



Disponibile su www.sciencedirect.com



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



ARTICOLO ORIGINALE

Precisione nella determinazione della lunghezza di lavoro mediante localizzatori elettronici d'apice, radiologia digitale e prova visiva: presentazione di una nuova metodica sperimentale di indagine – uno studio ex-vivo

Exact determination of the working length by electronic apex locators, digital radiology, and visual test: presentation of a new experimental research strategy – an ex-vivo study

Luigi Cianconi^a, Vincenzo Angotti^b, Roberto Felici^c, Gabriele Conte^d,
Manuele Mancini^{e,*}

^a Professore aggregato di Odontoiatria Conservativa ed Endodonzia, Facoltà di Medicina, Università degli Studi "Tor Vergata", Roma

^b Consulente libero professionista presso il Reparto di Conservativa ed Endodonzia del Policlinico Universitario "Tor Vergata", Facoltà di Medicina, Roma

^c Odontoiatra frequentatore presso il Reparto di Conservativa ed Endodonzia del Policlinico Universitario "Tor Vergata", Facoltà di Medicina, Roma

^d Ricercatore volontario presso il reparto di Materiali Dentari dell'Università degli studi "Tor Vergata", Roma

^e Consulente libero professionista presso il Reparto di Diagnosi, Igiene e Prevenzione Orale per soggetti vulnerabili sanitari e diversamente abili del Policlinico Universitario "Tor Vergata", Facoltà di Medicina, Roma

Ricevuto il 20 febbraio 2011; accettato il 2 marzo 2011
disponibile online il 12 giugno 2011

PAROLE CHIAVE

Localizzatori elettronici d'apice;
Lunghezza di lavoro;
Pro-Train;
Root ZX;
Propex II;
Endex.

Riassunto

Obiettivi: Gli obiettivi di questo studio sono: 1) confrontare la precisione di tre localizzatori elettronici d'apice (LEA) nel determinare la lunghezza di lavoro (LL) ex-vivo; 2) verificare l'affidabilità della radiologia digitale nel determinare la posizione del K-file all'interno del canale radicolare; 3) confrontare la precisione di due diverse proiezioni radiografiche; 4) analizzare se esista una correlazione tra diametro del K-file e precisione dei LEA; 5) verificare se esista una relazione tra precisione dei LEA e tipologia dentale.

Materiali e metodi: La LL è stata misurata su 101 canali radicolari appartenenti a tutte le tipologie dentali utilizzando tre diversi LEA (Root ZX, Endex e Propex II), la radiovideografia (RVG)

* Corrispondenza: via Tuscolana 58 – 00182 Roma.
E-mail: manuele.mancini@tiscali.it (M. Mancini).

KEYWORDS

Apex locator;
Working length;
Pro-Train;
Root ZX;
Propex II;
Endex.

e la prova visiva. Tutte le procedure sperimentali sono state condotte con un dispositivo per esercitazioni in campo endodontico (Pro-Train).

Risultati: Il *t*-test indica che il Propex II e l'Endex sono più precisi del Root ZX nel determinare la LL. La radiografia si è dimostrata essenzialmente inaffidabile; le proiezioni mesio-distale e vestibolo-linguale non mostrano differenze statisticamente rilevanti. L'analisi statistica non evidenzia differenze significative fra i tre diametri di K-file. Nei denti del gruppo frontale i LEA e la RVG sono meno precisi.

Conclusioni: I LEA si sono rivelati più precisi della radiologia. Per evitare sovrastrumentazioni dello spazio endodontico bisognerebbe sottrarre 1 mm dalla misura sul simbolo "APEX" del display. Il diametro del K-file non influenza le misure. La precisione dei LEA e della radiologia dipende dalla tipologia dentale.

© 2011 Società Italiana di Endodonzia. Pubblicato da Elsevier Srl. Tutti i diritti riservati.

Abstract

Objectives: This study compared: 1) the accuracy of three different electronic apex locators (EALs) in detecting the apical foramen ex-vivo under clinical conditions; 2) the accuracy of digital radiography and EALs in determining the K-file position in the root canal; 3) the accuracy of two different radiographic planes; (4) the precision of #10, #15, and #20 K-files in electronic measurements; 5) the precision of EALs in relation to the dental anatomy classification (anterior, bicuspid, and molars).

Materials and methods: The length of 101 extracted human teeth was measured with three different EALs (Endex, Propex II and Root ZX), with RVG and compared to the actual length. Experimental procedures were performed using an endodontic training kit (Pro-Train).

Results: The statistical analysis showed that Endex and Propex II were more accurate than Root ZX in determining the working length (WL). The *t*-test showed no statistically significant difference of accuracy between the two radiographic planes examined. The *t*-test showed no significant difference between the three different K-file size measurements. EALs and RVG are less accurate in anterior teeth.

Conclusions: To prevent overestimation of the root canal length using the EALs tested, 1 mm should be subtracted from the measurement on the "APEX" mark. Instrument sizes did not affect the accuracy of EALs. EALs showed to be more accurate in determining the WL than RVG.

© 2011 Società Italiana di Endodonzia. Published by Elsevier Srl. All rights reserved.

Introduzione

La lunghezza di lavoro (LL) è definita come la distanza tra un punto di repere coronale e il limite apicale al quale dovrebbero terminare la preparazione e l'otturazione endodontica. È stato dimostrato che la preparazione e l'otturazione del sistema endodontico devono terminare in corrispondenza della costrizione apicale minore perché errori in difetto o in eccesso possono pregiudicare il successo della terapia endodontica [1]. La costrizione apicale minore, denominata anche diametro minore, è posta in prossimità della giunzione cemento-dentinale (*cement-dentinal junction*, CDJ), che rappresenta istologicamente il punto di transizione fra il tessuto pulpare e quello parodontale. La CDJ è considerata il termine ideale dell'otturazione endodontica [2], ma clinicamente la sua individuazione è a oggi difficoltosa. Vari studi anatomici hanno dimostrato che la distanza media tra costrizione apicale minore e forame apicale maggiore è di 0,5 mm nei soggetti giovani e di 0,8 mm in quelli adulti [3,4]. Storicamente, le tecniche per la determinazione della LL sono le radiografie endorali periapicali, le sensazioni tattili e la prova del cono di carta assorbente. Fino a pochi anni fa, la metodica più utilizzata era sicuramente quella radiografica. Sebbene la radiografia sia fondamentale per studiare l'anatomia endodontica, a nostro avviso essa presenta

numerosi limiti che ne pregiudicano l'affidabilità nella determinazione della LL: distorsioni, ingrandimento, variabilità nell'interpretazione, mancanza di tridimensionalità e non corrispondenza tra forame apicale maggiore e apice radiografico. Altre variabili possono influenzare la misura radiografica, come l'inclinazione dei denti, della pellicola radiografica e del tubo radiogeno [5]. In uno studio ex-vivo di Olson et al., si è evidenziato che solo l'82% degli strumenti endodontici posizionati a livello del forame apicale di denti estratti appariva all'apice radiografico [6]. El Ayouti et al. hanno rilevato che la sola valutazione radiografica della LL comporta un rischio di sovrastrumentazione nel 56% dei premolari e nel 33% dei molari [7]; ciò è dovuto principalmente alla frequente posizione non assiale del forame apicale, che si trova in posizione laterale nel 60% dei casi e lungo l'asse longitudinale del dente nel 40%, come dimostrato da Martos et al. [8]. Nei denti in cui il forame apicale è situato in posizione non assiale e sullo stesso piano della pellicola radiografica, la posizione radiografica del K-file apparirà coronale e ogni tentativo di aggiustamento condurrà a una sovrastrumentazione della LL. Questo evento è stato riscontrato in vivo e in vitro [9,10]. I produttori dei LEA consigliano di usare il K-file più grande in grado di registrare la LL, anche se Briseño-Marroquín et al. [11] hanno dimostrato che non sempre incrementando il diametro del file aumenta la precisione

dei LEA. Gli stessi autori hanno inoltre osservato che il K-file 15 è quello che con cui si ottengono più frequentemente misure instabili. Nonostante l'alta precisione dei localizzatori elettronici, Hoer e Attin [12] hanno dimostrato che si ha una determinazione accurata della LL solo nel 51-64% dei canali radicolari in funzione del diverso LEA impiegato; inoltre, la probabilità di determinare l'area tra i forami maggiore e minore era stimata tra l'81% e l'82% dei casi. L'Endex/Apit è stato sviluppato da Yamaoka nel 1984 basandosi sugli studi di Ushyama [13]. Il funzionamento di questo LEA si basa sulla misura della differenza di impedenza elettrica fra due onde con frequenza diversa (1 e 5 KHz) e fornisce misure più precise in canali umidi [14] che in canali asciutti [15]. L'Endex deve però essere calibrato (premendo il tasto "Reset") per la misurazione di ogni canale e la sua precisione, sulla base dei più recenti articoli, varia rispettivamente tra il 59%, il 68% e il 100% [16–18]. L'innovazione tecnologica ha condotto allo sviluppo di LEA come il Root ZX, che sfruttano il rapporto tra le impedenze misurate su due lunghezze d'onda diverse. Questo LEA fornisce misure accurate in canali sia asciutti che umidi, non richiedendo inoltre calibrazione. La sua precisione è descritta in numerosi lavori e oscilla fra il 75% e il 97,5% [10,19–22]. Recentemente è stato sviluppato un nuovo LEA, il Propex II, le cui misure sono eseguite considerando l'energia del segnale e non la sua ampiezza, come avviene in tutti gli altri LEA. Ciò permette di ottenere misurazioni estremamente precise: Briseño-Marroquín et al. [11] hanno rilevato una precisione nel determinare la posizione del forame apicale (con una tolleranza di $\pm 0,5$ mm) tra l'83,45% e il 91,41% a seconda del K-file utilizzato e fino al 97,66% con una tolleranza di ± 1 mm.

Gli scopi del nostro lavoro possono essere riassunti nei seguenti punti:

- verificare ex-vivo l'affidabilità di tre LEA (Endex e Root ZX, di III generazione, e Propex II, di IV generazione), confrontandoli fra loro;
- analizzare statisticamente la congruità delle misure eseguite con i LEA testati, paragonandole con le radiografie endorali periapicali eseguite su due piani tra loro ortogonali;
- confrontare immagini e dati derivanti dalle radiografie nelle due proiezioni;
- comparare le lunghezze effettive dei canali radicolari con quelle ricavate dai LEA;
- valutare statisticamente il grado di precisione delle tre diverse sezioni di K-file utilizzati per le misure;
- verificare se esista una correlazione statisticamente significativa fra tipologia dei campioni, precisione dei LEA e affidabilità della radiologia.

Materiali e metodi

Il presente studio sperimentale è stato eseguito in accordo con le linee guida e in seguito all'approvazione dalla Commissione Etica dell'Università degli Studi "Tor Vergata" di Roma.

Per lo studio sono stati selezionati 71 denti, per un totale di 101 canali radicolari. I campioni sono stati scelti sulla base delle caratteristiche che avrebbero potuto influenzare la sperimentazione come di seguito specificato. Nella fattispecie, e sulla base di questo protocollo, sono stati utilizzati 21 molari, 24 premolari e 26 denti anteriori (incisivi e canini).

Gli elementi dentali, estratti per parodontopatie e/o per finalità ortodontiche, sono stati selezionati impiegando i seguenti criteri di esclusione: 1) presenza di pregresse terapie conservative, endodontiche o protesiche; 2) apice immaturo o rimaneggiamenti apicali; 3) presenza di riassorbimento radicolare in ogni sua forma e posizione; 4) apici beanti; 5) assenza di percorribilità endodontica/calcificazioni e pulpoliti; 6) fratture radicolari. La morfologia, la lunghezza e il grado di curvatura della radice, così come le caratteristiche anatomiche dello spazio endodontico, non sono stati oggetto di restrizioni perché non avrebbero potuto influenzare i risultati dello studio. I forami apicali sono stati osservati e valutati mediante l'ausilio di un microscopio ottico a un ingrandimento pari a 20x (Universal-300, Moeller-Wedel, Wedel, Germania). I denti sono stati immersi, in seguito all'estrazione, per due ore in ipoclorito di sodio al 5% per ottenere la totale rimozione dei residui di tessuto parodontale e sono stati successivamente conservati in soluzione fisiologica alla temperatura di 4 °C e utilizzati entro 7 giorni. Le corone anatomiche degli elementi dentali sono state sezionate sul piano trasversale a 3 mm dalla giunzione amelo-cementizia con un disco separatore diamantato (Ulisse 22/0.3, Diastar, Givoletto, Italia), sotto costante getto d'acqua, al fine di ottenere una superficie piana su cui poter poi standardizzare il posizionamento degli stop siliconici degli strumenti endocanalari. Si è scelto di non sezionare le corone a livello della giunzione amelo-cementizia, come suggerito in letteratura, per poter così usare anche i denti pluriradicolati senza doverne separare le radici, con una conseguente maggiore validità clinica dello studio. In seguito, è stata eseguita una cavità di accesso con frese diamantate (EndoAccess Kit, Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Svizzera), rinnovate ogni cinque campioni trattati. Successivamente, è stata verificata la pervietà dei canali radicolari con strumenti manuali K-file #06, #08 e #10 (Dentsply-Maillefer) prestando particolare attenzione a non modificare la posizione e l'anatomia del forame apicale durante le operazioni di filing. Durante le fasi sopra elencate, non è stato utilizzato alcun irrigante canalare, che avrebbe potuto falsare le successive misurazioni elettroniche della LL. L'intera sperimentazione è stata eseguita con l'ausilio di un dispositivo ideato e creato per esercitazioni in campo endodontico, il Pro-Train (Simit Dental srl, Mantova, Italia). Questo dispositivo (fig. 1) permette la misurazione della LL e l'esecuzione di radiografie endorali senza dover mai spostare



Figura 1 Il Pro-Train (Simit Dental srl, Mantova, Italia) permette l'inamovibilità del campione durante le fasi sperimentali.

il campione dalla posizione inizialmente stabilita. Nel dettaglio, il dispositivo possiede una pinza dedicata all'inserimento del campione, che viene fissato stringendo la ghiera sulla pinza stessa. Apicalmente al campione è presente una vaschetta contenente il gel elettroconduttore (Farmacare Srl, Milano, Italia) che, a contatto con l'apice dentale, permette la misurazione della LL con i comuni LEA, simulando così una condizione clinica in vivo. La clip labiale dei LEA è inserita all'interno della vaschetta mediante un foro dedicato (fig. 2). Lateralmente al campione sono presenti due box ortogonali fra loro, progettati per posizionare le pellicole radiografiche classiche o i sensori usati per la radiovideografia (RVG). La possibilità di eseguire radiografie ortogonali tra loro ci ha permesso di ottenere sempre un radiogramma in senso mesio-distale ed uno in senso vestibolo-palatino/linguale. Per posizionare in maniera ripetibile il tubo radiogeno e per ottenere l'inamovibilità del Pro-Train anche durante l'utilizzo dei LEA, è stato progettato e costruito un supporto in materiale rigido e indeformabile (fig. 3) costituito da: (A) una base con incastro millimetrico finalizzata alla guida di inserzione e al bloccaggio del Pro-Train; (B) due binari-guida (di dimensioni e spessore calibrati per il tubo radiogeno scelto per la sperimentazione), ortogonali fra loro, destinati alla collocazione del tubo radiogeno e ideati per standardizzare sia la direzione sia l'inclinazione del tubo stesso, nonché le distanze fuoco-campione-sensore RVG; (C) indicazioni sinottiche poste lateralmente a ciascun binario-guida, al fine di associare ciascun binario alla corrispondente proiezione radiografica, permettendo in questo modo agli operatori indipendenti di procedere in maniera standardizzata/randomizzata. Nello studio sono stati usati e testati tre diversi LEA appartenenti a due differenti generazioni: l'Endex (Osada Electric Co., Tokyo, Giappone) e il Root ZX (J. Morita Co. Tustin, CA, USA) di III generazione e il Propex II (Dentsply-Maillefer) di IV generazione. Per differenze generazionali, ma soprattutto per differenti "design" sinottici, non tutti i LEA in produzione hanno un sistema standard di visualizzazione della costrizione apicale e/o del forame apicale. Nel nostro caso, visti i diversi display e i diversi punti sinottici, abbiamo scelto come riferimento per le nostre misurazioni il simbolo "APEX" per tutti i localizzatori testati. Per ciascun campione/canale radicolare, due



Figura 2 L'apparato sperimentale durante le misurazioni elettroniche.

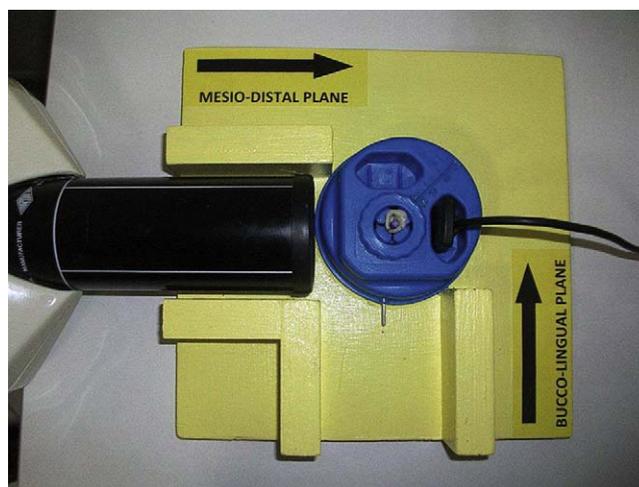


Figura 3 L'apparato sperimentale durante le prove radiografiche.

operatori indipendenti hanno eseguito tre misurazioni della LL con tre K-file diversi (#10, #15 e #20) per ogni LEA, per un totale di nove misure elettroniche. È stato utilizzato un nuovo K-file ogni tre campioni testati. I K-file sono stati introdotti gradualmente nel canale finché il LEA non segnalava il raggiungimento del simbolo "APEX". Ogni misurazione è stata considerata valida se stabile per almeno cinque secondi. La lunghezza rilevata è stata misurata sul K-file con una scala millimetrata a unità pari a 0,5 mm e con l'ausilio di un ingrandimento ottico 4,5x (Carl Zeiss GmbH, Oberkochen, Germania). Ogni misurazione è stata controllata e verificata da tre esaminatori indipendenti; i primi 10 campioni sono stati misurati collegialmente fra i tre operatori, per poter fissare modalità e punti di repere fondamentali nello standardizzare le misurazioni durante l'intero studio, mentre i restanti sono stati studiati in maniera indipendente da ciascun operatore. Ultimata la rilevazione delle LL, sono state eseguiti i test radiografici. Per la prova radiografica è stato selezionato il K-file che più si avvicinava per frequenza di misurazioni alla media delle nove misure eseguite per ciascun campione. Nel caso due o più K-file riportassero lo stesso risultato, si è sempre selezionato il K-file di diametro maggiore. Le prove radiografiche sono state condotte da un quarto operatore, esperto e "in cieco" rispetto alle misure dei LEA. Le radiografie sono state eseguite utilizzando la tecnica RVG con l'ausilio di una sorgente radiogena (Evolution X 3000, New Life Technology srl, Grugliasco, Italia) e di un sensore RVG (DSX Digital Sensor, Anthos Impianti srl, Imola, Italia). La distanza media tra il campione e il sensore RVG è stata fissata a 17 mm, la distanza tra il campione e l'uscita esterna della sorgente radiogena a 32 mm e infine la distanza tra l'uscita esterna della sorgente radiogena e il sensore RVG a 58 mm. Dopo aver determinato il K-file da usare, scelto secondo le sopra elencate caratteristiche, sono state eseguite le prove radiografiche nelle due proiezioni, ponendo il file a una lunghezza pari alla media, approssimata a 0,5 mm, delle nove lunghezze rilevate durante la prova elettronica. Le immagini radiografiche ottenute sono state successivamente elaborate con un software dedicato (Image Easy Managing, Anthos Impianti srl, Imola, Italia), precedentemente calibrato, per stimare la distanza tra la punta del K-file e l'apice radiografico. Gli

scarti misurati con il software si sono rivelati sovrastimati mediamente del 10%. Per ottenere questa deviazione percentuale sono state eseguite 50 misurazioni radiografiche in cui si confrontava la misura ottenuta dal software con quella visiva/effettiva. Al termine delle prove radiografiche, i campioni sono stati rimossi dal Pro-Train ed è stata stimata la LL visivamente con l'ausilio di ingrandimenti 4,5x dagli stessi operatori che avevano eseguito i test con i LEA. Basandosi su una standardizzazione riscontrata in letteratura, la misurazione visiva è stata eseguita posizionando la punta del K-file in corrispondenza del bordo più coronale del forame apicale, osservando il forame stesso con un'angolazione tangenziale (figure 4 e 5). La distanza tra l'anellino in silicone e la punta dello strumento è stata misurata con una scala millimetrata con 0,5 mm di unità ed è stata verificata dai tre esaminatori indipendenti.

Risultati

L'Interobserver Kappa Agreement, con un livello di significatività di 0,5, ha mostrato valori di accordo tra gli operatori uguale o superiore a 0,90 per i differenti gruppi. La precisione dei LEA è mostrata nella *tabella 1*. La differenza media tra

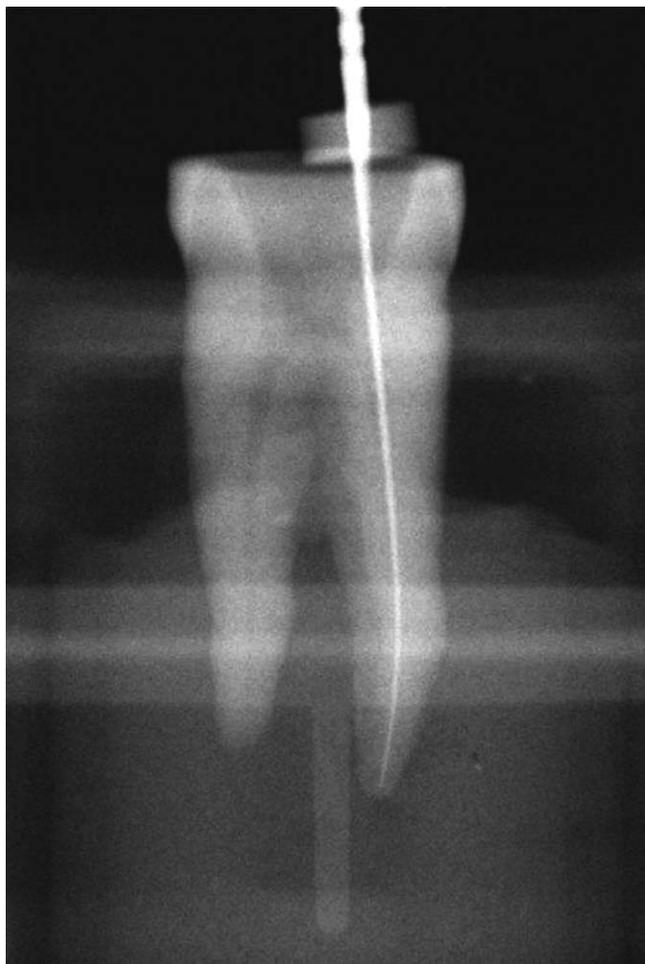


Figura 4 Il K-file appare radiograficamente coronale rispetto all'apice radiografico, ma alla prova visiva si presentava in corrispondenza del forame.



Figura 5 Il K-file appare radiograficamente all'apice radiografico, ma alla prova visiva si presentava oltre il forame apicale.

misura elettronica e prova visiva (lunghezza effettiva del canale) è stata di 0,23, 0,50 e 0,27 mm, rispettivamente, per Endex, Root ZX e Propex II. La misura elettronica della LL ($\pm 0,5$ mm) è stata sovrapponibile alla lunghezza effettiva nell'84,1%, 62,4% e 82,2% dei campioni, rispettivamente per Endex, Root ZX e Propex II. I tre LEA hanno mostrato una marcata tendenza alla sovrastima: 15,9%, 37,6% e 17,8% dei campioni, rispettivamente, per Endex, Root ZX e Propex II. La posizione radiografica del K-file è stata uguale alla prova visiva nel 44,5% e nel 51,5% dei campioni, rispettivamente nelle proiezioni vestibolo-linguale e mesio-distale, con un'alta tendenza alla sottostima. La distanza media tra la punta del K-file e l'apice radiografico è stata 0,0182 mm ($\pm 0,4217$) e 0,0545 mm ($\pm 0,3885$), rispettivamente, per le proiezioni vestibolo-linguale e mesio-distale (*tabella 2*). Il diametro del K-file non ha influenzato le misure dei LEA. Le misure elettroniche e radiografiche si sono rivelate meno precise nei denti del gruppo anteriore, seguiti dai molari e dai premolari (*tabelle 3 e 4*).

Analisi statistica

È stato utilizzato il paired *t*-test per analizzare i dati ottenuti adottando un livello di confidenza pari al 99,9%. L'analisi

Tabella 1 Analisi statistica della differenza tra misure elettroniche e prova visiva (mm).

	Medie	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
Endex (n = 101)	0,2345	0,3353	-0,5*	1	7,03	p < 0,001
Root ZX (n = 98)	0,5011	0,4176	-0,17*	1,67	11,88	p < 0,001
Propex II (n = 101)	0,2722	0,365	-0,67*	1,5	7,49	p < 0,001

* I valori negativi indicano che la posizione del K-file è coronale rispetto al forame apicale.

Tabella 2 Analisi statistica della precisione dei LEA e della RVG (mm).

Proiezione vestibolo-linguale	Medie	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
Endex (n = 99)	17,216	2,240	12,1	21,6	76,48	p < 0,001
Root ZX (n = 96)	17,399	2,250	12,1	22,07	75,78	p < 0,001
Propex II (n = 99)	17,254	2,293	12,1	21,6	74,89	p < 0,001
Proiezione mesio-distale	Medie	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
Endex (n = 101)	17,186	2,205	12,1	21,5	78,32	p < 0,001
Root ZX (n = 98)	17,359	2,203	12,1	22,07	77,99	p < 0,001
Propex II (n = 101)	17,224	2,260	12,1	21,5	76,57	p < 0,001

Tabella 3 Analisi statistica della precisione dei LEA in funzione della tipologia dentale.

Denti frontali	Media	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
	0,0941	0,082	0	1	0,28	p < 0,01
Premolari	Media	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
	0,0842	0,076	0	1	0,23	p < 0,001
Molari	Media	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
	0,1485	0,13	-0,5	1	0,62	p < 0,005

statistica è stata condotta mediante il SAS System (SAS Institute srl, Milano, Italia) e ha mostrato una differenza statisticamente significativa tra il Root ZX e Propex II/Endex; non è emersa alcuna differenza statisticamente significativa tra questi ultimi due LEA. Il *t*-test non ha mostrato differenze tra le due proiezioni radiografiche esaminate. Il *t*-test non ha evidenziato differenze fra i tre diversi K-file. L'analisi statistica eseguita sugli elementi dentali ha mostrato una precisione maggiore nel settore posteriore, in particolare

p < 0,001 per i premolari, p < 0,005 per i molari e infine p < 0,01 per i denti del settore anteriore.

Discussione

L'effettiva validità delle misurazioni eseguite con LEA e modelli sperimentali in vitro è sconosciuta [23]. Tuttavia, queste sperimentazioni, condotte con elementi dentali

Tabella 4 Analisi statistica della differenza tra prova visiva e prova radiografica.

Proiezione vestibolo-linguale	Media	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
Denti anteriori	-0,4*	0,039	-1,2*	0,2	1,57	p < 0,01
Premolari	-0,3*	0,031	-1,6*	0,1	1,24	p < 0,001
Molari	-0,2*	0,019	-1,6*	0,6	0,95	p < 0,005
Proiezione mesio-distale	Media	DS	Minimo	Massimo	t	Pr > [t]
Denti anteriori	-0,4*	0,041	-0,8*	0,2	1,56	p < 0,01
Premolari	-0,2*	0,022	-0,9*	0,6	1,01	p < 0,001
Molari	-0,2*	0,022	-1,5*	0,5	0,99	p < 0,005

* I valori negativi indicano che la prova radiografica ha mostrato il K-file in una posizione coronale.

immersi in conduttori elettrici che simulano i tessuti periapicali, riproducono abbastanza fedelmente le condizioni cliniche. L'affidabilità di questo tipo di studi è basata sul principio di funzionamento dei LEA di natura puramente fisica più che biologica [24]. Di contro, il principale limite degli studi sull'argomento consiste nella mancanza di standardizzazione dei protocolli sperimentali, che renderebbe riproducibili gli studi in vitro e che, di conseguenza, potrebbe consentire un confronto su base scientifica. Da questi presupposti, abbiamo concepito una sperimentazione che ci ha permesso di eseguire misurazioni ripetibili impiegando due dispositivi che consentono di mantenere fissa la posizione del campione durante l'utilizzo dei LEA e delle prove radiografiche, utilizzando un gel eco/elettroconduttore. Essendo l'alginato il materiale più frequentemente utilizzato in questo tipo di sperimentazioni [19–21,25–28], la sua resistenza elettrica è stata studiata e confrontata con quella del gel in un esperimento i cui risultati sono mostrati nella *tabella 5*. Da questi è emerso che il gel ha una resistenza costante nel tempo e non è influenzato da alcun fattore sperimentale, a differenza dell'alginato, la cui resistenza dipende dal tempo trascorso dall'impasto e dalla resistenza elettrica dell'acqua utilizzata. Il Pro-Train e la base dedicata consentono di mantenere fissa e stabile la posizione del campione durante le procedure sperimentali, consentendo di standardizzare ogni aspetto della sperimentazione. Numerosi lavori presenti in letteratura adottano come margine di errore $\pm 0,5$ mm per stimare la precisione dei LEA [6,11,19,20,25,26,29–36], confrontando la LL determinata elettronicamente con la lunghezza effettiva del canale misurata senza sezionare longitudinalmente il terzo apicale della radice. Le misurazioni eseguite con la tolleranza di $\pm 0,5$ mm sono considerate altamente precise [32]. Considerando questo margine di errore, i risultati degli studi sopra elencati mostrano una precisione compresa tra il 75% e il 97,5% per il Root ZX. Tali studi differiscono tra loro per la scelta di protocolli sperimentali e punti di riferimento diversi [31]: alcuni autori hanno misurato la LL usando come riferimento la costrizione apicale minore [6,20,22,25,31,34,35,37], altri il forame apicale maggiore [21,26,36,38,39]. Nel nostro studio abbiamo misurato la LL utilizzando come repere il forame apicale, identificato elettronicamente sui display dei nostri LEA dal simbolo "APEX". Nella determinazione della lunghezza effettiva del canale, abbiamo scelto il forame apicale per la sua facile identificazione; inoltre, esso non viene mai alterato dalle operazioni di verifica della percorribilità canale. Vari studi dimostrano una maggiore precisione nel determinare la posizione del forame apicale rispetto alla costrizione apicale [22,26,27,40]. I risultati del presente lavoro evidenziano che i tre LEA testati sono in grado di misurare esattamente la LL nell'84,1% dei casi, ammettendo un margine di errore di 0,5 mm. La sovrastima delle misure è stata del 14,8% (sovrastima media di 0,3 mm con un range compreso tra $-0,5$ mm e 1 mm); questo risultato è in

disaccordo con vari autori [26,27], che riportano una sovrastima nei loro lavori compresa fra il 2,5% e il 7%. La notevole differenza è dovuta al riferirsi da parte di altri autori al simbolo indicante la costrizione apicale sul display dei LEA anziché al simbolo "APEX": ciò ha verosimilmente comportato una minore sovrastima delle misurazioni, come dimostrato da Angwaravong e Panitvisai [28]. Di contro, Pagavino et al. [41], impiegando il Root ZX e determinando la LL usando il simbolo "APEX" sul display, hanno riscontrato una sovrastima della misura elettronica prossima al 100%. Nel nostro studio, la scelta del bordo più coronale del forame apicale come repere ci ha obbligato a considerare sovrastimate misurazioni elettroniche in cui il K-file era visibile nel contesto del forame stesso, come spesso accaduto nei forami con sbocco laterale e con forma ovale, in accordo con Pagavino et al. [41]. Questo "assunto" pone seri dubbi sull'impiego dei localizzatori, in quanto la preparazione e l'otturazione canale oltre apice possono compromettere il successo della terapia endodontica. I nostri risultati indicano di sottrarre 1 mm dalla lunghezza di lavoro misurata dai tre LEA se utilizzati impiegando il simbolo "APEX" del display. Bernardes et al. [19] e Versiani et al. [27] consigliano di usare il simbolo "1" sul display del Root ZX per evitare sovrastime della LL. Sono necessarie ulteriori ricerche per accertare se sia più preciso stimare la LL considerando il simbolo "APEX" e successivamente sottrarre 1 mm, come da noi eseguito, oppure considerare come riferimento il simbolo "1". A nostro avviso, considerato che i numeri che appaiono sul display al variare della posizione dello strumento canale non corrispondono alla reale distanza della punta del K-file dal forame, come dimostrato in letteratura [42], è più corretto eseguire la misura su "APEX" e successivamente sottrarre 1 mm. Questa considerazione è in contrasto con quanto affermato da D'Assunção et al. [26], secondo cui è necessario utilizzare come termine la costrizione apicale per la determinazione della LL, perché l'impiego del forame apicale potrebbe risultare in misure più imprecise. Vari autori [26,33,41] consigliano di sottrarre alla misura effettuata sul simbolo "0,5" del display altri 0,5 mm o 1 mm per evitare sovrastrumentazioni. Nel nostro lavoro, il Root ZX, l'Endex e il Propex II hanno misurato con precisione la lunghezza effettiva del canale rispettivamente nel 65,3%, 86,1% e 83,2%. Fra i tre LEA testati, solo il Root ZX ha mostrato un'accuratezza statisticamente inferiore a quella descritta in letteratura.

Mancando in letteratura uno studio che confronti la tipologia dentale e la precisione dei LEA, ci siamo soffermati anche su questo aspetto. Vari sono i lavori pubblicati che utilizzano varie tipologie dentarie [10,12,22,38,43–45], ma nessuno le ha confrontate con la precisione dei LEA. Inoltre, l'impiego di tutte le tipologie dentali ha reso questa sperimentazione più idonea a un confronto con la realtà clinica. Abbiamo rilevato una maggiore precisione nel misurare la LL, con una tolleranza di $\pm 0,5$ mm, nei premolari, seguiti dai

Tabella 5 Resistenza elettrica (k Ω) del gel e dell'alginato miscelato con acqua distillata e di rubinetto.

	T = 0 min	T = 1 min	T = 5 min
Alginato con acqua distillata	20 k Ω	415 k Ω	1035 k Ω
Alginato con acqua di rubinetto	15 k Ω	220 k Ω	843 k Ω
Gel	255 k Ω	255 k Ω	255 k Ω

molari e dai denti frontali. La tipologia dentale che ha fornito maggiori sovrastime è costituita da incisivi e canini, seguita dai molari e dai premolari. I dati raccolti ci permettono di identificare i denti del gruppo frontale come quelli in cui le misurazioni sono state meno precise, mentre i premolari si sono rivelati i più precisi. L'ipotetica spiegazione dei diversi gradi di precisione è da imputarsi alla variabilità anatomica legata alla tipologia dentale.

La radiografia si è rivelata inaffidabile nel determinare la posizione della punta dello strumento endocanalare rispetto al forame apicale, in quanto nel 28,5% dei campioni il K-file si presentava all'apice radiografico, ma alla prova visiva era oltre apice. Ciò è in accordo con Tselnik et al. [22], che hanno riscontrato come 22 campioni su 36 presentassero la punta del K-file non all'apice radiografico; 15 di questi 22 campioni presentavano, alla prova visiva, il K-file oltre la costrizione apicale. Anche lo studio di Welk et al. [10] ha rilevato che nel 18,7% dei campioni radiograficamente precisi il K-file era visivamente oltre il forame apicale. Questa imprecisione trova una spiegazione nella frequente posizione laterale del forame apicale, che mostra radiograficamente il K-file in una posizione più coronale di quella stabilita elettronicamente e verificata visivamente [7]. Inoltre, il forame può essere posto fino a 3 mm di distanza dall'apice anatomico nell'83% dei casi [46]. Martos et al. [47] hanno riscontrato che nei molari il forame apicale è più frequentemente posto lungo l'asse maggiore della radice: ciò può spiegare la maggior precisione da noi ottenuta nelle radiografie eseguite sui molari in entrambe le proiezioni. Williams et al. [45] affermano che la radiografia è molto più attendibile nei denti anteriori che nei posteriori a causa della più alta incidenza, in questi ultimi, della posizione laterale del forame apicale [7]. I risultati di Williams sono in contrasto con quelli da noi ottenuti, nei quali la tipologia dentale meno affidabile radiograficamente è rappresentata dai denti del gruppo frontale, in entrambe le proiezioni radiografiche. Sono indispensabili ulteriori ricerche per verificare l'attendibilità di questi dati. In disaccordo con i risultati del nostro studio, Hassanien et al. [48] hanno riscontrato che la determinazione radiografica della LL è più precisa di quella determinata elettronicamente.

Da un'attenta analisi della letteratura, risulta evidente la mancanza di studi che confrontino l'affidabilità delle misure radiografiche eseguite in proiezione mesio-distale e vestibolo-linguale. Dai dati emersi dal nostro studio si può constatare come la proiezione mesio-distale sia precisa quanto quella vestibolo-linguale.

Infine, in accordo con il nostro studio, Briseño-Marroquín et al. [11] e Herrera et al. [25] hanno dimostrato che non esiste correlazione fra diametro del K-file e precisione della misura elettronica della LL.

Conclusioni

I tre LEA testati tendono a sovrastimare la LL quando si utilizza il simbolo "APEX" sul display. Inoltre, la precisione rilevata è inferiore a quella descritta in letteratura. L'Endex e il Propex II si sono mostrati più precisi del Root ZX.

Il metodo radiografico si è dimostrato sostanzialmente inaffidabile nel determinare la posizione del K-file all'interno del canale radicolare.

Il diametro del K-file non influenza la misura.

Le prove radiografiche e le misurazioni elettroniche si sono rivelate più imprecise nei canali dei denti anteriori rispetto alle altre tipologie dentarie.

Rilevanza clinica: È necessario sottrarre 1 mm dalla misura letta con il LEA indicante "APEX". L'impiego della radiologia per la determinazione della LL e per la verifica dell'otturazione endodontica è inaffidabile. La precisione dei LEA e della radiografia dipende dalla tipologia dentale.

Conflitto di interesse

Gli autori dichiarano di non aver nessun conflitto di interesse.

Finanziamenti allo studio

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

Bibliografia

1. Chugal N, Clive J, Spangberg L. Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2003;96:81–90.
2. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 1967;11:723–44.
3. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984;17:192–8.
4. Stein TJ, Corcoran JF, Zillich RM. Influence of the major and minor foramen diameters on apical electronic probe measurements. *J Endod* 1990;16:520–2.
5. Goldman M, Pearson AH, Darzenta N. Endodontic success: who's reading the radiograph? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;33:432–7.
6. Olson AK, Goerig AC, Cavataio RE, Luciano J. The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. *Int Endod J* 1991;24:28–35.
7. Elayouti A, Weiger R, Löst C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod* 2002;27:49–52.
8. Martos J, Ferrer-Loque C, Gonzales-Rodriguez MP, Castro LA. Topographical evaluation of the major apical foramen in permanent human teeth. *Int Endod J* 2009;42:329–34.
9. Chunn CB, Zardiackas LD, Menke RA. In vivo root canal length determination using the forameter. *J Endod* 1981;7:515–20.
10. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod* 2003;29:497–500.
11. Briseño-Marroquín B, Frajlích S, Goldberg F, Willershausen B. Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. *J Endod* 2008;34:698–702.
12. Hoer D, Attin T. The accuracy of electronic working length determination. *Int Endod J* 2004;37:125–31.
13. Ushiyama J. New principle and method for measuring the root canal length. *J Endod* 1983;9:97–104.
14. Saito T, Yamashita Y. Electronic determination of root canal length by newly developed measuring device – influence of the diameter of apical foramen, the size of K-file, and the root canal irrigant. *Dent Jap* 1990;27:65–72.
15. Frank AL, Torabinejad M. An in vivo evaluation of Endex electronic apex locator. *J Endod* 1993;19:177–9.
16. Weiger R, John C, Geigle H, Lost C. An in vitro comparison of two modern apex locators. *J Endod* 1999;25:765–8.

17. Martinez-Lozano MA, Forner-Navarro L, Sanchez-Cortés JL, Llena-Puy C. Methodological considerations in the determination of working length. *Int Endod J* 2001;34:371–6.
18. De Moor RJ, Hommez GM, Martens LC, De Boever JG. Accuracy of four electronic apex locators: an in vitro evaluation. *Endod Dent Traumatol* 1999;15:77–82.
19. Bernardes RA, Duarte MA, Vasconcelos BC, Morais IG, Bernardineli N, Garcia RB, et al. Evaluation of precision of length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, and RomiAPEX D-30. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2007;104:91–4.
20. Plotino G, Grande NM, Brigante L, Lesti B, Somma F. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, and ProPex. *Int Endod J* 2006;39:408–14.
21. D'Assunção FL, Santana De Albuquerque D, Ferreira LC. The ability of two apex locators to locate the apical foramen: an in vitro study. *J Endod* 2006;32:560–2.
22. Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG. An evaluation of Root ZX and Elements Diagnostic apex locators. *J Endod* 2005;31:507–9.
23. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. Ex vivo evaluation of the ability of four different electronic apex locators to determine the working length in teeth with various foramen diameters. *Austr Dent J* 2006;51:258–62.
24. Huang L. An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endod* 1987;13:60–4.
25. Herrera M, Abalos C, Jimenez Planas A, Llamas R. Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod* 2007;33:995–8.
26. D'Assunção FL, Albuquerque DS, Salazar-Silva JR, Queiroz Ferreira LC, Bezerra PM, Pessoa J, et al. The accuracy of root canal measurement using the Mini Apex locator and Root ZX II: an evaluation in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2007;104:50–3.
27. Versiani MA, Santana BP, Melo Caram B, Pascon EA, Alves De Souza CJ, Gabrielli Biffi JC. Ex vivo comparison of the accuracy of Root ZX II in detecting apical constriction using different meter's reading. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2009;108:41–5.
28. Angwaravong O, Panitvisai P. Accuracy of an electronic apex locator in primary teeth with root resorption. *Int Endod J* 2009;42:115–21.
29. Gordon MPJ, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J* 2004;37:425–37.
30. Jenkins J, Walker W, Schindler W, Flores C. An in vitro evaluation of the accuracy of the root ZX in the presence of various irrigants. *J Endod* 2001;27:209–11.
31. Meares W, Steiman H. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 2002;28:595–8.
32. Ounsi H, Naaman A. In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator. *Int Endod J* 1999;32:120–3.
33. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer MH. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J* 2006;39:595–609.
34. Baldi JV, Victorino FR, Bernades RA, De Morais IG, Bramante CM, Garcia RB, et al. Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locator. *J Endod* 2007;33:476–9.
35. Goldberg F, Briseño-Marroquín B, Frajlích S, Dreyer C. In vitro evaluation of the ability of three apex locators to determine the working length during retreatment. *J Endod* 2005;31:676–8.
36. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. In vitro evaluation of the accuracy of five different electronic apex locators for determining the working length of endodontically retreated teeth. *Austr Endod J* 2007;33:7–12.
37. Dunlap C, Remeikis N, Begole E, Rauschenberger C. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod* 1998;24:48–50.
38. Venturi M, Breschi L. A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J* 2007;40:362–73.
39. Elayouti A, Kimions I, Chu AI, Lost C. Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study. *Int Endod J* 2005;38:827–33.
40. Altenburger MJ, Cenik Y, Schirrmeister JF, Wrbas KT, Hellwig E. Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. *Int Endod J* 2009;42:368–74.
41. Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 1998;24:438–41.
42. Morita Corp J. Fully automatic root canal measuring device. *Root ZX operation instruction* 2004;4–7.
43. Leonardo MR, Silva LA, Nelson-Filho P, Silva RA, Raffaini MS. Ex vivo evaluation of the accuracy of two electronic apex locators during root canal length determination in primary teeth. *Int Endod J* 2008;41:317–21.
44. Siu C, Marshall GJ, Baumgartner JC. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG and the Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium. *J Endod* 2009;35:962–5.
45. Williams CB, Joyce AP, Roberts S. A comparison between in vivo radiographic working length determination and measurement after extraction. *J Endod* 2006;32:624–7.
46. Pineda F, Kuttle Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;3:101–10.
47. Martos J, Lubian C, Silveira LF, Suita de Castro LA, Ferrer Luque CM. Morphologic analysis of the root apex in human teeth. *J Endod* 2010;36:664–7.
48. Hassanien EE, Hashem A, Chalfin H. Isthomorphometric of the root apex of mandibular premolar teeth: an attempt to correlate working length measured with electronic and radiograph methods to various anatomic positions in the apical portion of the canal. *J Endod* 2008;34:408–12.