



Disponibile online all'indirizzo www.sciencedirect.com

SciVerse ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gie



ARTICOLO ORIGINALE

Effetto della quantità di tessuti coronali sulla resistenza di denti restaurati con perni

Effect of residual coronal structure on the resistance of teeth restored with posts

Roberto Sorrentino^{a,*}, Francesca Monticelli^b, Cecilia Goracci^c,
Fernando Zarone^a, Franklin R. Tay^d, Franklin Garcia-Godoy^e, Marco Ferrari^c

^a Dipartimento di Scienze Odontostomatologiche e Maxillo-Facciali, Università "Federico II", Napoli, Italia

^b Department of Surgery, Faculty of Sport and Health Sciences, University of Zaragoza, Campus de Huesca, Huesca, Spagna

^c Dipartimento di Scienze Odontostomatologiche ed Oftalmologiche, Università di Siena, Italia

^d Department of Oral Biology, School of Dentistry, Medical College of Georgia, Augusta, GA, USA

^e Bioscience Research Center, College of Dentistry, University of Tennessee Health Science Center, Memphis, TN, USA

Ricevuto il 28 ottobre 2011; accettato il 16 dicembre 2011

Disponibile online il 17 marzo 2012

PAROLE CHIAVE

Denti trattati endodonticamente;
Perni in fibra;
Restauri in composito;
Resistenza meccanica;
Frattura.

KEYWORDS

Endodontically treated teeth;
Fiber posts;
Composite restoration;
Mechanical resistance;
Fracture.

Riassunto

Obiettivi: Confrontare la resistenza a frattura e il tipo di fallimento di denti devitalizzati con un numero progressivamente ridotto di pareti coronali residue, ricostruiti con compositi e perni in fibra di vetro.

Materiali e metodi: Novanta premolari sono stati devitalizzati e suddivisi come segue: gruppo 1: 4 pareti; gruppo 2: 3 pareti; gruppo 3: 2 pareti; gruppo 4: 1 parete; gruppo 5: 0 pareti. I gruppi da 2 a 5 sono stati suddivisi in due sottogruppi: ricostruiti senza e con perni in fibra. I campioni sono stati fratturati e analizzati statisticamente.

Risultati: Sono stati registrati i seguenti valori di frattura: $5a > 5b > 4b > 3b > 1 > 4a > 2b > 3a > 2a$.

Conclusioni: I perni hanno determinato prevalentemente fratture restaurabili. Il numero di pareti residue ha influenzato la resistenza a frattura.

© 2012 Società Italiana di Endodonzia. Pubblicato da Elsevier Srl. Tutti i diritti riservati.

Summary

Objectives: To compare the fracture resistance and failure patterns of endodontically treated teeth with a progressively reduced number of residual walls restored using composites and posts.

Materials and methods: After endodontic treatment, 90 premolars were divided as follows: group 1: 4 walls; group 2: 3 walls; group 3: 2 walls; group 4: 1 wall; group 5: 0 walls. Groups 2 to 5

* Corrispondenza: via Generale Giovanni De Bonis 75 - 80123 Napoli.
E-mail: errestino@libero.it (R. Sorrentino).

were divided into subgroups, without and with posts. Fracture tests and statistical analyses were performed.

Results: The following loads were recorded: $5a > 5b > 4b > 3b > 1 > 4a > 2b > 3a > 2a$.

Conclusions: The samples restored with fiber posts exhibited predominantly restorable fractures. The number of residual walls influenced the fracture resistance.

© 2012 Società Italiana di Endodonzia. Published by Elsevier Srl. All rights reserved.

Introduzione

I denti trattati endodonticamente sono interessati da un rischio maggiore di fallimento meccanico rispetto agli elementi dentari vitali [1–6]. La maggior parte delle fratture è il risultato della perdita di struttura dentaria a causa di lesioni cariose e/o di preparazioni cavarie [7]. In particolare, la preparazione di cavità di accesso al sistema dei canali radicolari determina la perdita del tetto della camera pulpare: ciò rappresenta la principale causa di fallimento meccanico dei premolari mascellari, che presentano percentuali di incidenza di fratture piuttosto elevate [8,9].

I perni endocanalari si rendono necessari per la ricostruzione e la ritenzione dei restauri coronali, ma è stato ampiamente dimostrato che il loro inserimento non incrementa la resistenza meccanica delle radici dentarie [10]. Al contrario, i perni endocanalari possono interferire con le proprietà meccaniche dei denti trattati endodonticamente, conducendo a un aumento del rischio di danno per le strutture dentali residue [11,12]. A oggi, non esiste in letteratura univocità di pareri in merito a quali materiali da restauro o tecniche di ricostruzione possano essere considerati ideali per il restauro dei denti trattati endodonticamente [13–15]. Studi longitudinali con osservazioni a lungo termine sulla tecnica di restauro con perno e ricostruzione (post-and-core) hanno riportato tassi di sopravvivenza sensibilmente variabili, a dimostrazione del fatto che, a fronte di materiali e tecniche sempre più all'avanguardia, le fratture radicolari si verificano sovente nella pratica clinica [16–18]. Al fine di limitare il più possibile l'insorgenza di fratture radicolari non recuperabili, sono stati proposti perni con caratteristiche meccaniche sempre più simili a quelle del tessuto dentinale [12].

Le interfacce tra materiali con differenti moduli di elasticità rappresentano il punto debole di ogni sistema restaurativo, dal momento che le differenze tra robustezza e durezza influenzano le distribuzioni degli stress [19,20]. Ne consegue che la resistenza dei denti trattati endodonticamente risente sia delle caratteristiche meccaniche dei materiali da restauro sia della geometria del restauro post-and-core [20–22]. Svariate tecniche e materiali sono stati proposti in letteratura per incrementare la resistenza a frattura dei sistemi restaurativi, ma nessuna di tali combinazioni ha finora dimostrato su base scientifica la capacità di ridurre in maniera significativa l'incidenza delle fratture nella pratica clinica [13–15].

Effettuando una disamina della letteratura, si riscontra che i primi perni utilizzati clinicamente sono stati i perni moncone fusi in metallo. Successivamente, è stato proposto l'impiego di perni metallici prefabbricati, le cui proprietà fisiche differiscono sensibilmente da quelle sia della dentina sia del restauro coronale. Tali perni metallici generano stress elevati, che sovente conducono a fratture radicolari non

recuperabili [12]. Al fine di evitare tali inconvenienti, sono stati successivamente sviluppati perni non metallici con caratteristiche meccaniche simili a quelle dei tessuti dentari [12]; di conseguenza, sono stati introdotti nella pratica clinica perni rinforzati con fibre di vario genere [23,24]. Inizialmente, tali perni sono stati rinforzati incorporando fibre di vetro in una matrice di resina epossidica [23]. Più recentemente, sono stati sviluppati perni rinforzati con fibre di quarzo traslucidi, in modo da ottenere caratteristiche estetiche ottimali. Tali sistemi consentono la diffusione della luce attraverso il perno durante la polimerizzazione del cemento da fissaggio, raggiungendo, in maniera più o meno variabile, il terzo apicale del perno stesso [24]. Infine, sono stati proposti perni in zirconia: analisi in vitro hanno dimostrato per tali perni valori di resistenza a frattura molto più elevati rispetto sia ai perni in titanio sia ai perni rinforzati con fibre [25]. Ciò nonostante, la maggior parte della letteratura è concorde nell'affermare che i sistemi di perni rinforzati con fibre riducono sensibilmente il rischio di fratture radicolari [24].

Il presente studio in vitro è stato realizzato per confrontare la resistenza meccanica e le tipologie di frattura di premolari mascellari monoradicolati trattati endodonticamente e con un numero progressivamente decrescente di pareti coronali residue; le pareti mancanti sono state restaurate con resine composite stratificate sia in presenza sia in assenza di perni in fibra di vetro. È stata testata la seguente ipotesi nulla: non vi è associazione tra la resistenza a frattura di premolari mascellari monoradicolati sottoposti a terapia endodontica e restaurati con compositi con e senza perni in fibra di vetro e il numero di pareti coronali residue.

Materiali e metodi

Per lo studio sono stati selezionati 90 premolari mascellari monoradicolati umani, estratti per motivi ortodontici o parodontali. Sono stati esclusi denti con carie o precedentemente ricostruiti. Placca, tartaro e residui parodontali sono stati accuratamente rimossi. I denti sono stati conservati in soluzione fisiologica allo 0,9% a 37 °C fino all'esecuzione delle prove meccaniche. La morfologia canalare è stata verificata mediante radiografie apicali standardizzate (70 kV e 0,08 secondi) con tecnica di Rinn in proiezione sia vestibolo-palatale sia mesio-distale. L'accesso alla camera pulpare di ciascun dente è stata effettuata secondo una procedura standardizzata. La lunghezza canalare è stata determinata visivamente, facendo fuoriuscire un K-file #15 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Svizzera) dall'apice radicolare. La lunghezza di lavoro è stata stabilita riducendo di 1 mm dall'apice la lunghezza canalare. Il sistema dei canali radicolari è stato strumentato impiegando K-file manuali in acciaio inossidabile e strumenti rotanti in nickel-titanio

(Flex-Master, VDW Dental, Monaco, Germania). Tutti i canali sono stati preparati a dimensione ISO 30 e conicità 0,04; la strumentazione è stata effettuata concordemente alle indicazioni del produttore. Ciascun set di strumenti rotanti in nickel-titanio è stato sostituito dopo aver preparato 8 canali. Le irrigazioni canalari sono state effettuate in modo alternato mediante ipoclorito di sodio al 5,25% e 37 °C e soluzione di acido etilendiaminotetracetico (EDTA) al 10%. Tutti i denti sono stati otturati mediante tecnica di condensazione verticale a caldo, utilizzando guttaperca e cemento endodontico a base di ossido di zinco-eugenolo (Pulp Canal Sealer, Kerr, Orange, CA, USA).

Per ridurre al minimo l'influenza della forma e delle dimensioni dei canali sui risultati, i denti sono stati classificati in base alle loro dimensioni vestibolo-palatali e mesio-distali e sono stati distribuiti in maniera randomizzata nei seguenti 5 gruppi (fig. 1):

- gruppo 1 (controllo, n = 10): accesso endodontico ricostruito con 2 mm di composito fluido (X-Flow, Dentsply Caulk, York, PA, USA) ricoperto da composito microibrido (Esthet-X, Dentsply Caulk, York, PA, USA) fino alla superficie occlusale; tutte le pareti coronali intatte;
- gruppo 2 (n = 20): rimozione della parete distale facendo riferimento alla cresta marginale, cavità estesa fino alla cavità di accesso endodontico, cavità disto-occlusale divergente standardizzata, margine cervicale 1 mm coronale alla giunzione amelo-cementizia;

- gruppo 3 (n = 20): rimozione delle pareti distale e mesiale, cavità MOD, preparazione analoga al gruppo 2;
- gruppo 4 (n = 20): rimozione delle pareti distale, mesiale e vestibolare, preparazione analoga al gruppo 2;
- gruppo 5 (n = 20): rimozione dell'intera corona con mantenimento di 1 mm di tessuto coronale alla giunzione amelo-cementizia.

I gruppi da 2 a 5 sono stati ulteriormente suddivisi in due sottogruppi, costituiti da 10 campioni ciascuno. I sottogruppi da 2a a 5a sono stati conservati come precedentemente descritto, mentre i sottogruppi da 2b a 5b sono stati preparati per il posizionamento di perni traslucidi in fibra di vetro (a seconda dell'anatomia canalare, DT Light Post #1 o #2, RTD, St. Egeve, Francia). I perni, posizionati al fine di incrementare la ritenzione dei restauri coronali, sono stati tagliati con un disco diamantato in modo da essere successivamente ricoperti con almeno 2 mm di resina composita. Successivamente, sono stati silanizzati (Monobond-S, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Lichtenstein) e cementati con un sistema adesivo (Prim&Bond NT Dual-Cure, Dentsply Caulk, York, PA, USA) e un cemento resinoso duali (Calibra, Dentsply Caulk, York, PA, USA), secondo le convenzionali procedure di cementazione adesiva. Il cemento è stato fotopolimerizzato per mezzo di una lampada alogena (Optilux 401, Demetron Kerr, Danbury, USA) a 750 mW/cm² per 40 secondi. I restauri coronali sono stati realizzati con l'ausilio di matrici trasparenti mediante tecnica incrementale anatomica

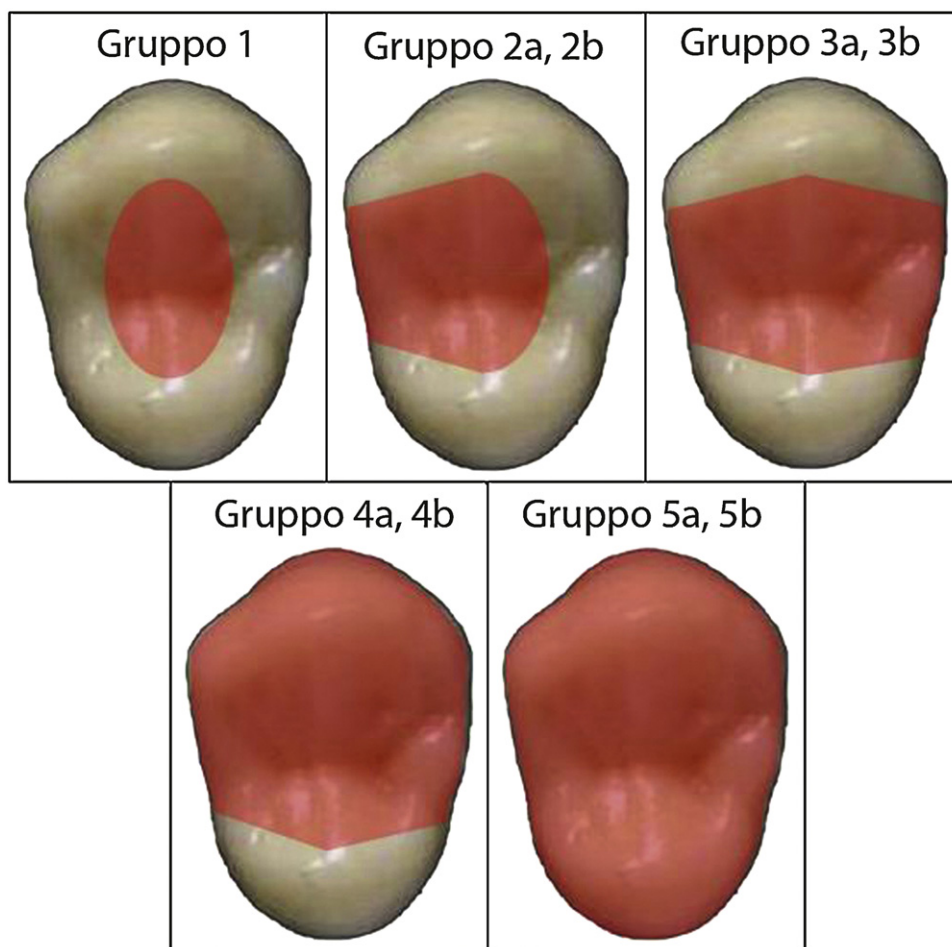


Figura 1 Geometria di apertura della camera pulpale (gruppo 1) e delle configurazioni cavarie (gruppi 2-5).

semplificata, come precedentemente descritto; la polimerizzazione di ciascun incremento (max. 2 mm) è stata effettuata per 40 secondi con la medesima unità fotopolimerizzatrice riportata in precedenza.

Ciascun campione è stato inserito in un blocco di resina autopolimerizzante (Jet Kit, Lang Dental Mfg. Co., Wheeling, IL, USA) all'interno di un cilindro metallico con l'asse longitudinale perpendicolare alla base del blocco di resina, lasciando circa 1/3 della radice esposta, in modo da poter valutare morfologicamente eventuali fratture radicolari. Uno strato di circa 200-400 micron di polivinilsilossano per addizione (Flexitime, Heraeus Kulzer, Hanau, Germania) è stato applicato sulla superficie radicolare per simulare la viscoelasticità del legamento parodontale. Durante la reazione di polimerizzazione, i blocchi di resina sono stati mantenuti idratati per evitare il surriscaldamento dei campioni. Questi ultimi sono stati conservati in acqua distillata a temperatura ambiente fino all'esecuzione dei test meccanici per un periodo compreso tra 24 e 36 ore.

Una macchina di carico universale (Triaxial Tester T400 Digital, Controls, Cernusco, Italia) è stata utilizzata per portare sperimentalmente a frattura i campioni mediante carico statico. A tale scopo, i campioni sono stati montati nel macchinario perpendicolarmente al piano orizzontale, in modo che il carico fosse parallelo all'asse longitudinale del dente. Un carico controllato è stato applicato per mezzo di un puntale metallico in acciaio inossidabile con punta emisferica e diametro pari a 1 mm; tale carico è stato applicato sulla cuspidale dei restauri in composito a 2 mm dall'apice della cuspidale in direzione della fossa centrale (fig. 2), in modo da simulare un carico occlusale a una velocità di 1 mm/min. I carichi di frattura sono stati registrati in Newton (N) mediante un software dedicato (Digimax Plus, Controls, Cernusco, Italia) collegato alla macchina di carico. Dopo la frattura, ciascuna campione è stato immerso in inchiostro di china, in modo da evidenziare le rime di frattura. La tipologia di frattura è stata valutata macroscopicamente a occhio nudo e microscopicamente con uno stereomicroscopio (Zeiss OpMi1, Zeiss, Oberkochen, Germania) a 10x. Il pattern di frattura è stato classificato come segue:

- *frattura adesiva*: frattura all'interfaccia adesiva tra restauro e tessuti dentari;
- *frattura coesiva*: frattura all'interno della struttura del restauro o del dente senza esposizione di alcuna interfaccia adesiva;
- *frattura restaurabile*: frattura coinvolgente la sola corona del dente;
- *frattura non restaurabile*: frattura estesa alla radice del dente.

I dati registrati sono stati analizzati statisticamente mediante un software dedicato (SPSS 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Sono stati utilizzati il test di Kolmogorov-Smirnov per verificare la normalità della distribuzione e l'analisi di Levine per analizzare le varianze nei gruppi. L'analisi della varianza (ANOVA) a due vie è stata applicata ai gruppi da 2 a 5 per valutare la significatività dell'effetto e dell'interazione dei fattori "numero di pareti residue" e "presenza o assenza di perno". Il test post-hoc di Tukey è stato poi utilizzato per le comparazioni multiple tra i livelli del fattore "numero di pareti residue". Successivamente, l'ANOVA a una via e il *t*-test di Dunnett sono stati impiegati



Figura 2 Applicazione del carico sperimentale.

per confrontare i dati di tutti i gruppi sperimentali, considerando il gruppo 1 come gruppo di controllo. In tutte le analisi statistiche il livello di significatività è stato impostato per $p < 0,05$.

Risultati

Il valore medio di resistenza a frattura più elevato è stato registrato nel sottogruppo 5a ($856,7 \pm 112,2$ N), seguito da 5b ($649,5 \pm 163,5$ N), 4b ($573,4 \pm 169,2$ N), 3b ($513,2 \pm 121,7$ N), 1 ($502,4 \pm 152,5$ N), 4a ($488,7 \pm 153,7$ N), 2b ($423,0 \pm 103,3$ N), 3a ($422,1 \pm 138,9$ N) e 2a ($416,4 \pm 122,2$ N).

Il test di Kolmogorov-Smirnov ha confermato la normalità della distribuzione dei dati ($p > 0,05$) e le varianze dei gruppi sono risultate omogenee concordemente con l'analisi di Levine ($p > 0,05$). L'influenza significativa del fattore "numero di pareti residue" è indicato con lettere maiuscole; viceversa, le lettere minuscole indicano la significatività delle interazioni tra i fattori di analisi. I gruppi e i sottogruppi statisticamente confrontabili sono indicati dalla medesima lettera, mentre simboli diversi denotano differenze statisticamente significative tra i gruppi sperimentali e il gruppo di controllo.

L'ANOVA a due vie ha mostrato che la presenza del perno in fibra non è un fattore statisticamente significativo per la resistenza a frattura ($p = 0,84$); al contrario, il numero di pareti residue ha influenzato molto significativamente tale fattore ($p < 0,001$). I valori di resistenza registrati nei campioni senza alcuna parete residua sono stati i più elevati e le

Tabella 1 ANOVA a una via nell'interazione tra il numero di pareti coronali residue. Sono riportate le differenze medie dei carichi di frattura \pm le deviazioni standard; sono inoltre riportati gli errori standard. I sottogruppi con gli stessi simboli in apice non hanno mostrato differenze statisticamente significative ($p > 0,05$).

Pareti (R)	Pareti (C)	Differenza media (R-C)	Errore standard	p	Intervallo di confidenza al 95%	
					Limite inferiore	Limite superiore
0 pareti ^a	1 parete ^b	367,91	61,22	<0,001	193,95	541,87
	2 pareti ^b	434,51	61,22	<0,001	260,55	608,47
	3 pareti ^b	440,27	61,22	<0,001	266,31	614,23
	4 pareti ^b	354,22	61,22	<0,001	180,26	528,18
1 parete ^b	0 pareti ^a	-367,91	61,22	<0,001	-541,87	-193,95
	2 pareti ^b	66,60	61,22	0,812	-107,36	240,56
	3 pareti ^b	72,36	61,22	0,761	-101,60	246,32
	4 pareti ^b	-13,68	61,22	0,999	-187,64	160,27
2 pareti ^b	0 pareti ^a	-434,51	61,22	<0,001	-608,47	-260,55
	1 parete ^b	-66,60	61,22	0,812	-240,56	107,36
	3 pareti ^b	5,76	61,22	1,000	-168,20	179,72
	4 pareti ^b	-80,29	61,22	0,686	-254,25	93,67
3 pareti ^b	0 pareti ^a	-440,27	61,22	<0,001	-614,23	-266,31
	1 parete ^b	-72,36	61,22	0,761	-246,32	101,60
	2 pareti ^b	-5,76	61,22	1,000	-179,72	168,20
	4 pareti ^b	-86,05	61,22	0,627	-260,01	87,91
4 pareti ^b	0 pareti ^a	-354,22	61,22	<0,001	-528,18	-180,26
	1 parete ^b	13,68	61,22	0,999	-160,27	187,64
	2 pareti ^b	80,29	61,22	0,686	-93,67	254,25
	3 pareti ^b	86,05	61,22	0,627	-87,91	260,01

R = gruppo di riferimento; C = gruppo di confronto.

differenze sono risultate statisticamente significative (test di Tukey, $p < 0,05$); analogamente, sono state riportate come significative anche le interazioni tra i fattori ($p = 0,03$). Le seguenti comparazioni multiple sono state evidenziate dal test post-hoc di Tukey: i valori di resistenza più elevati sono stati registrati nel sottogruppo 5a, mentre i valori del sottogruppo 5b sono stati significativamente superiori rispetto a quelli dei sottogruppi 2a, 2b e 3a.

Dopo l'ANOVA a una via (*tabella 1*), inoltre, è stato effettuato il *t*-test di Dunnett (*tabella 2*) per confrontare ciascun gruppo di studio rispetto al gruppo di controllo: i risultati hanno mostrato che solo i campioni privi di pareti

residue e ricostruiti senza perno hanno presentato valori di resistenza a frattura superiori rispetto al gruppo di controllo, mentre tali valori erano paragonabili a quelli del controllo in tutti gli altri gruppi sperimentali. In assenza di strutture coronali residue o in presenza di una sola parete, l'inserimento di un perno in fibra di vetro ha ridotto la frequenza di fratture non restaurabili a livelli inferiori rispetto al controllo.

La maggior parte delle fratture non restaurabili ha interessato i campioni restaurati senza perno (*tabella 3*); nessuna frattura di tale tipo è stata evidenziata nel sottogruppo 4b. Le fratture catastrofiche hanno presentato una

Tabella 2 Risultati del *t*-test nell'interazione tra il numero di pareti coronali residue e il sistema restaurativo. Sono riportati i valori medi \pm le deviazioni standard; sono inoltre riportati gli errori standard medi. I valori medi di carico a frattura sono espressi in Newton (N). I sottogruppi con gli stessi simboli in apice non hanno mostrato differenze statisticamente significative ($p > 0,05$).

Gruppo	n	Carico medio di frattura (N)	Deviazione standard	Errore medio standard	t	df	p
2a ^s (3 pareti, no perno)	10	416,38	122,17	38,63	-0,13	18	0,898
2b ^s (3 pareti, perno)	10	422,98	103,31	32,67			
3a [†] (2 pareti, no perno)	10	422,14	138,92	43,93	-1,56	18	0,136
3b [†] (2 pareti, perno)	10	513,17	121,67	38,47			
4a [‡] (1 parete, no perno)	10	488,74	153,75	48,62	-1,17	18	0,257
4b [‡] (1 parete, perno)	10	573,43	169,19	53,50			
5a [†] (0 pareti, no perno)	10	856,65	112,21	35,48	3,30	18	0,004
5b ^f (0 pareti, perno)	10	649,47	163,54	51,72			

df = gradi di libertà.

Tabella 3 Tipologia di fallimento dei campioni.

	Fratture restaurabili	Fratture non restaurabili
Gruppo 1 (<i>di controllo</i>)	8	2
Sottogruppo 2a	8	2
Sottogruppo 2b	7	3
Sottogruppo 3a	8	2
Sottogruppo 3b	7	3
Sottogruppo 4a	9	1
Sottogruppo 4b	10	0
Sottogruppo 5a	3	7
Sottogruppo 5b	8	2

rima di frattura obliqua sulla superficie palatale dei campioni, partendo dalla corona ed estendendosi fino al terzo medio della radice (*fig. 3*). Fratture coronali complete e danni severi a carico della radice sono stati evidenziati solo in un campione del sottogruppo 4a e in uno nel sottogruppo 5a. In tutti i gruppi le fratture coronali coinvolgenti sia i tessuti dentali sia i restauri in composito si sono verificate a carico della cuspidale palatale. Fratture coesive dei materiali compositi sono state riscontrate in tutti i gruppi. Di contro, fratture adesive dell'intero restauro in composito sono state rilevate solo in alcuni campioni dei sottogruppi 2a e 2b. Un solo campione del sottogruppo 4a ha mostrato l'esposizione del perno in fibra a seguito di una frattura coronale.

Discussione

Numerosi studi sono stati condotti per valutare la resistenza meccanica dei denti trattati endodonticamente [11,12,14,18,21,22], in particolare dei premolari mascellari, dal momento che un'incidenza di fratture piuttosto elevata è

stata descritta a carico di tali elementi [8,9]. Altri studi sono stati dedicati all'individuazione delle tecniche restaurative e dei materiali più adatti a incrementare la resistenza del complesso dente-restauro [13–15]. Il presente studio in vitro è stato realizzato per valutare l'influenza sia del sistema restaurativo post-and-core sia del numero di pareti coronali residue sulla resistenza meccanica a frattura. Poiché tale parametro è risultato incrementato in presenza di perni in fibra e al diminuire delle strutture coronali residue l'ipotesi nulla formulata è stata rifiutata.

Per quanto concerne la preparazione dello spazio per i perni, alcuni studi hanno suggerito una lunghezza del perno pari a 3/4 della lunghezza del canale endodontico o almeno uguale alla lunghezza della corona clinica [26,27]. Inoltre, concordemente con l'approccio tradizionale, è necessario mantenere 4-5 mm di guttaperca a livello apicale per garantire un valido sigillo endodontico [26,28,29]. Tali indicazioni sono state tenute in considerazione per la preparazione dei campioni del presente studio.

Taluni autori hanno ipotizzato che l'eugenolo contenuto in alcuni cementi endodontici possa interferire con la polimerizzazione dei cementi resinosi, inficiando l'adesione tra dentina radicolare, cemento da fissaggio e perno in fibra [30–33]. Alcuni studi non hanno evidenziato alcuna influenza dei residui di eugenolo sull'efficienza dell'adesione, mentre una sola indagine ha riportato che i cementi endodontici contenenti eugenolo possono ridurre l'adesione dei perni [33–36]. Tuttavia, tale problema può essere superato decontaminando meccanicamente o chimicamente la dentina radicolare. La preparazione meccanica dello spazio per il perno rimuove la dentina contaminata [33]; inoltre, la mordenzatura del canale con acido ortofosforico al 37% [37–40] e l'utilizzo di alcol e/o EDTA [36] sono efficaci nel rimuovere i residui di eugenolo, ripristinando l'efficacia dell'adesione tra dentina e resine. Nel presente studio, dopo la preparazione meccanica con frese calibrate dello spazio per il perno, la dentina radicolare è stata decontaminata chimicamente impiegando EDTA.

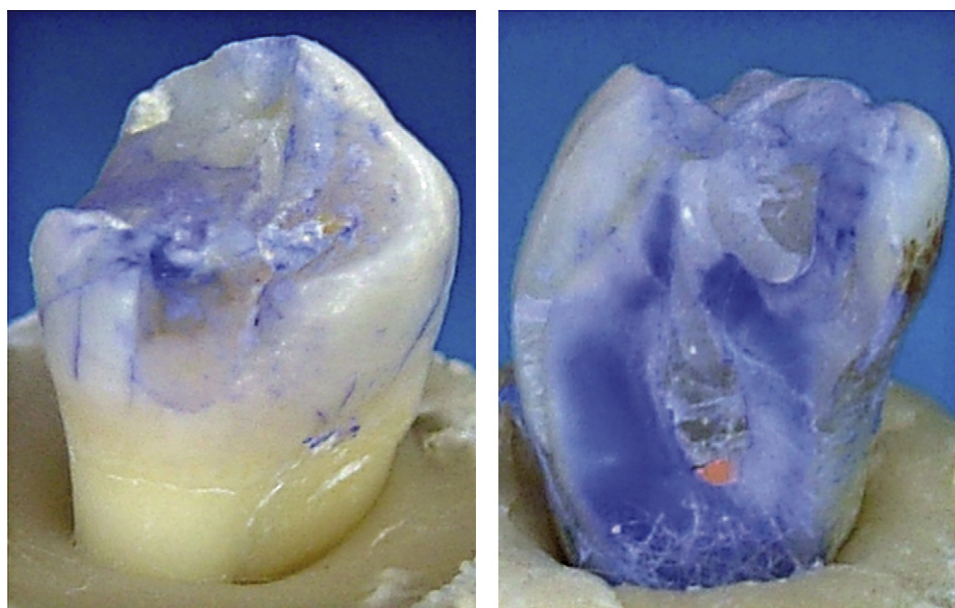


Figura 3 Frattura restaurabile (*sinistra*) e non restaurabile (*destra*).

Nell'ambiente orale, i sistemi restaurativi sono soggetti a stress da fatica, definito come l'applicazione ripetitiva di carichi submassimali rispetto alla resistenza intrinseca di un materiale; l'applicazione di carichi ciclici, per quanto limitati, può indurre l'insorgenza di microfratture con conseguente fallimento dei restauri. Diversi studi hanno dimostrato che i risultati delle analisi di carico statico e dinamico sono paragonabili in termini di concentrazioni massimali di stress e morfologia di frattura [41,42].

La maggior parte degli studi meccanici a frattura con carico statico descritti in letteratura è caratterizzata dall'impiego di premolari caricati sulla cuspidale palatale con un'inclinazione di 130°-145° rispetto all'asse longitudinale del dente: tale configurazione genera un carico compressivo perpendicolare al piano inclinato della cuspidale [12,18]. Al contrario, durante le funzioni orali, l'occlusione genera forze extra-assiali che vengono scomposte in vettori secondo la ben nota regola del parallelogramma. Di conseguenza, nel presente studio è stato applicato sui campioni un carico con direzione parallela all'asse longitudinale del dente, in modo da distribuire gli stress omogeneamente fra tessuti dentari e materiali da restauro, simulando un'occlusione fisiologica.

Durante le funzioni stomatognatiche, un paziente senza parafunzioni genera un carico masticatorio massimale nella regione dei premolari pari a circa 350-500 N [43]. Tali valori hanno trovato riscontro nei carichi medi di frattura registrati nel gruppo 1 (di controllo). Nel sottogruppo 3b sono stati registrati i valori di resistenza meccanica più simili a quelli del gruppo di controllo, mentre carichi medi di frattura inferiori sono stati evidenziati nei sottogruppi 2a, 2b, 3a e 4a. In generale, l'utilizzo di perni in fibra ha permesso di ottenere valori di resistenza a frattura superiori rispetto ai denti ricostruiti con soli materiali compositi.

Uno studio ha evidenziato che il fallimento dei denti trattati endodonticamente è influenzato negativamente dalla perdita di struttura dentaria [7]. Ciò nonostante, i risultati del presente studio hanno mostrato che, a prescindere dall'impiego di perni in fibra, i valori di resistenza a frattura più bassi sono stati registrati nei campioni con più pareti coronali residue. Pur sembrando poco intuitivo, tale fenomeno può essere facilmente spiegato considerando gli elevati fattori di configurazione cavitaria associati ai restauri con più pareti residue [19]. Un'interfaccia adesiva rappresenta l'area di transizione tra materiali con differenti moduli di elasticità; in un restauro adesivo, ciascuna superficie dentaria disponibile per l'adesione crea un'interfaccia adesiva dove gli stress si accumulano durante la polimerizzazione dei compositi [19]. Di conseguenza, un più elevato numero di pareti coronali residue disponibili per l'adesione incrementa la contrazione da polimerizzazione, limitando la capacità dei materiali compositi di dissipare gli stress intrinseci residui. Inoltre, un'interfaccia adesiva rappresenta il punto debole di un sistema restaurativo che può fallire sotto carico. Nei sottogruppi 2a, 2b, 3a e 3b, il progressivo aumento delle interfacce adesive tra dente, materiale composito e perno in fibra ha presumibilmente facilitato la propagazione delle microfratture create a livello della zona di carico sperimentale, determinando il fallimento meccanico della cuspidale palatale e le fratture coesive osservate sia nella dentina sia nei materiali da restauro.

Al diminuire delle pareti residue nei sottogruppi 4a, 4b, 5a e 5b, i valori di resistenza a frattura sono aumentati perché i fattori di configurazione cavitaria erano più favorevoli alla dissipazione degli stress residui e, di conseguenza, la distribuzione delle forze durante il carico è risultata più omogenea. Un solo campione nel sottogruppo 4a è stato interessato da una frattura non restaurabile, mentre nessuna frattura catastrofica è stata riscontrata nel sottogruppo 5b. Ciò testimonia una polimerizzazione ottimale dei materiali compositi e un comportamento biomeccanico del sistema restaurativo favorevole a una distribuzione omogenea dei carichi.

La presenza di un perno in fibra introduce un'interfaccia adesiva addizionale nel restauro che, come descritto, può essere interessata da microfratture che portano al fallimento meccanico del restauro; tale fenomeno può giustificare i valori medi più bassi registrati nel sottogruppo 5b. Ciò nonostante, le modalità di fallimento dei campioni del sottogruppo 5b hanno portato a fratture restaurabili, mentre i campioni del sottogruppo 5a sono stati interessati prevalentemente da fratture catastrofiche. Dal punto di vista meramente funzionale, i campioni di entrambi i sottogruppi 5a e 5b hanno mostrato una resistenza sufficiente a sopportare i carichi occlusali di un soggetto normofunzionale. Tuttavia, la tipologia di frattura restaurabile evidenziata in presenza di perni in fibra di vetro nel sottogruppo 5b rappresenta un parametro clinico di fondamentale importanza per il successo a lungo termine di tali restauri.

L'immersione dei campioni fratturati in inchiostro di china ha permesso di evidenziare la propagazione delle microfratture dall'area di carico sperimentale verso la porzione interna dei restauri in composito fino a raggiungere le interfacce adesive, il cui cedimento ha causato la frattura prevalentemente della cuspidale palatale. L'analisi morfologica delle microfratture ha permesso di evidenziare una direzione di propagazione pressoché parallela alla direzione del carico applicato. La propagazione delle rime di frattura, pertanto, è stata causata principalmente dalla direzione delle forze piuttosto che dalla presenza di potenziali punti deboli del sistema restaurativo (cioè, vuoti o aree di contaminazione all'interno dei restauri in composito), confermando le proprietà ottimali sia dei sistemi adesivi sia dei materiali compositi utilizzati.

Conclusioni

Tenendo presenti i limiti del presente disegno sperimentale, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- la resistenza meccanica a frattura dei denti trattati endodonticamente è stata incrementata dall'utilizzo di perni in fibra di vetro e restauri in composito;
- il numero di pareti coronali residue del dente da restaurare ha influenzato in maniera significativa la resistenza a frattura;
- nei campioni con lo stesso numero di pareti coronali residue sono stati osservati valori medi di frattura più elevati in presenza di perni in fibra di vetro;
- le fratture evidenziate in presenza di perni in fibra hanno mostrato caratteristiche di riparabilità, mentre i campioni restaurati con il solo restauro in composito hanno mostrato per lo più fratture catastrofiche che, clinicamente, avrebbero richiesto l'estrazione dell'elemento dentario.

Ulteriori studi sperimentali e clinici si rendono necessari per confermare la validità dei risultati del presente studio in vitro.

Rilevanza clinica: I risultati del presente studio in vitro possono offrire informazioni utili nel processo decisionale del restauro dei denti trattati endodonticamente, indicando le situazioni cliniche in cui può essere utile posizionare un perno in fibra al fine di migliorare la prognosi a lungo termine.

Conflitto di interesse

Gli autori dichiarano di non aver nessun conflitto di interessi.

Finanziamenti allo studio

Gli autori dichiarano di non aver ricevuto finanziamenti istituzionali per il presente studio.

Bibliografia

- Llena-Puy MC, Forner-Navarro L, Barbero-Navarro I. Vertical root fracture in endodontically treated teeth: A review of 25 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;92:553–5.
- Testori T, Badino M, Castagnola M. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: A clinical survey of 36 cases. *J Endod* 1993;19:87–91.
- Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *J Endod* 1999;7:506–8.
- Fennis WM, Kuijs RH, Kreulen CM, Roeters FJ, Creugers NH, Burgersdijk RC. A survey of cusp fractures in a population of general dental practices. *Int J Prosthodont* 2002;15:559–63.
- Khers SC, Carpenter CW, Vetter JD, Staley RN. Anatomy of cusps of posterior teeth and their fracture potential. *J Prosthet Dent* 1990;64:139–47.
- Hansen EK, Asmussen E, Christiansen NC. In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam. *Endod Dent Traumatol* 1990;10:49–55.
- Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod* 1992;18:332–5.
- Ross IF. Fracture susceptibility of endodontically treated teeth. *J Endod* 1980;6:560–5.
- Salis SG, Hood JA, Stokes AN, Kirk EE. Patterns of indirect fracture in intact and restored human premolar teeth. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:10–4.
- Caputo AA, Standlee JP. Pins and posts – why, when and how. *Dent Clin North Am* 1976;20:299–311.
- Sornkul E, Stannard JG. Strength of roots before and after endodontic treatment and restoration. *J Endod* 1992;18:440–3.
- Akkayan B, Gulmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent* 2002;87:431–7.
- Hudis SI, Goldstein GR. Restoration of endodontically treated teeth: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 1986;55:33–8.
- Ortega VL, Pegoraro LF, Conti PC, Do Valle AL, Bonfante G. Evaluation of fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars, restored with ceromer or heat-pressed ceramic inlays and fixed with dual-resin cements. *J Oral Rehabil* 2004;31:393–7.
- Creugers NH, Mentink AG, Kayser AF. An analysis of durability data on post and core restorations. *J Dent* 1993;21:281–4.
- Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronal reinforcement and coronal coverage: A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984;51:780–4.
- Torbjörner A, Karlsson S, Ödman PA. Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent* 1995;73:439–44.
- Yamada Y, Tsubota Y, Fukushima S. Effect of restoration method on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars. *Int J Prosthodont* 2004;17:94–8.
- Ausiello P, Gee AJ, Rengo S, Davidson CL. Fracture resistance of endodontically-treated premolars adhesively restored. *Am J Dent* 1997;10:237–41.
- Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1994;71:565–7.
- Akkayan B, Canikioglu B. Resistance to fracture of crowned teeth restored with different post systems. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1998;6:13–8.
- Libman WJ, Nicholls JI. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *Int J Prosthodont* 1995;8:155–61.
- Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fibre reinforcement in dentistry. *Dent Mater* 1992;8:197–202.
- Radovic I, Corciolani G, Magni E, Krstanovic G, Pavlovic V, Vulicevic ZR, et al. Light transmission through fiber post: the effect on adhesion, elastic modulus and hardness of dual-cure resin cement. *Dent Mater* 2009;25:837–44.
- Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 1999;27:275–8.
- Goodacre CJ, Spolnik KJ. The prosthodontic management of endodontically treated teeth: A literature review. Part III. Tooth preparation considerations. *J Prosthodont* 1995;4:122–8.
- Sorensen JA, Martinoff JT. Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 1984;52:28–35.
- Goodacre CJ, Spolnik KJ. The prosthodontic management of endodontically treated teeth: A literature review. Part II. Maintaining the apical seal. *J Prosthodont* 1995;4:51–3.
- Abramovitz L, Lev R, Fuss Z, Metzger Z. The unpredictability of seal after post space preparation: A fluid transport study. *J Endod* 2001;27:292–5.
- Hansen EK, Asmussen E. Influence of temporary filling materials on effect of dentin-bonding agents. *Scand J Dent Res* 1987;95:516–20.
- Craig RG. Restorative dental materials, 8th ed, St. Louis: CV Mosby Co; 1989, 272.
- Ngoh EC, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough F. Effects of eugenol on resin bond strengths to root canal dentin. *J Endod* 2001;27:411–4.
- Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: A literature review. *J Endod* 2004;30:289–301.
- Tjan A, Nemetz H. Effect of eugenol-containing endodontic sealer on retention of prefabricated posts luted with an adhesive composite resin cement. *Quintessence Int* 1992;22:839–44.
- Schwartz RS, Murchison DF, Walker WA. Effects of eugenol and noneugenol endodontic sealer cements on post retention. *J Endod* 1998;24:564–7.
- Peutzfeldt A, Asmussen E. Influence of eugenol-containing temporary cement on efficacy of dentin-bonding systems. *Eur J Oral Sci* 1999;107:65–9.
- Mayhew JT, Windchay AM, Goldsmith LJ, Gettleman L. Effect of root canal sealers and irrigation agents on retention of preformed posts luted with a resin cement. *J Endod* 2000;26:341–4.
- Boone KJ, Murchison DF, Schindler WG, Walker WA. Post retention: The effect of sequence of post-space preparation, cementation time, and different sealers. *J Endod* 2001;27:768–71.

39. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF. Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: A confocal microscopic study. *J Prosthet Dent* 2001;85:284–91.
40. Wolanek GA, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Volkmann KR. In vitro bacterial penetration of endodontically treated teeth coronally sealed with a dentin bonding agent. *J Endod* 2001; 27:354–7.
41. Reis PN, Ferreira JA, Costa JD, Richardson MO. Fatigue damage in a glass fibre reinforced polypropylene composite. In: Found MS, editor. *Experimental techniques and design in composite materials*. 4. Lisse: A.A. Balkema Publishers; 2002. p. 33–6.
42. De Iorio A, Ianniello D, Iannuzzi R, Penta F, Apicella A, Di Palma L. Strength criteria for composite material structures. In: Found MS, editor. *Experimental techniques and design in composite materials*. 4. Lisse: A.A. Balkema Publishers; 2002. p. 62–4.
43. Koriath TW, Versluis A. Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. *Crit Rev Oral Biol Med* 1997;8:90–104.