmente, la perdita di forza non è necessariamente d'origine endodontica. Però l'eccessiva rimozione di dentina radicolare durante la pulizia, la modellazione del canale radicolare e la preparazione di uno spazio per il perno, può compromettere la situazione della radice.

IL COMPORTAMENTO DEL DENTE SOTTO STRESS

È stato studiato il comportamento biomeccanico di denti sotto stress e i risultati dell'esame hanno permesso un'intuizione riguardo i cambiamenti che potrebbero avvenire in un dente senza polpa.

Tidmarsh (16) ha descritto un dente intatto come una struttura cava e stratificata che si deforma sotto carico, cioè che può ridursi in altezza, i lati possono deformarsi e le sue cuspidi possono essere incuneate da cuspidi opposte. Anche se dopo un carico fisiologico si ha un recupero elastico e totale, carichi forti o sostenuti comportano una deformazione permanente. Quindi il dente sembra comportarsi come un laminato prestressato. In tale condizione una struttura può sopportare carichi maggiori in uno stato di pre-stress piuttosto che in uno stato di assenza di stress, perché in condizione prestressata può flettere secondo il grado e angolo del carico applicato.

Se giusto, questo fenomeno diventa significativo quando le creste triangolari vengono rimosse durante la preparazione dell'accesso endodontico e lo stato di prestress viene distrutto. Quando successivamente lo stress viene tolto, ci può essere un leggero cambiamento della struttura cuspidale.

Però ora il dente potrebbe deformarsi maggiormente sotto carico e quindi essere suscettibile a fratture.

Grimaldi (17) ha dimostrato che c'è un rapporto diretto tra la quantità di struttura centrale del dente che viene persa durante la preparazione della cavità endodontica e le deformazioni che possono verificarsi sotto carico. Integrata in questo schema ci sarebbe anche l'anatomia cuspidale, la sua larghezza bucco-linguale e l'angolo di inclinazione della preparazione cavitaria. Come indicato prima, Jameson et al. (12) hanno identificato la perdita di plasticità di deformazione allorché la dentina venga disidratata, e perciò rende il dente soggetto a frattura a livelli ridotti d'energia. Integrando questi concetti con quelli delle alterazioni architettoniche della struttura dentale, incomincia a emergere uno schema relativo alle alterazioni che si possono avere nelle strutture di un dente trattato endodonticamente e che influenzano il comportamento clinico definitivo.

LA RESISTENZA DELLA DENTINA

Le proprietà fisiche della dentina possono variare in modo significativo da dente a dente e all'interno dello stesso dente (18-19). Gli aspetti fisici significativi della dentina sono l'elasticità, che viene definita come l'inclinazione della curva stress-tensione entro il limite elastico; il limite proporzionale o forza di tensione, il cui limite è definito come quel punto dello stress oltre il quale lo stress non è più proporzionale alla tensione o sopra il quale la deformazione diventa non-lineare e non-elastica; la forza compressiva che è il massimo stress che il materiale è in grado di sopportare (Tab. 1).

Durante la sperimentazione, Tyldesley (19) ha notato che al punto di massimo stress il dente si frattura lungo le linee di massima curvatura e di stress principale, invece che lungo le linee di orientazione dei tubuli dentinali. Anche in campioni con orientazioni e distribuzioni dei tubuli dentinali distintamente diverse, la dentina dava simili risultati nei test sulle proprietà fisiche. Perciò la dentina, dopo essere stata sottoposta ad un test dinamico e di flessione e di torsione, è stata classificata come un materiale *isotropico*. Questo significa che le proprietà della dentina sono indipendenti dall'orientazione

variations in fractures were noted for those perpendicular to the tubules as opposed to those parallel to the tubules. These data supports dentine as a more anisotropic material in terms of strength rather than in terms of fracture, as these findings were established under controlled experimental conditions as opposed to catastrophic fractures which are more appropriately seen in the oral cavity (20). A likely explanation for this phenomenon was the crack for perpendicular fractures passed between the collagenous networks that form in the planes nearly perpendicular to the tubules, whereas parallel fractures require a breaking of these collagenous networks, and thus, requires a greater amount of work. This degree of work required may be reduced however, in light of the fact that collagen intermolecular crosslinks may be weaker in endodontically treated teeth (21). Thus the fracture toughness of dentine may vary to some extent with tubule orientation, angle and force of the load applied, the crack velocity and the nature of the collagen fibrils (22).

Toughness of a material is measured by the total energy required to fracture that material. Another technique which has been used to determine the toughness of a material is the micro-indentation or micro-hardness technique. Imprints are made in the material with specific loads. The depth of the indentation gives a measure of the hardness of the material. In 1981, Lewinstein and Grajower (23), using the Vickers hardness test, could not substantiate an increase in dentine hardness between vital teeth and root canal treated teeth, even after five to ten years post treatment. However they advised caution in making the assumption that the mechanical properties of root dentine are not affected by endodontic treatment, especially since this study did not address the total energy required to "fracture" the material, i.e. dentine toughness. Recently, Sedgley and Messer (24) found similar findings in that vital dentine was only 3.5% harder than dentine from contralateral endodontically treated teeth. It was determined that the similarity between the biomechanical properties of endodontically treated teeth and

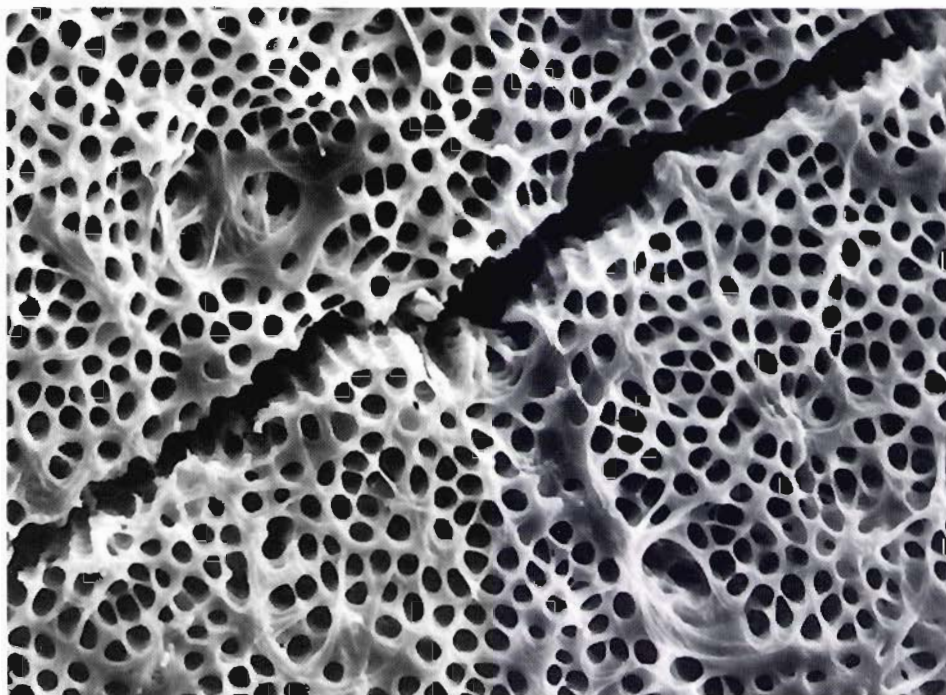


Fig. 1 - Scanning electron microscope section of dentin that exhibits fractures both perpendicular and parallel to the dentinal tubules. Original magnification X720.

Fig. 1 - Una sezione, fatta con il microscopio elettronico a scansione, della dentina che mostra fratture sia perpendicolari che parallele ai tubuli dentinali. Ingrandimento originale X 720.

their contralateral vital pairs indicates that teeth do not become more brittle following endodontic treatment.

With respect to tubule sclerosis, which often occurs in radicular dentine, there is no apparent impact of this process on the fracture toughness of dentine or on increases in root dentine hardness. Therefore, sclerosis of the root dentine tubules would seem to have little if any effect on strengthening root structure.

Dentine is a weak ductile material in which the strength and toughness may vary according to a number of factors. In 1983, Carter and coworkers (25) used a punch shear test to evaluate the shear strength values of specimens of human dentine taken from the cervical area of vital and endodontically treated teeth. These values were found to positively correlate with the approximate toughness values. The shear strength and toughness values of dentine from endodontically treated teeth were lower and significantly different from those found in the dentine of vital teeth. The values did not discriminate between anatomical type except for mandibular incisors, which have the lowest value. Also, maxillary teeth tended to be stronger than mandibular teeth. This study demonstrated a 14% reduction in the strength and toughness of the cervical dentine in endodontically treated molar teeth. This degree of toughness difference between vital and endodontically treated teeth, using the punch shear test, could not be substantiated in studies by Sedgley and Messer in 1992 (24).



Fig. 3 - Post space prepared in a maxillary canine. Only the mesial-distal dimensions of the canal space can be ascertained in the periapical radiograph. External root invaginations are not visible on this type of radiographic film.

Fig. 3 - Lo spazio preparato per il perno in un canino mascellare. Soltanto le dimensioni mesio-distali dello spazio canalare possono essere accertate nella radiografia periapicale. Non sono visibili su questo tipo di pellicola radiografica le invaginazioni radicolari esterne.



Fig. 2 - Mandibular first molar with varying degrees of bone loss. The restorative needs, the periodontal condition, and the quality of the root canal treatment must be considered in the overall prognosis of the case.

Fig. 2 - Un primo molare mandibolare con vari gradi di perdita ossea. Nella globale diagnosi di questo caso, sono da prendere in considerazione le esigenze restaurative, la condizione parodontale, e la qualità del trattamento endodontico.

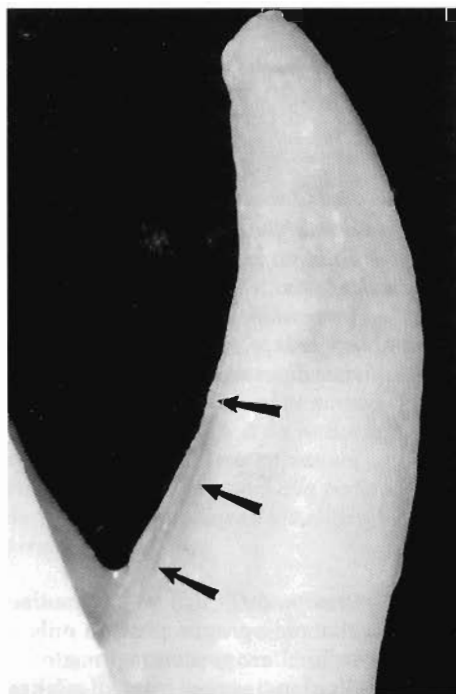


Fig. 4 - Curvature of the palatal root to the facial. External root invagination (arrows) predisposes to a perforation during post space preparation or post placement.

Fig. 4 - La curvatura della radice palatale verso il facciale. Un'invaginazione esterna della radice (freccie) predispone alla perforazione durante la preparazione dello spazio per il perno o durante l'inserimento dello stesso.

dei tubuli dentinali (Fig. 1) e spiega perché la dentina si frattura longitudinalmente e perpendicolarmente ai tubuli dentinali. Anche con una visibile frattura alla cresta gengivale o ossea, i tubuli dentinali non sono paralleli a questi punti di riferimento, ma esibiscono una curvatura a "S" coronale-apicale. In studi atti ad esaminare superfici dentinali fratturate, né la direzione dei tubuli dentinali, né il tipo di dente, né la zona del campione, né l'età, né il sesso avevano influenza sulla natura della superficie, il che conferma ulteriormente la natura isotropica di questo tessuto (20).

Sono state ulteriormente valutate da Rasmussen et al. le caratteristiche della frattura e hanno descritto come origina una frattura e come si propaga nella dentina. Hanno notato che ci sono più tipi di fratture perpendicolari ai tubuli dentinali rispetto a quelle parallele ai tubuli dentinali. Questi dati sostengono l'idea che la dentina sia un materiale *anisotropico* in termini di forza piuttosto che in termini di frattura perché queste constatazioni sono state fatte in condizioni sperimentali controllate rispetto a delle fratture catastrofiche che si vedono più appropriatamente nella cavità orale (20). Una possibile spiegazione di questo fenomeno è che le fratture perpendicolari passano parallelamente alle reti collagene che sono quasi perpendicolari ai tubuli dentinali, mentre le fratture parallele determinano la rottura di queste reti collagene, e quindi richiedono molto più lavoro. Questa quantità di lavoro richiesta può essere ridotta però alla luce del fatto che i legami incro-

ciali intermolecolari di collagene potrebbero essere più deboli nei denti endodonticamente trattati (21). Perciò la resistenza della dentina alla frattura può variare un po' con l'orientazione dei tubuli, l'angolo e la forza del carico applicato, la velocità dell'incrinatura e la natura delle fibrille collagene (22). La resistenza di un materiale viene determinata misurando la quantità di energia necessaria per fratturare quel materiale. Un'altra tecnica usata per stabilire la resistenza di un materiale è la tecnica della micro-intaccatura o della micro-durezza. Vengono fatte delle impronte nel materiale usando carichi specifici. La profondità dell'intaccatura dà una misura della durezza del materiale. Nel 1981 Lewinstein e Grajower (23), usando la prova di durezza di Vickers, non sono stati in grado di trovare una maggiore durezza della dentina nei denti vitali rispetto a denti trattati endodonticamente anche dopo 5-10 anni dal trattamento. Tuttavia hanno messo in guardia chi presume che le proprietà meccaniche della dentina radicolare non siano influenzate dal trattamento endodontico specialmente perché il loro studio non valutava l'energia richiesta per "fratturare" questo materiale e misurare la resistenza della dentina.

Di recente Sedgley e Messer (24) hanno avuto simili riscontri, cioè che la dentina vitale era solo 3.5% più dura della dentina nei denti controlaterali endodonticamente trattati. Le similarità tra le proprietà biomeccaniche di denti trattati endodonticamente rispetto ai controlaterali vitali indicano che i denti non diventano più fragili in seguito a trattamento endodontico.

Riguardo la sclerosi dei tubuli dentinali, che si manifesta nella dentina radicolare, non esiste un'evidente influenza di questo processo sulla resistenza della dentina a fratture o su un aumento della durezza della dentina radicolare. Perciò sembra che la sclerosi dei tubuli della dentina radicolare abbia poco o nessun effetto sul rinforzarsi della struttura radicolare.

La dentina è un materiale duttile, debole, nel quale la forza e la resistenza possono variare secondo diversi fattori.

Nel 1983 Carter e colleghi (25) hanno usato un "punch shear test" per valutare i valori della forza di tensione in campioni di denti-

These findings, based on the physical and mechanical properties of dentine, indicate that dentine, when altered may act as a brittle structure, and that alterations in the nature of this material, whether biochemically, structurally or in the amount available, subject dentine to the potential for fracture.

ALTERATIONS IN DENTINAL COLLAGEN

Collagen forms the organic matrix of dentine with inorganic calcium phosphate salts impregnating the fibers of the matrix. When decalcified sections of dentine are viewed in the transmission electron microscope, dentine collagen is seen to consist of rather large fibrils each demonstrating a periodicity characteristic of Type I collagen, which is a genetically specific, immunospecific form of collagen (26). This pattern is the typical alignment for the tropocollagen subunits that compose the polymerized collagen fibrils. The cross-banding pattern, which is seen, reflects the overlapping of adjacent tropocollagen moieties by one fourth of their total length (2800Å). During polymerization and intermolecular crosslinking, the collagen fibers achieve their characteristic physical properties of rigidity, resistance to stretching and remarkably high tensile strength found in most calcifying tissues. Changes in these crosslinks may contribute to the so-called "brittleness" of pulpless teeth, as preliminary studies by Rivera et al. (21) have identified that there are more immature and less mature crosslinks in the dentine root-filled teeth. This potentially could account for some of the decrease in tensile strength which is claimed to occur in these circumstances.

When all five of the biologic aspects of dentine are integrated, a rationale explanation for the purported changes in the strength of the tooth structure in pulpless teeth can be set forth. There are irreversible changes in the anatomy, biochemistry and biomechanical properties of the dentine subsequent to pulp loss and endodontic treatment. The remaining structure is also compromised by the loss of strategic architectural aspects, which appears to

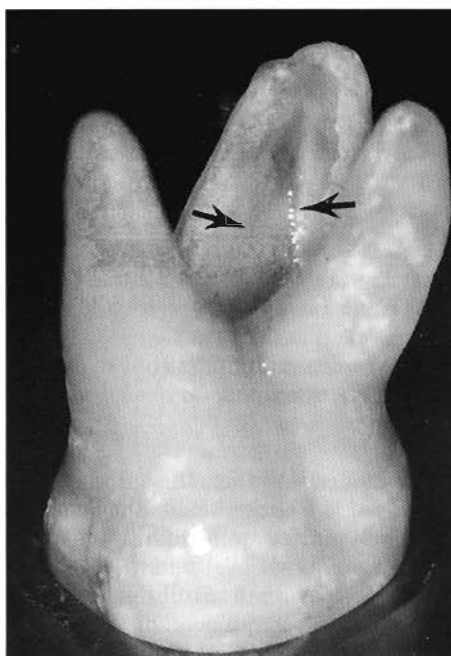


Fig. 5 - External root invagination on the distal surface of the mesial-facial root (arrows) of the maxillary first molar is common.

Fig. 5 - Un'invaginazione esterna sulla superficie distale della radice mesio-facciale (freccie) del primo molare mascellare è comune.



Fig. 6a - View of the external invagination along the distal surface of the mesial root of a mandibular molar.

Fig. 6a - Una visione dell'invaginazione esterna lungo la superficie distale della radice mesiale di un molare mandibolare.

have the greatest impact on the ultimate strength of the pulpless tooth.

ANATOMICAL ROOT FACTORS INFLUENCING RESTORATION

Treatment goals for each endodontically treated tooth must be based upon a multitude of factors.

These include occlusion, patient function, tooth position, periodontal status, prosthetic needs, economics, amount of remaining viable tooth structure and root morphology (Fig. 2). Of critical importance is the status of the root which is to be restored.

There is a tremendous dependency on the radiograph as the most important diagnostic aid for determining the anatomy of the

root to be restored (Fig. 3). While routine periradicular radiographs provide only a two-dimensional cross-sectional anatomy of the radicular tissues, from mesial to distal, additional views from proximal or occlusal angulations will provide additional information regarding root curvatures and extra roots. Since the exact buccal-lingual dimensions or the mesial-distal shape of the roots between the buccal-lingual dimensions cannot be accurately ascertained, there is an imperative need for a thorough knowledge of both internal and external root anatomy prior to undertaking the rebuilding of the tooth.

A discussion of the major concerns in radicular anatomy prior to the restoration of



Fig. 6b - Views of the invaginations on the mesial surface of the mesial root and the mesial surface of the distal root of the same tooth. These anatomical variances predispose to perforation during post space preparation.

Fig. 6b - Visioni delle invaginazioni sulla superficie mesiale della radice mesiale e sulla superficie mesiale della radice distale dello stesso dente. Queste variazioni anatomiche predispongono alla perforazione durante la preparazione dello spazio per il perno.

na umana presi dalla zona cervicale di denti vitali e di denti trattati endodonticamente. Hanno trovato che questi valori avevano una diretta correlazione con i valori approssimativi della resistenza. I valori della forza di tensione e della resistenza della dentina nei denti trattati endodonticamente erano più bassi e diversi in modo significativo da quelli trovati nella dentina di denti vitali. I valori non hanno discriminato tra i tipi anatomici tranne per gli incisivi inferiori che hanno dato i valori più bassi. Inoltre i denti mascellari sono risultati più forti di quelli mandibolari. Questo studio ha dimostrato una riduzione del 14% della forza e della resistenza della dentina cervicale nei molari trattati endodonticamente. Questo grado di

differenza nella resistenza tra denti vitali e denti trattati endodonticamente usando il "punch shear test", non è stato convalidato negli studi fatti da Sedgley e Messer nel 1991 (24).

Queste constatazioni, basate sulle proprietà fisiche e meccaniche della dentina, indicano che la dentina, quando alterata, potrebbe comportarsi come una struttura fragile e che alterazioni della natura di questo materiale, che avvengano biochimicamente, strutturalmente o nella quantità disponibile, rendono la dentina soggetta a possibile frattura.

ALTERAZIONI DEL COLLAGENO DENTINALE

Il collagene forma la matrice organica della dentina e sali inorganici di fosfato di calcio impegnano le fibre della matrice. Quando una sezione decalcificata di dentina viene esaminata al microscopio elettronico di trasmissione, si vede che il collagene della dentina consiste di fibrille piuttosto grandi che dimostrano una periodicità tipica del collagene Tipo I, una forma di collagene geneticamente specifico e immunospecifico (26). Questo modello è il tipico allineamento delle unità secondarie di tropocollagene che compongono le fibrille collagene polimerizzate. Il modello "cross-banding" che si nota, mostra la sovrapposizione di un quarto della loro lunghezza totale (2800Å) di piccole quantità adiacenti di tropocollagene. Durante la polimerizzazione e il "cross-linking" intermolecolare, le fibre collagene assumono le loro caratteristiche proprietà fisiche di rigidità, resistenza allo "stretching" e una straordinaria forza alla tensione trovata in quasi tutti i tessuti calcificati. Cambiamenti in questi legami incrociati possono contribuire alla cosiddetta "fragilità" di denti senza polpa, come identificata in studi preliminari fatti da Rivera et al. (21) che hanno scoperto che ci sono più legami incrociati immaturi e meno maturi nella dentina di denti con la radice otturata. Questo potrebbe essere una spiegazione per il calo della forza di tensione che si crede avvenga in queste circostanze.

Quando tutti e cinque gli aspetti biologici della dentina sono integrati, si può cercare una razionale spiegazione per i cambiamen-

ti della forza della struttura dentale in denti senza polpa. In seguito a trattamento endodontico e alla perdita di dentina, avvengono cambiamenti irreversibili dell'anatomia e delle proprietà biochimiche e biomeccaniche della dentina. La struttura dentale rimanente è ulteriormente compromessa dalla perdita di strategici aspetti architettonici, il che sembra aver il maggior impatto sulla definitiva forza di un dente senza polpa.

FATTORI ANATOMICI DELLA RADICE CHE INFLUENZANO LA RICOSTRUZIONE

Gli obiettivi del trattamento per ogni dente trattato endodonticamente devono essere basati su molteplici fattori. Questi comprendono l'occlusione, "patient function", la posizione del dente, lo stato del parodonto, le esigenze protesiche, il costo, la quantità di struttura dentale vitale residua e la morfologia della radice (Fig. 2). Di grande importanza è lo stato della radice del dente da ricostruire.

Un'enorme importanza viene data alla radiografia come aiuto diagnostico per determinare l'anatomia di una radice da ricostruire (Fig. 3). Mentre le radiografie peri-apicali di routine forniscono soltanto un'anatomia bi-dimensionale a sezione incrociata dei tessuti radicolari, da mesiale a distale, ulteriori analisi da diverse angolazioni, prossimali o occlusali, possono dare altre informazioni concernenti la curvatura della radice oppure il numero delle radici. Dato che non si possono stabilire le esatte dimensioni bucco-linguali o il profilo mesio-distale della radice, è imperativa una profonda conoscenza dell'anatomia sia interna che esterna della radice prima di iniziare la ricostruzione del dente.

Si consiglia di valutare le più importanti problematiche riguardo l'anatomia radicolare prima di fare la ricostruzione di un dente trattato endodonticamente, specialmente se verrà usato un perno. Questo non significa che ogni dente trattato endodonticamente debba ricevere un perno come parte del programma restaurativo. Come indicato da Sorensen e Martinoff (2), "L'uso indiscriminato del perno in ogni dente endodonticamente trattato non è realistico". In quei casi in cui è necessario usare un perno per facilitare la ritenzione della ricostruzione, si

the endodontically treated tooth is indicated, especially if a post is to be used. This does not imply that every endodontically treated tooth should receive a post as part of the restorative plan. As indicated by Sorensen and Martinoff (2), "Indiscriminate placement of a post in every endodontically treated tooth unrealistic". In those cases in which a post is needed to facilitate retention of a core buildup, careful attention must be paid to the root anatomy to determine the proper post design, including shape, length and method of placement.

Maxillary central and lateral incisors usually have sufficient root bulk to accommodate most post systems, although care must be exercised in the use of posts with excessive length in those cases in which the root tapers rapidly to the apex.

The thinner the root walls at the depth of post placement, the greater chance for possible root fracture. Maxillary canines which are wide buccal-lingually often require a custom cast post for proper adaptation to the root walls.

Maxillary premolars have thin root walls which can taper rapidly to the apex, especially when two distinct roots are present. Proximal invaginations and canal splitting are common, and present with potentially dangerous anatomical scenarios. Root curvatures to the distal are also common and preclude the use of long posts. Root curvatures of the palatal root can also be to the buccal, which may result in a root perforation during post space preparation or cementation. Because of the thinness of many of these roots, the removal of additional dentine for the placement of a post results in a weakened root wall which is subject to fracture, either during cementation of function. These same observations hold true for second premolars, however these teeth generally have greater bulk of tooth structure.

Even though the only root in maxillary molars which should be considered for post placement is the palatal root, the anatomy of this root poses some restorative dangers. Eighty-five per cent of palatal roots have been shown to curve in a buccal direction (27), in addition, to the presence

of invaginations on the palatal and buccal surfaces (Fig. 4). The combination of root curvature and radicular invaginations predispose to root wall weakening or perforation during the placement of long or thick posts. However, radiographs do not disclose this situation, and it often goes unnoticed or unexpected, even in the presence of patient symptoms. As a result, palatal roots can be fractured, which require root resection or tooth extraction, or surgical endodontics is required to attempt a repair of the perforation. Generally, the placement of intraradicular posts in the mesial-buccal or distal-buccal roots is contraindicated for similar anatomical reasons (Fig. 5) (28).

Mandibular incisors are very difficult to restore with a post and core, and success rates with these teeth have been shown to be higher without the use of posts (2). Root walls are thin, proximal invaginations are common and the placement of a post may be compromised by the presence of multiple canals or a significant amount of bone loss which precludes the placement of a post in a root which is unsupported. This concern was clearly identified by Reinhardt and coworkers (29). In teeth restored with a post and core having diminished bone support of 4-6 mm, stress concentrations occurred both at the post apex and on the adjacent root periphery in a relatively narrow band of remaining dentine. In these situations, the potential for root fracture was deemed great. Mandibular canines present with similar circumstances as maxillary canines.

Mandibular premolars generally have sufficient bulk of root structure to receive the majority of post systems available. Care must be exercised to ensure that the entire root canal system has been managed, as multiple canals are not uncommon, and once a post is placed in the root in which canal space has not been treated, an endodontic failure invariably results, which will require surgical intervention. One area of concern with the first premolar is angle of crown to the root. Often the root will be lingually inclined and active drilling of a post space perpendicular to the occlusal surface may result in a perforation along the buccal wall of the root.

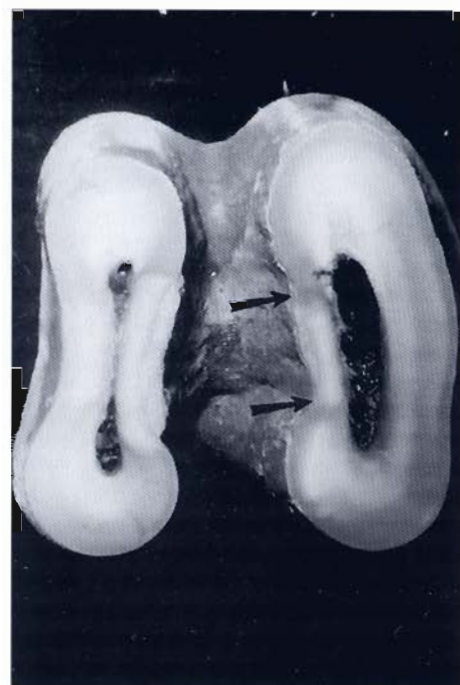


Fig. 7a - Radicular cross-section of a mandibular molar. Note the variances in the root thinning along the external invaginations (arrows).

Fig. 7a - Una sezione trasversale radicolare di un molare mandibolare. Notare le variazioni della sottigliezza della radice lungo le invaginazioni esterne (freccie).

Major problems encountered with the mandibular molars reside in the thin root walls in a mesial-distal dimension on both the mesial and distal roots (Fig. 6). Along the root curvatures and invaginations, perforations are common, which are not always visible on the radiograph. In addition, roots may be significantly weakened when prepared to receive prefabricated, circular posts (Fig. 7), as the roots are extremely wide buccal-lingually and narrow mesial-distally. In these cases, fractures may occur during post cementation or patient function. These types of fractures have been termed "odontiatrogenic" in origin, and are preventable by the practitioner (8).

Often these cases exhibit furcation bone loss or proximal angular defects which are misinterpreted as periodontal in origin.

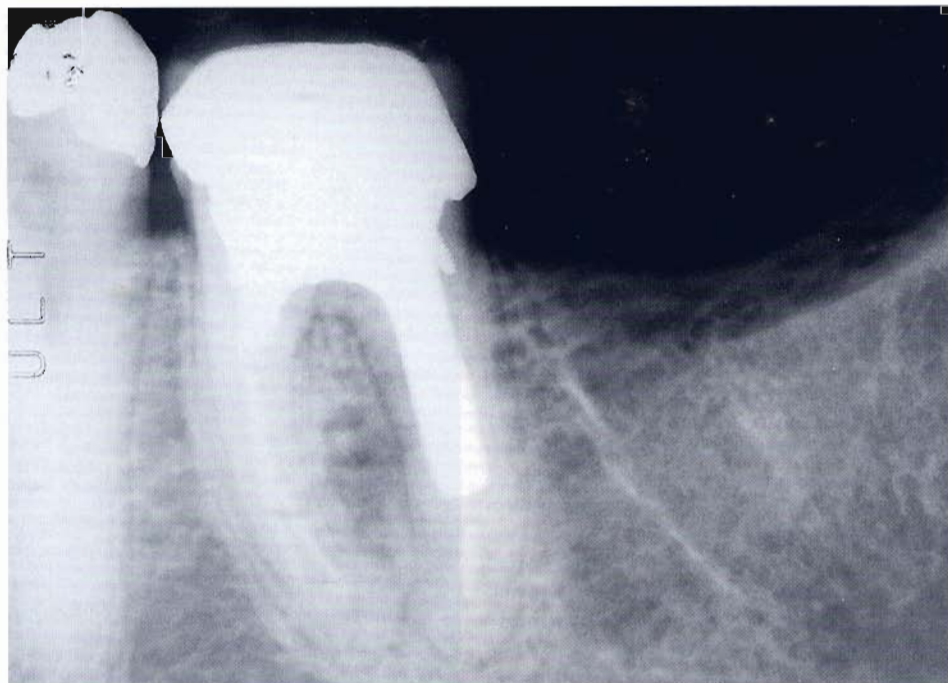


Fig. 7b - Mandibular molar with large circular post and thinned root wall along the mesial aspect of the distal root.

Fig. 7b - Un molare mandibolare con un grande perno circolare e la parete della radice assottigliata lungo l'aspetto mesiale della radice distale.

deve prestare particolare attenzione all'anatomia della radice per disegnare il perno giusto, riguardo il profilo, la lunghezza e il metodo di inserimento.

Normalmente gli incisivi mascellari centrali e laterali hanno sufficiente volume radicolare per inserire sistemi con perni di sufficiente lunghezza anche se si deve fare molta attenzione nell'uso di perni eccessivamente lunghi quando la radice si assottiglia rapidamente verso l'apice. Più sottili sono le pareti della radice in profondità, più si rischia una possibile frattura radicolare. Di solito i canini mascellari, che sono larghi bucco-lingualmente, richiedono un perno-moncone per adattarlo in modo adeguato alle pareti radicolari.

Le pareti della radice dei premolari superiori sono sottili e qualche volta si assottigliano rapidamente verso l'apice, specialmente

quando sono presenti due radici distinte. Sono comuni le invaginazioni prossimali e la divisione del canale che possono creare pericolose situazioni anatomiche. Sono comuni anche radici con curvature distali che escludono l'uso di perni lunghi. Le curvature delle radici palatali possono anche essere buccali, il che comporta il rischio di perforazione della radice durante la preparazione dello spazio per il perno oppure durante la cementazione. Poiché molte radici sono sottili, la rimozione di ulteriore dentina prima dell'inserimento del perno determina una parete debole e soggetta a frattura, durante la cementazione o durante la funzione. Queste osservazioni valgono anche per i secondi molari, però generalmente questi elementi hanno una struttura dentale più voluminosa.

Anche se la radice palatale è l'unica radice

dei molari mascellari che dovrebbe essere presa in considerazione per l'inserimento di un perno, l'anatomia di questa radice pone alcuni pericoli per la ricostruzione. È stato osservato che oltre ad avere invaginazioni sulle superfici palatali e buccali, l'85% delle radici palatali curvano in direzione buccale (27) (Fig. 4). La combinazione della curvatura radicolare insieme alle invaginazioni radicolari predispongono la parete della radice alla frattura o alla perforazione durante l'inserimento di lunghi o grossi perni. Tuttavia, le radiografie non rivelano questa situazione che spesso passa inosservata o inattesa, anche se il paziente dimostra i sintomi. Di conseguenza le radici palatali possono fratturarsi, il che comporta la resezione della radice o l'estrazione del dente; oppure si può tentare un intervento chirurgico endodontico per riparare la perforazione. Generalmente l'inserimento di perni intraradicolari in radici mesio-buccali o disto-buccali è controindicato per simili ragioni anatomiche (Fig. 5) (28).

È molto difficile ricostruire gli incisivi mandibolari con un perno-moncone; maggiori successi si sono ottenuti con questi denti senza l'uso di perni (2). Le pareti delle radici sono sottili, le invaginazioni prossimali sono comuni e l'inserimento del perno può essere compromesso dalla presenza di canali multipli o da una significativa quantità di perdita ossea che preclude l'inserimento di un perno in una radice che è senza sostegno. Questa preoccupazione è stata identificata da Reinhardt e colleghi (29). Nei denti che hanno avuto un calo del sostegno osseo di 4-6 mm ricostruiti con un perno-moncone, si sono verificati casi di stress sia all'apice del perno che sull'adiacente periferia della radice in una stretta striscia di rimanente dentina.

In queste situazioni esiste la grandissima probabilità di frattura della radice. I canini mandibolari, come quelli mascellari, presentano simili circostanze.

Generalmente i premolari mandibolari hanno un sufficiente volume di struttura della radice per sopportare la maggior parte dei sistemi per perni oggi disponibili. È importantissimo che l'intero sistema radicolare venga trattato perché canali multipli sono comuni e un perno inserito in un cana-

INFLUENCE OF POSTS ON ROOT STRUCTURE

Historically, the role of a post or dowel was to protect the weakened endodontically treated tooth from root fracture due to the concentration of internal stresses. Many techniques have been used to assess this role.

Mechanical stress analysis techniques place restored and natural teeth under increasing loads until failure (fracture occurs) (30-31). The tensile forces applied in these studies allow for assessment of post retention, but they do not duplicate masticatory forces. Likewise, loads applied at varying angles, which are designed to mimic tooth contact, give no detailed information as to the stress magnitude or distribution prior to fracture. However, an interesting finding with this mode of testing is that teeth without posts usually fracture in a repairable manner, while teeth with posts fracture in such a way that repair is difficult, if not impossible, due to extensive radicular damage (Fig. 8) (30-31).

A second evaluative technique is the **photoelastic stress model** which provides a graphic demonstration of stress distributions by using a bi-refrangement material through which light refraction is analyzed (3-32-33). This test has been used to analyze both installation stresses and functional loads. Reinhardt et al noted it is difficult to prepare complex models with this technique and to find materials which match the modulus of elasticity of human oral tissues. Recent studies have focused on the use of **finite element stress analysis** to determine stress concentrations with the use of an intraradicular post (29-34-35-36). Complex structures are drawn and divided into smaller segments with specific properties. Stress distribution can be plotted and detailed evaluations are possible.

As the amount of dentine is decreased, the fracture resistance of the endodontically treated tooth decreases (4) and the strength of the tooth is directly related to the remaining bulk of remaining dentine (2-3-4). The routine preparation of post space in all teeth would invariably remove excessive amounts of dentine from some roots (Fig. 9). Since the tensile strength of denti-

ne is comparatively weak, the remaining dentine thickness would be an important factor in the ability to resist fracture. Also, while a plethora of studies have focused on restoration of these teeth with 'retentive' posts, the focus of attention should be on those factors which affect resistance to tooth fracture and preserve sound tooth structure, as opposed to mere post retention. As stated by Nathanson and Ashayeri (6) supported by numerous authors (37), "The indication for use of endodontic posts is based on retention and stabilization of the core rather than 'reinforcement' of the fragile root". The reference to posts as 'root reinforcement systems' is therefore obsolete, and practitioners must adopt a contemporary view as to the "WHY" these teeth have special restorative needs.

It would seem reasonable, then, that many endodontically treated teeth with conservatively enlarged root canals, can be restored without the use of a post (38), provided sound treatment goals, as previously addressed, are followed. In those cases where a post is truly indicated, efforts must be made to

1. ensure stability of the post within the root (5-6-7)
2. avoid post systems, which based upon their design, may focus stress within a specific root or anatomical situation (29)
3. enhance optimal cement to post contact (39)
4. consider replacing zinc phosphate as a cementing medium with a low viscosity resin cement (6-40)
5. minimize both post 'installation' and 'functional' stresses (41)
6. ensure the use of the ferrule effect with retained sound dentine whenever possible, along with maximized clinical crown length (41-42).

No matter what considerations are incorporated into the design and restoration of the endodontically treated tooth, the amount of remaining dentine and the nature of root morphology may be the ultimate determining factors in the resistance of the tooth during function. It is imperative that the contemporary practitioner understand these concepts and apply appropriate techniques within these parameters.



Fig. 8 - Root and post subjected to mechanical stress analysis. Note the fractured root prevents tooth retention (Case courtesy Dr. Paul Lovdahl).

Fig. 8 - La radice e il perno soggetti all'analisi dello stress meccanico. Notare che la radice fratturata richiede l'estrazione del dente (caso gentilmente concesso dal Dr. Paul Lovdahl).

evidenti sulle radiografie. Inoltre le radici possono essere indebolite in modo significativo quando vengono preparate per ricevere i perni circolari prefabbricati (Fig. 7) perché le radici sono estremamente larghe bucco-lingualmente e strette mesio-distalmente. In questi casi possono verificarsi delle fratture durante la cementazione del perno o durante la masticazione. Fratture di questo genere sono chiamate "iatrogene" in origine e sono evitabili da parte dell'operatore (8). Spesso questi casi mostrano una perdita ossea di biforcazione oppure difetti angolari prossimali che vengono interpretati erroneamente come dovuti ad una periodontite iniziale.

L'INFLUENZA DEI PERNI SULLA STRUTTURA DELLA RADICE

Storicamente il ruolo del perno era di proteggere un dente indebolito da un trattamento endodontico dalla frattura della radice causata dalla concentrazione di tensioni interne. Sono state impiegate molte tecniche per valutare questo ruolo.

Alcune tecniche per analizzare lo stress meccanico hanno sottoposto denti ricostruiti e denti naturali a carichi crescenti fino a provocare una frattura (30-31). Le forze di tensione usate in questi studi permettono una valutazione della ritenzione del perno, ma non simulano le forze masticatorie. Similmente, carichi applicati da diversi angoli, allo scopo di riprodurre il contatto tra i denti, non forniscono particolari concernenti la vastità o la distribuzione dello stress prima che il dente si fratturi. Tuttavia, un'interessante constatazione fatta con questo tipo di test è che i denti senza perni di solito si fratturano in una maniera riparabile, mentre i denti con perni si fratturano in modo da rendere una riparazione molto difficile, se non impossibile, a causa di gravi danni radicolari (Fig. 8) (30-31).

Una seconda tecnica di valutazione è il "photoelastic stress model" che fornisce una dimostrazione grafica della distribuzione dello stress attraverso un materiale birifrangente attraverso il quale viene analizzata la rifrazione della luce (3-32-33). Questo test è stato usato per analizzare sia lo stress provocato dall'inserimento che dai carichi funzionali. Reinhardt et al. hanno notato che è difficile preparare dei modelli complessi con questa tecnica e trovare materiali che possono uguagliare l'elasticità dei tessuti orali umani.

Recenti studi hanno posto l'attenzione sull'uso di "finite element stress analysis", per determinare concentrazioni di stress usando un perno intraradicolare (29-34-35-36). Si disegnano delle complesse strutture che poi vengono divise in settori più piccoli con specifiche proprietà. La distribuzione dello stress può essere tracciata per poter ottenere delle valutazioni dettagliate.

Man mano che diminuisce la quantità di dentina, diminuisce anche la resistenza alla

frattura del dente endodonticamente trattato (4), e la resistenza del dente è in diretto rapporto al rimanente volume della rimanente dentina (2-3-4). Una preparazione di routine dello spazio per il perno in qualsiasi dente significa invariabilmente la rimozione di eccessive quantità di dentina da alcune radici (Fig. 9). Siccome la forza di tensione della dentina è relativamente debole, lo spessore della dentina rimanente sarebbe un fattore importante per resistere alla frattura. Inoltre, mentre un gran numero di studi sono dedicati alla ricostruzione di denti con "perni ritenitivi", l'attenzione dovrebbe focalizzarsi su quei fattori che influenzano la resistenza alla frattura dentale e che conservano una sana struttura dentale, piuttosto che sulla ritenzione del perno.

Come hanno affermato Nathanson e Ashayeri (6) sostenuti da numerosi autori (37), "L'indicazione per l'uso di perni endodontici è basata sulla ritenzione e sulla stabilizzazione del perno piuttosto che sul 'rafforzamento' della fragile radice". Un riferimento ai perni come 'sistemi per il rafforzamento della radice' è quindi obsoleto, e gli operatori devono adottare una mentalità contemporanea che riguarda il "PERCHÉ" questi denti hanno particolari esigenze ricostruttive.

Quindi sarebbe ragionevole dire che molti denti endodonticamente trattati con canali radicolari conservativamente allargati possono essere ricostruiti senza l'uso del perno (38), ma solo se si fissano come obiettivi dei sani trattamenti come quelli sopra descritti. Nei casi in cui è veramente indicato il perno, occorre impegnarsi a:

1. assicurare la stabilità del perno all'interno della radice (5-6-7)
 2. evitare quei sistemi di perni che, dato il loro disegno, possono concentrare lo stress dentro una specifica radice o situazione anatomica (29)
 3. trovare il miglior rapporto cemento/perno (39)
 4. prendere in considerazione la sostituzione del fosfato di zinco come mezzo di cementazione con un cemento di resina a bassa viscosità (6-40)
 5. minimizzare lo stress provocato dall'inserimento del perno e lo stress funzionale (41)
 6. assicurare l'uso dell'effetto di ghiera con la ritenzione di dentina sana quando possibile insieme alla lunghezza della corona clinicamente al massimo (41-42).
- Qualunque siano le considerazioni incorporate nel programma e nella ricostruzione del dente trattato endodonticamente, la quantità di rimanente dentina e la natura della morfologia della radice potrebbero essere i fattori determinanti nella resistenza di un dente durante la masticazione. È imperativo che l'operatore capisca questi concetti e che impieghi le adeguate tecniche entro questi parametri.

Adattamento di Matteo Capelli



Fig. 9 - Excessive post space preparation predisposes to a weakened root and possible perforation.

Fig. 9 - Una preparazione eccessiva dello spazio per il perno predispone a una radice indebolita e a una possibile perforazione.

le non trattato porta un insuccesso endodontico e si renderà necessario un intervento chirurgico. Un aspetto di grande importanza riguardo al primo preintendere è l'angolazione della corona alla radice. Spesso la radice si inclina lingualmente e l'uso attivo della fresa nello spazio per il perno perpendicolare alla superficie occlusale può portare alla perforazione lungo la parete buccale della radice.

Per quanto concerne i molari mandibolari, si possono incontrare seri problemi se le pareti delle radici sono sottili in una dimensione mesio-distale sia sulle radici mesiali che su quelle distali (Fig. 6). Sono comuni le perforazioni lungo le curvature e le invaginazioni della radice e non sono sempre

REFERENCES

- 1 - Black GV. Physical properties of human teeth. *Dent Cosmos* 1895; 37: 353-421
- 2 - Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronal reinforcement and coronal coverage: A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984; 51: 780-784
- 3 - Mattison GD. Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. *J Prosthet Dent* 1982; 48: 407-411
- 4 - Trabert KC, Caputo AA, Abou-Rass M. Tooth fracture comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endod* 1978; 4: 341-345
- 5 - Sorensen JA. Preservation of tooth structure: the key to successful restoration. *J Clin Dent* 1989; 1: 39-40
- 6 - Nathanson D, Ashayeri N. New aspects of restoring the endodontically treated tooth. *Alpha Omegan* 1990; 83: 76-80
- 7 - Nicholls JL. An engineering approach to the rebuilding of endodontically treated teeth. *J Clin Dent* 1989; 1: 41-44
- 8 - Schweitzer JL, Gutmann JL, Bliss RQ. Odontiatrogenic tooth fracture. *Int Endod J* 1989; 22: 64-74
- 9 - Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 458-467
- 10 - Baraban DJ. The restoration of pulpless teeth. *Dent Clin North Am* 1967; 11: 633-653
- 11 - Battistone G, Burnett GW. Studies on the composition of teeth. III. The amino acid composition of human dentinal protein. *J Dent Res* 1956; 35: 255-259
- 12 - Jameson MW, Hood JAA, Tidmarsh BG. Effect of dehydration on the biomechanical properties of human dentine. *J Dent Res* 1992; 72: 537
- 13 - Helfer AR, Melnick S, Schilder H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 34: 661-670
- 14 - Huang T-JG, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod* 1992; 18: 209-215
- 15 - Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 1989; 15: 512-516
- 16 - Tidmarsh BG. Restoration of endodontically treated posterior teeth. *J Endod* 1976; 2: 374-375
- 17 - Grimaldi J. *Measurement of the lateral deformation of the tooth crown under axial compressive cuspal loading*. Thesis. University of Otago 1971
- 18 - Peyton FA, Mahler DB, Hershenov MS. Physical properties of dentin. *J Dent Res* 1952; 31: 366-370
- 19 - Tyldesley WR. The mechanical properties of human enamel and dentine. *Br Dent J* 1959; 106: 269-278
- 20 - Renson CE, Boyde A, Jones SJ. Scanning electron microscopy of human dentine specimens fractured in bend and torsion tests. *Arch Oral Biol* 1974; 19: 447-454
- 21 - Rivera E, Yamauchi G, Chandler G, Bergenholtz G. Dentin collagen cross-links of root-filled and normal teeth. *J Endod* 1988; 14: 195
- 22 - El Mowafy OM, Watts DC. Fracture toughness of human dentin. *J Dent Res* 1986; 65: 677-681
- 23 - Lewinstein I, Grajower R. Root dentin hardness of endodontically treated teeth. *J Endod* 1981; 7: 421-422
- 24 - Sedgley CM, Messer HM. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod* 1992; 18: 332-335
- 25 - Carter JM, Sorensen SE, Johnson RR, Teitelbaum RL, Levine MS. Punch shear testing of extracted vital and endodontically treated teeth. *J Biomech* 1983; 16: 841-848
- 26 - Davis WL. *Oral histology*. Cell structure and function. Philadelphia: WB Saunders, 1986; 113-34
- 27 - Bone J, Moule AJ. The nature of curvature of palatal canals in maxillary molar teeth. *Int Endod J* 1986; 19: 178-186
- 28 - Perez E, Zillich R, Yaman P. Root curvature localizations as indicators of post length in various tooth groups. *Endod Dent Traumatol* 1986; 2: 58-61
- 29 - Reinhardt RA, Krejci RF, Pao YC, Stannard JG. Dentin stresses in post-reconstructed teeth with diminishing bone support. *J Dent Res* 1983; 62: 1002-1008
- 30 - Lovdahl PE, Nicholls JJ. Pin retained amalgam cores vs. cast gold dowel and cores. *J Prosthet Dent* 1977; 38: 507-514
- 31 - Bravin RV. Post reinforcement tested. The functional stress analysis of post reinforcement. *J Calif Dent Assoc* 1976; 4: 66-71
- 32 - Standlee JP, Caputo AA, Collard EW, Pollard MH. Analysis of stress distribution by endodontic posts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 33: 952-960
- 33 - Henry PJ. Photoelastic analysis of post core restorations. *Aust Dent J* 1977; 22: 157-159
- 34 - Thorsteinsson TS, Yaman P, Craig RG. Stress analyses of four prefabricated posts. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 30-33
- 35 - Davy DT, Dilley GL, Krejci RF. Determination of stress patterns in root-filled teeth incorporating various dowel designs. *J Dent Res* 1981; 60: 1301-1310
- 36 - Cailleteau JG. *A comparison of intracanal stresses within a post-restored tooth utilizing the finite element method*. Thesis. University of Texas Health Science Center at Houston, 1989
- 37 - Hirschfeld A, Stern N. Post and core...the biomechanical aspect. *Aust dent J* 1972; 17: 467-468
- 38 - Hunter AJ, Feiglin B, Williams JF. Effects of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 166-172
- 39 - Peters MCRB, Poort HW, Farah JW, Craig RG. Stress analysis of a tooth restored with a post and core. *J Dent Res* 1983; 62: 760-763
- 40 - Nathanson D, Ashayeri N. Effects of a new technique. *J Calif Dent Assoc* 1988; 16: 27-31
- 41 - Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1990; 63: 529-536
- 42 - Barkhordar RA, Radke R, Abbasi J. Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent* 1989; 61: 676-678