

Estudio comparativo sobre la eficacia de los localizadores de ápice Root ZX. iPex, y Raypex 5 bajo la acción de diferentes irrigantes en condiciones clínicas.

Susana Coromoto Gomes Azevedo

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



Universitat
Internacional
De Catalunya

**Estudio comparativo sobre la eficacia de los localizadores de ápice Root ZX, iPex y
Raypex 5 bajo la acción de diferentes irrigantes en condiciones clínicas**

Departamento de Restauradora Dental y Endodoncia. Facultad de Odontología

Programa de Doctorado: Doctorado en Odontología

Universitat Internacional de Catalunya

TESIS DOCTORAL

SUSANA COROMOTO GOMES AZEVEDO

DIRECTOR

Dr. Fernando Duran-Sindreu

CO-DIRECTOR

Dr. Miguel Roig

A mis hijas y a mi esposo por ser el motivo de todo mi existir.

A mis padres por darme todo lo que soy.

AGRIANDESHIMLITUS

A Raúl Euán, mi esposo, porque sin ti no hubiera podido salir adelante y culminar este proyecto en los tiempos difíciles que me tocó vivir.

A mi director, el Dr. Fernando Durán-Sindreu, por su dedicación, ayuda y comprensión durante estos años.

Al codirector de esta tesis, Dr. Miguel Roig.

A la Dra. Montse Mercadé por sus consejos y palabras alentadoras.

A mis padres, porque sin ellos nunca hubiera llegado hasta este momento.

Al mejor maestro de endodoncia e investigación que he tenido Dr. Rogelio Oliver.

Al Dr. Carlos Luna y la Universidad Autónoma de Tamaulipas por permitirme hacer parte de este proyecto en sus instalaciones.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, especialmente, Dr. Juan Arizpe y Carlos Macouzet por permitirme realizar mi investigación en los pacientes de la Clínica de Cirugía.

A toda mi familia y amigos que en estos años me han ayudado en este proyecto.

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN.....	11
2. INTRODUCCIÓN.....	17
2.1 Resumen.....	19
2.2 Importancia de la longitud de trabajo correcta.....	20
2.3 Métodos para determinar la longitud de Trabajo.....	22
2.4 Tipos de localizadores de ápice.....	32
2.5 Principios básicos para el uso de los localizadores de ápice.....	40
2.6 Influencia del tamaño de la lima en los localizadores de ápice.....	42
2.7 Influencia de los irrigantes en los localizadores de ápice.....	43
2.8 Root ZX.....	45
2.9 Raypex 5.....	47
2.10 iPex.....	49
3. HIPÓTESIS.....	51
4. OBJETIVOS	57
5. ARTÍCULOS.....	61
5.1 In vivo Evaluation of the Raypex 5 by Using Different Irrigants.....	63
5.2 In Vivo Evaluation of the IPex and Root ZX electronic apex locators using various irrigants.....	77
5.3 Estudio in vivo sobre la precisión de los localizadores de ápice iPex y Root ZX en la determinación de la longitud de trabajo.....	97
6. DISCUSIÓN.....	109
7. CONCLUSIONES.....	117
8. PERSPECTIVAS DE FUTURO.....	123
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127

JUSTIFICACIÓN

Es de común consenso que el éxito del tratamiento endodóntico depende de varios factores, una adecuada desinfección, conformación y obturación del sistema de conductos radiculares (1-3). Sin embargo, si estos tres procedimientos no se ciñen a una adecuada longitud de trabajo, el éxito del tratamiento estará, ciertamente, comprometido (2, 4).

La exactitud en la determinación de la longitud de trabajo es el primer paso para el éxito del tratamiento endodóntico. La correcta determinación de ésta reduce el riesgo de preparar ineficientemente la zona apical, así como de sobreinstrumentación del conducto radicular. De la misma manera, una adecuada conformación a la longitud apropiada, disminuye la probabilidad de zips, desvíos del conducto, escalones, entre otros (2, 4, 5).

La mayoría de los especialistas consideran la constricción apical (zona más estrecha del conducto radicular en la parte apical) como límite ideal para la preparación mecánica y obturación del conducto. El mejor pronóstico del tratamiento de conductos se basa en una adecuada instrumentación y obturación homogénea a nivel de ésta, mientras que el peor pronóstico está relacionado con la instrumentación y obturación más allá de la misma.

Por muchos años el método radiográfico ha sido el más utilizado para determinar la longitud de trabajo. Sin embargo, en una radiografía es imposible determinar la ubicación de la constricción apical. Además, las radiografías son sujeto de distorsión de la imagen y sensibles a técnicas de exposición, angulación e interpretación por parte del clínico (1, 2).

Custer, (3) en 1918, fue el pionero en intentar determinar la longitud del conducto a través de un método electrónico. Posteriormente, las postulaciones de

Suzuki, sobre las propiedades de resistencia eléctrica de los tejidos bucales, conllevaron al desarrollo del primer localizador de ápice (LA) (4). La primera generación de LA fueron los del tipo resistencia, la segunda generación del tipo impedancia en una frecuencia. La limitación de estos LA fue la imposibilidad de otorgar mediciones confiables en presencia de fluidos y de tejido pulpar (5). Esta desventaja se superó con el localizador de ápice introducido por Kobayashi y Suda en 1994 (6), denominado Root ZX (J. Morita Tokyo, Japón). Este LA funciona bajo el método de relación de impedancia en dos frecuencias: dos corrientes eléctricas, con diferentes longitudes de onda, tendrán impedancias que pueden ser medidas y comparadas como una proporción, independientemente del tipo de electrolito en el conducto. La capacitancia del conducto se incrementa significativamente en la constricción apical, y el coeficiente de impedancia se reduce rápidamente cuando se halla la constricción apical, o el CDC (5). Varios estudios *in vivo* han confirmado la eficacia de éste LA en determinar la longitud del conducto (5, 7-9).

Raypex 5 (VDW, Munich, Alemania), es un localizador de ápice de cuarta generación que utiliza el mismo principio electrónico que el Root ZX, con la diferencia que Root ZX utiliza dos frecuencias de manera simultánea, mientras que Raypex 5 lo hace de manera sucesiva (10). Según el fabricante, alega que el usar una frecuencia a la vez, en vez de las dos como el Root ZX, incrementa la eficacia de este LA (11).

Recientemente se introdujo en el mercado un nuevo LA del tipo multifrecuencia; iPex (NSK, Nakanishi, Japón), el funcionamiento de este aparato es similar a los del tipo Relación de Impedancia en dos frecuencias, con la diferencia que, además de usar más de dos frecuencias, mide el cambio repentino de la impedancia al acercarse al diámetro menor del conducto (5).

Hasta nuestro conocimiento, se han efectuado pocos estudios *in vivo* para evaluar la eficacia de este LA. Stöber y cols. (12) encontraron que este dispositivo posee una eficacia del 57.8% para un rango de tolerancia de 0.5 mm (de la longitud real del conducto) y del 100% en el caso de 1mm.

La importancia de la irrigación de los conductos durante el tratamiento endodóntico ha sido bien documentada (13). Consecuentemente, es relevante conocer el efecto de las soluciones irrigantes sobre la eficacia de los LA. Existe discrepancia entre los resultados obtenidos en estudio previos. Algunos investigadores han hallado que los irrigantes pueden afectar la eficacia de Root ZX y Propex (Dentsply Maillefer, Balaigues, Suiza) (14, 15). Sin embargo, otras investigaciones han encontrado que los LA, entre ellos el Root ZX, Bingo 1020 Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, Israel), Neosono Ultima EZ (Satelec Inc, New Jersey, EUA)(16) no se ven afectados por la presencia de irrigantes en el conducto tales como hipoclorito de sodio y solución salina.

Según la revisión bibliográfica efectuada, existe un limitado número de estudios *in vivo* que evalúen la eficacia de los LA en presencia de irrigantes. La mayoría de las investigaciones se han realizado en condiciones de laboratorio. Si bien es cierto que los modelos *in vitro* son válidos y pudieran ser una aproximación a la realidad clínica, sabemos que a la fecha, ninguno ha podido simular completamente las condiciones del ambiente bucal. Por lo tanto, las investigaciones *in vivo* parecen ser la mejor opción por ser más parecidas a la realidad clínica. Tampoco encontramos, en la revisión de la

literatura, que se haya reportado el efecto del EDTA al 17%, ni de la Clorhexidina al 2% en la eficacia de los localizadores de ápice.

El propósito de este estudio *in vivo* es evaluar influencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2.5%, EDTA al 17% y Clorhexidina al 2% sobre la eficacia de los localizadores de ápice iPex, Raypex 5 y Root ZX y determinar si existen diferencias entre las mediciones electrónicas otorgadas por éstos.

INTRODUCCIÓN

2.1 RESUMEN

Propósito: El propósito de este estudio *in vivo* es evaluar la precisión de los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5 en la determinación de la longitud del conducto bajo la acción de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.²

Materiales y Métodos: Se seleccionaron 34 dientes monoradiculares indicados para extracción. Se efectuaron las mediciones electrónicas (ME) con Root ZX, iPex y Raypex 5 tras la irrigación del conducto con cada uno de los irrigantes. Después de la extracción del diente, se determinó la longitud real (LR) del conducto a 0.5 mm del foramen mayor. Las mediciones electrónicas de cada diente se compararon con la LR mediante, analizándose las diferencias con el test estadístico de análisis de la varianza.

Resultados: La exactitud del localizador de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5, en determinar la LR, no se ve afectada por la presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y iPex en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y Raypex 5 en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Raypex 5 y iPex en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%.

La exactitud del localizador de ápice Root ZX, ipex y Raypex 5, en determinar la LR, no se ve afectada por la presencia de Clorhexidina al 2%. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y iPex en presencia de Clorhexidina al 2%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y Raypex 5. No existieron diferencias estadísticamente signifcativas entre las mediciones electrónicas de Raypex 5 y iPex.

La exactitud del localizador de ápice Root ZX y Rapypex 5, en determinar la LR, no se ve afectada por la presencia de EDTA al 17%. Sin embargo, la exactitud del localizador de ápice iPex sí se ve afectada por la presencia de EDTA al 17%.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y iPex en presencia de EDTA al 17%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y Raypex 5 en presencia de EDTA al 17%. Se observaron diferencias estadísticamente signifcativas entre las mediciones electrónicas de Raypex 5 y iPex en presencia de EDTA al 17%.

2.2 IMPORTANCIA DE LA LONGITUD DE TRABAJO CORRECTA

Es de consenso común que el éxito del tratamiento endodóntico depende, en mayor grado, tres factores en específico: desinfección, adecuada conformación y obturación del sistema de conductos radiculares (17, 18) . Sin embargo, aún cuando se realizaren estos tres procedimientos de manera inmaculada, si los mismos no se ciñen a una longitud de trabajo adecuada, el éxito del tratamiento, seguramente, estaría comprometido (19).

Podemos definir la longitud de trabajo, conductometría u odontometría, como aquella distancia desde un punto coronal del diente, hasta el punto donde terminará la preparación químico-mecánica y la obturación del conducto.(20)

Por lo anteriormente expuesto, la determinación de la longitud de trabajo, debe ser considerada como la base para el éxito del tratamiento endodóntico. El cálculo inexacto de la misma puede conducir a situaciones indeseables como: limpieza y conformación insuficiente o sobre extendida, formación de zip apical, transportación, perforaciones, escalones y obturación insatisfactoria. Cualquiera de los factores anteriormente nombrados, pueden ser causantes del fracaso del tratamiento endodóntico (17, 18, 21).

El límite apical para la instrumentación del conducto siempre ha sido objeto de controversia. Aún cuando se han publicado varios estudios al respecto, todavía no se ha llegado a un consenso. Probablemente, esto sea debido a la dificultad de amalgamar la teoría, basada en estudios histopatológicos, con la evidencia clínica (22).

Algunos investigadores sugieren como límite apical recomendado la conjunción cemento-dentinal, basados en el hecho de que el sellado adecuado del conducto en esta área hace imposible que las bacterias, y sus toxinas, invadan el tejido periapical (23). También soportan esta teoría, debido a que se ha comprobado la existencia de microorganismos, altamente patógenos, en esta área, comúnmente agrupados en forma de biopelículas, que sólo pueden ser destruidas mecánicamente (23). Empero, el CDC es un punto anatómico histológico que no puede ser identificado clínicamente (19, 21). Otros consideran la constricción apical, como punto ideal para la culminación de este procedimiento (19, 21). Ricucci y Langeland (21) realizaron un estudio histológico *in vivo* y encontraron que las condiciones histológicas favorables fueron cuando la instrumentación y la obturación se mantuvo corta a la constricción apical. Así como también, hallaron que la extrusión de gutapercha y sellador siempre causó una severa reacción inflamatoria, aún cuando, no existieran síntomas clínicos. Concluyeron en este estudio modelo, que el peor pronóstico del tratamiento endodóntico es cuando la instrumentación y la obturación se efectuaron más allá de la constricción apical. El segundo peor pronóstico, es cuando la obturación es efectuada 2 milímetros antes de la constricción apical(21).

Kojima y cols. (18) concluyeron, tras su revisión sistemática sobre éxito del tratamiento endodóntico basado en evidencia clínica, que el conducto debe ser instrumentado y obturado a 2 mm del ápice, y que sobreextensión y subpreparación empeoran del pronóstico del tratamiento endodóntico. En otro estudio similar, Basmadjian-Charles y cols. (23) ultimaron que el mayor porcentaje de fracaso de un tratamiento endodóntico ocurría en dientes sobreobturados.

2.3 MÉTODOS PARA DETERMINAR LA LONGITUD DE TRABAJO

La localización exacta de la constricción apical no es un problema de fácil solución. Los requisitos de un buen método de determinación de longitud de los conductos radiculares deben ser: precisión, rapidez y seguridad en los resultados (24).

De los métodos actuales comúnmente aceptados o utilizados para determinar la longitud de los conductos, podemos destacar: el método radiográfico y el método electrónico (localizadores de ápice).

Método Radiográfico

Antes del descubrimiento de los rayos X por Roentgen, y de las primeras radiografías dentales por Kelss en 1901, la endodoncia era una disciplina “ciega”, y por lo tanto, se obtenían resultados pocos satisfactorios. Por ende, la radiografía dental fue un recurso que contribuyó, enormemente, al progreso de esta ciencia. Desde aquel entonces, el método radiográfico ha sido, y aún es, el más utilizado por los profesionales dentales para la determinar la longitud de trabajo (24).

La conductometría consiste en tomar una radiografía del diente con una lima dentro del conducto, hasta que ésta se aproxime a foramen apical, y determinar, a partir de ella, la longitud de trabajo empleando una de las diversas técnicas existentes. Algunas de ellas exigen la memorización de fórmulas matemáticas, o emplean maniobras que resultan en medidas imprecisas. De este modo, en determinadas circunstancias es necesario tomar varias radiografías (24).

Considerando que el foramen apical, en la mayoría de los casos no coincide con el ápice radicular, la exactitud de la determinación de la longitud de trabajo ideal, con este procedimiento, está en entredicho, pues en realidad no localiza la constricción apical o el foramen menor, sino que se basa en un cálculo (según la técnica empleada) basado en aproximaciones. Innumerables estudios soportan que este método es impreciso (1, 24, 25).

Además, las radiografías son sujeto de distorsión de la imagen, debido a la colocación de la película y el movimiento del paciente y/o la película durante la toma radiográfica. Es también un método sensible a técnicas de exposición, angulación, e interpretación por parte del clínico. Igualmente, las radiografías proveen una representación bidimensional en sentido mesio-distal, de una estructura tridimensional, lo cual representa una distorsión de la realidad. Además, otra desventaja de este método es la difícil interpretación de las imágenes ante la superposición de estructuras anatómicas (25).

El método radiográfico ha sido modernizado en los últimos años con el advenimiento de la radioviosografía. Esta última posee grandes ventajas en cuanto a la reducción del tiempo y radiación. Pero no ha demostrado mayor eficacia para la determinación de la longitud de trabajo a niveles precisos, aún cuando, debido al gran tamaño en que puede verse la imagen, y a la posibilidad de efectuar mediciones digitales, muchos profesionales expresen lo contrario (26).

MÉTODO ELECTRÓNICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE APICAL DE TRABAJO

Historia

A inicios del siglo XX, debido a la limitación de los medios de diagnóstico de aquella época, los médicos, recomendaban que todos los dientes con problemas pulpares o endodonciados fueran extraídos, ya que creían que los mismos causaban innumerables patologías sistémicas. Preocupado por esta situación, Custer, en 1918, inicia una serie de cuestionamientos respecto a los dientes tratados endodónticamente, constatando que los conductos radiculares estaban siendo obturados deficientemente. Se percató también, que la causa de esos errores estaba centrada en la inexistencia de un método para calcular la longitud exacta del conducto. Por lo tanto, propuso el método eléctrico tomado por base la diferencia entre la conductividad eléctrica de un instrumento metálico en el interior del conducto (seco) y la óptima conductividad del tejido periapical. La corriente eléctrica inyectada en el conducto completa el circuito eléctrico, justo en el momento en que el electrodo, la lima, toca el fluido tisular o en el propio tejido periradicular, indicando de esta forma, la porción más apical del conducto radicular, o sea, la constricción apical (24).

Dos décadas después, Suzuki, descubrió que la resistencia eléctrica entre el instrumento colocado dentro del conducto, y el electrodo aplicado a la mucosa bucal registraba siempre un valor constante (5). Basándose en los hallazgos anteriormente citados, Sunada en 1962 (4), determinó que este valor específico de resistencia podría determinar la ubicación exacta del término del conducto. Diseñó entonces un aparato simple (ohmímetro) que usa la corriente eléctrica para medir la longitud del conducto.

El autor reportó que cuando la punta del instrumento endodóntico había llegado a la membrana periodontal, a través del foramen apical, el circuito eléctrico se cierra; la resistencia programada en el aparato, y la existente entre la mucosa oral y el ligamento periodontal, pasan a ser equivalentes, siempre igual a 6.5 k Ω , determinando así el punto de la constricción apical. En otras palabras, un polo del aparato debe ser colocado en contacto con la mucosa bucal, a través del gancho labial, y el otro polo conectado al instrumento endodóntico. Cuando la lima es introducida en el conducto radicular y alcanza el tejido periodontal apical, el circuito eléctrico se cierra. La resistencia programada en el aparato, y la existente en la mucosa oral y el ligamento periodontal, pasan a ser equivalentes en ese momento, indicando el localizador de ápice que se ha llegado al término apical (5, 24).

Huang en 1987, citado por Texeira (24), verificó que la medición electrónica intraconducto no dependía de la presencia del ligamento periodontal. Fue entonces cuando la conductometría electrónica, dejó de ser considerada un principio biológico, como afirmaba Sunada, ya que inclusive en los dientes que presentan rarefacción ósea periapical, es posible la medición eléctrica del conducto, siempre que el mismo presente un área de constricción apical. Esta zona, la constricción apical, funciona como una barrera física que dificulta el paso de una corriente eléctrica de pequeña intensidad. Por esa razón, la medida electrónica del conducto radicular es actualmente considerada como un principio físico (24).

Tomando como referencia lo anterior, ciertos autores consideran que el nombre “Localizadores de ápice” es incorrecto, ya que, ciertamente, éstos no ubican el ápice dental como tal, siendo más apropiado el nombre de “Localizador electrónico de la constricción apical” o “Aparato electrónico de medición de conducto” (27).

Nociones generales de la medida electrónica

Para comprender la manera cómo trabajan los localizadores de ápice, y el desarrollo de los siguientes temas, debe tenerse claras ciertas nociones de física y electricidad.

Átomos:

Para poder dilucidar las bases de la electricidad, debemos comprender primero los átomos y su estructura. Los átomos están compuestos, o formados, por *electrones*, *protones* y *neutrones*. De acuerdo al modelo clásico de Bohr, los átomos poseen una estructura planetaria, en la que el núcleo está rodeado por electrones que orbitan alrededor de él. El núcleo posee partículas cargadas positivamente llamadas *protones*, y partículas sin carga llamadas *neutrones*. Alrededor del núcleo, orbitan partículas de carga negativa llamadas *electrones* (e^-). Éstos, orbitan el átomo a cierta distancia del núcleo, cuanto más cerca se encuentre el e^- de este último, existe mayor fuerza de atracción, mientras más alejado esté el electrón del núcleo, más fácil puede desprenderse de la estructura atómica (27).

Iones y Electrolitos:

Cuando el número de electrones cambia en un átomo, la carga eléctrica también cambiará. Si un átomo gana electrones, éste adquiere partículas negativas convirtiéndose en un átomo cargado negativamente. Si un átomo pierde e^- , quedará

cargado positivamente. La magnitud de la carga eléctrica corresponderá al número de electrones ganados o perdidos. Los átomos que poseen carga eléctrica, se llaman *iones* (independientemente de que sean positivos o negativos). Un *Cación* es un ion que perdió electrones y adquirió carga positiva. Un *Anión* es un ion que ganó electrones y adquirió por consecuencia, una carga negativa (27).

Los electrones no sólo viajan a través de un cable o una línea en un circuito eléctrico, sino que también pueden ser conducidos a través del agua, si ésta contiene iones en la solución (27).

Las soluciones iónicas que conducen electricidad, en una manera similar a la de un cable, son llamadas *Electrolitos*. La conducción de electrolitos es el resultado del movimiento de los iones a través de la solución hasta los electrodos. Cuando dos electrodos en una solución son parte de un circuito eléctrico completo, los cationes (+) son atraídos por el polo negativo (cátodo), y los aniones (-) son atraídos por el polo positivo (ánodo) (24).

La conductividad de cualquier ión se verá afectada por la facilidad con la cual ese ión pueda moverse a través del agua. Esta facilidad, depende de factores como la carga total del mismo, y su tamaño. Iones grandes ofrecen mayor resistencia de movimiento a través de electrolitos, que los iones pequeños. A mayor cantidad de iones en una solución, mayor será la conductividad eléctrica de la misma (24).

Carga eléctrica, voltaje y corriente:

La carga eléctrica (Q) puede ser tanto positiva, como negativa. Cuando existe exceso de electrones en la materia, ésta se encuentra cargada negativamente, y por el contrario, cuando existe una deficiencia de electrones en la material,

ésta se encuentra cargada positivamente. La materia que posee cargas opuestas se atrae; y la materia que posee cargas iguales se repele. Para que lo anteriormente descrito suceda, existe una cierta cantidad de energía que hace que la materia se mueva, bien sea para atraerse o repelerse. La diferencia entre este potencial de energía es lo que se conoce como *Voltaje (V)*. Éste es el conductor de la fuerza eléctrica en un circuito, provee la energía necesaria para que los electrones o iones se muevan a través de un circuito (27).

Corriente continua:

Es el tipo de corriente eléctrica que se dirige, o se propaga, siempre en un mismo sentido, de un polo negativo, o positivo, hasta encontrar su polo opuesto. Puede hacerse una analogía con el agua de un pequeño reservorio descendiendo de una cierta altura por un caño, o sea, siempre en el mismo sentido. Las pilas son un ejemplo de corriente continua (27).

La intensidad de la corriente continua, representada por I depende de la fuerza que la impulsa, y de la dificultad encontrada en el camino y su unidad de medida es el *Amper*. Esta fuerza referida es la conocida como *tensión eléctrica* o *voltaje*. Las dificultades encontradas en el paso de esta corriente eléctrica son conocidas como “Resistencia eléctrica”, y los caminos por la corriente recorridos “circuito eléctrico”. La relación entre todas éstas es definida por una fórmula matemática denominada Ley de Ohm (5).

Los primeros localizadores electrónicos apicales fueron diseñados para funcionar con corriente eléctrica continua. Este tipo de corriente tiene la facilidad de fluir en medios electrolíticos. Debido a ello, no debe existir sustancias conductoras de electricidad, por esto los primeros localizadores de ápice debían ser utilizados una vez haya sido eliminada la pulpa del conducto y en ausencia de irrigantes (5).

Corriente alterna:

La corriente alterna es una corriente eléctrica que cambia de dirección varias veces por segundo, de forma periódica. A ese período, en una unidad de tiempo, se le denomina *frecuencia de corriente alterna*, que se expresa en ciclos por segundos denominados Hertz o Hertzios (Hz). También en la corriente alterna se necesita una fuerza o *voltaje* para impulsarla. Un ejemplo de este tipo de corriente es la residencial, que generalmente es distribuida con una fuerza de 110 o 220 voltios y una fuerza de oscilación de 60 Hz. (5)

Una de las propiedades de la corriente eléctrica alterna es la posibilidad de circular por caminos (circuitos), donde la corriente continua no se propagaría. La unidad física que expresa la dificultad impuesta a la circulación de corriente eléctrica alternada se denomina *impedancia*, cuya magnitud depende de la frecuencia, de la capacitancia, y de la resistencia (27).

Los localizadores de ápice que funcionan con este tipo de corriente eléctrica, emplean una baja cantidad de la misma, aproximadamente $2\mu\text{a}$ (microamperios) para eliminar molestias e incomodidades al paciente. Es por ello, que para el adecuado

funcionamiento de los localizadores electrónicos de ápice del tipo frecuencia dependientes, se necesita la presencia de sustancias electrolíticas en el interior del conducto radicular (5).

Resistencia eléctrica:

En toda corriente eléctrica existen electrones libres que ocasionalmente colisionan con los átomos. Estas colisiones, causan que el electrón pierda parte de su energía, por lo cual su movimiento se ve restringido. Al haber más colisiones, mayor disminución en el movimiento de los electrones. El tipo de restricción varía dependiendo del tipo de material. A la propiedad de esta restricción se denomina *Resistencia (R)* (27).

La resistencia en soluciones electrolíticas depende de la concentración de los iones existentes, así como de la naturaleza de los iones presentes, en particular, de su carga y su movilidad. Por ende, la resistencia es una variable que depende de la concentración de iones. Este fenómeno eléctrico se llama *Resistividad (ρ)* (27).

Un *resistor* es un elemento que causa oposición al paso de la corriente, causando que en sus terminales aparezca una diferencia de tensión (un voltaje). En pocas palabras, las dificultades encontradas en el paso de una corriente eléctrica continua son conocidas como resistencia eléctrica, y el objeto o entidad que lo causa se conoce como resistor (27)

Impedancia:

En un circuito, la oposición a la corriente alterna se denomina *Impedancia (Z)*. Podría decirse entonces, que la Impedancia representa para la corriente alterna, lo que la resistencia representa para la corriente continua (27).

Capacitor:

Es una estructura compuesta por dos materiales conductivos, con una aislante entre ellos. El material conductivo suele ser platos de metal. Cuando un capacitor se conecta a una fuente de corriente, los electrones se mueven de un plato (material conductivo) a otro, haciendo que uno de los platos cargue negativamente y otro positivamente. Cuando la fuente de voltaje es desconectada, el capacitor continúa reteniendo carga. La cantidad de voltaje que un capacitor puede almacenar determinará su capacitancia (5).

Capacitancia:

Se define como la razón entre la magnitud de la carga de cualquiera de los conductores y la magnitud de la diferencia de potencial entre ellos. La capacitancia siempre es una cantidad positiva y puesto que la diferencia de potencial aumenta a medida que la carga almacenada se incrementa, la proporción Q / V es constante para un capacitor dado. En consecuencia la capacitancia de un dispositivo es una medida de su capacidad para almacenar carga y energía potencial eléctrica (5).

Características eléctricas de un diente:

Como ya es sabido, los conductos radiculares se encuentran rodeados por dentina y cemento. Éstos, actúan como aislantes de la corriente eléctrica. Sin embargo, existe una ruptura o punto de quiebra de este aislamiento justo en el foramen menor, ya que a través de éste penetra el ligamento periodontal y se conecta al complejo

pulpar, siendo ésta una vía de conducción eléctrica. En este circuito, la pulpa, actúa como un “resistor” otorgando resistencia a la corriente eléctrica (27).

Cuando una lima endodóntica penetra dentro del conducto radicular, y se aproxima al término del conducto, la resistencia entre la punta del instrumento y la porción apical del canal decrece, pues a medida que la lima avanza, la distancia entre la punta de ésta y la constricción apical va disminuyendo (27).

Así como la estructura dental actúa como resistor, también posee características de capacitor. Considerando a la lima como un lado (o un plato) del capacitor, y al ligamento periodontal como el otro lado (o plato), el tejido pulpar, la dentina y el cemento de la pared del conducto, pueden ser considerados aislantes de los dos platos conductores, pudiendo, de esta forma, calcularse una constante dieléctrica a partir de la cual efectuar las mediciones eléctricas. No obstante, las características eléctricas de un diente son mucho más complicadas y profundas de lo detallado anteriormente (5, 27).

2.4 TIPOS DE LOCALIZADORES DE ÁPICE

Los localizadores electrónicos del foramen menor, pueden encontrarse clasificados por su tipo de funcionamiento, o más comúnmente, por su generación.

Primeramente, detallaremos la clasificación de estos equipos según su funcionamiento, ya que de esta forma puede entenderse mejor su clasificación de acuerdo a la generación.

Tipos de localizadores de ápice según su funcionamiento

Tipo: Resistencia

Como ya se había explicado, la resistencia eléctrica es una propiedad física que representa la dificultad encontrada por una corriente eléctrica para vencer, o fluir, a través de un medio conductor.

Los aparatos de este tipo se basan en el principio establecido por Sunada, en que la resistencia eléctrica entre la mucosa oral y el ligamento periodontal presentan un valor constante. Esencialmente es un concepto de simple aplicación. Sin embargo, su eficacia es pobre debido a que requiere que no exista humedad en el interior del conducto. Esta exigencia es poco probable de cumplir, ya que habría que eliminar completamente el tejido pulpar del conducto, y no se podría utilizar en casos de exudación pulpar (27).

La forma como trabajan estos localizadores de ápice, puede describirse de manera sencilla. Una pequeña cantidad de corriente continua es aplicada al circuito. Dividiendo el valor del voltaje aplicado, y el valor de la corriente, se calcula el valor de la resistencia, misma que al acercarse al valor de constante $6.5 \text{ k}\Omega$, nos indica que la lima se está aproximando punto de la constricción apical (27).

Varios equipos electrónicos de localización de foramen apical trabajan bajo éste principio. La diferencia entre ellos es, básicamente, el diseño del circuito eléctrico y la manera de la visualización. Dentro de este grupo de equipos podemos encontrar: Exact-a-pex[®] (Ellman Dent., USA), Endodontic Meter[®] (Parkell INC. New York, NY, USA), Endometer S[®] (Heck Ind. De productos odontológicos Ltda., Brasil) (5).

Otra de las desventajas que presentan estos localizadores, es que el flujo de corriente eléctrica que debe ser impulsado para la medición, puede ser sentido por los pacientes (5).

Tipo: Baja frecuencia

La frecuencia es el número de oscilaciones por segundo en que una corriente alterna circula en un circuito.

El principio de la medida del conducto en estos aparatos, está basado en la presunción de que la frecuencia de baja oscilación, como producto de la resistencia y capacitancia entre la membrana de mucosa oral y el surco gingival, es la misma frecuencia que existe entre el ligamento periodontal (en el término de conducto) y la mucosa oral. En otras palabras, se puede decir que la impedancia entre la mucosa oral y el surco gingival se asemeja mucho a la impedancia entre el término del conducto y la mucosa bucal. The SonoExplorer[®] (Hayashi Dental Supply, Tokyo, Japon) mide estos dos valores de impedancia, e identifica el término del conducto cuando ambas lecturas (de impedancia) se aproximan una a la otra (27).

La desventaja más importante de este tipo de localizado de ápices es que necesita ser calibrado, antes de su uso, para cada diente. La técnica consiste en insertar una lima con funda de silicona en el surco gingival del diente en cuestión, este procedimiento emitirá un sonido específico denominado “Sonido del surco gingival”. Después, se introduce una lima endodóntica tradicional dentro del conducto, y cuando el sonido producido por esta lima sea “igual” al “sonido del surco

gingival”, es indicativo que la punta de la lima se encuentra en la constricción apical (27).

Tipo: Alta frecuencia

El Endocater® (Hygienic Corp., Akron, OH, USA) fue desarrollado en 1979, su diseño era similar al localizador apical de baja frecuencia, pero con la diferencia de emplear un circuito de alta frecuencia para efectuar la medición. Para permitir la presencia de humedad dentro del conducto, se debía colocar un aislante, o funda en la lima, lo que dificultaba su acceso a la constricción apical (27).

Los anteriores tipos de localizadores de ápice son considerados en la actualidad obsoletos. La inexactitud de las mediciones, así como la complejidad de su manejo, han dado paso al desarrollo de nuevos equipos más certeros y sencillos de utilizar (5).

Tipo: Diferencia de Impedancia en dos frecuencias

Yamaoka, citado por Nekoofar y cols. (27), desarrolló un localizador que emplea dos frecuencias para la localización de la constricción apical. Esta clase de equipo mide la impedancia de las dos frecuencias diferentes, y calcula la diferencia entre esos dos valores. Este tipo de aparato puede efectuar mediciones en presencia de electrolitos, pero necesita ser calibrado primero en cada conducto.

Tipo: Relación de Impedancia en dos frecuencias

Este tipo de localizadores también utiliza dos frecuencias, una alta y una baja. La impedancia de cada frecuencia es medida para luego establecer la relación entre ambas (27).

Kobayashi & Suda (6), comprobaron que la relación (ratio en inglés) tiene un valor específico determinado por las frecuencias usadas, y que esa “relación de impedancias” indica la localización de la lima dentro del conducto. El coeficiente de estas dos impedancias es cercano a uno, cuando la punta de la lima está cercana a la constricción apical. En palabras más sencillas, el método de la relación (ratio) trabaja bajo el principio que dos corrientes eléctricas, con diferente onda sinusoidal, tendrá impedancias medibles que podrán ser relacionadas. La capacitancia aumenta al aproximarse a la constricción apical, mientras que el coeficiente de impedancia se reduce rápidamente a medida que el instrumento se acerca al foramen menor (5). En la práctica se puede decir, que cuando la punta de la lima está lejos del diámetro menor, la impedancia del conducto es insignificante, pero cuando la lima se aproxima a la constricción apical, la magnitud de la impedancia del conducto se incrementa inmediatamente. Cuando la punta de la lima toca algún fluido (como el del ligamento periodontal) el valor de impedancia rápidamente decrece, y el equipo electrónico indica que el instrumento está más allá del foramen.

La lectura que puede brindar este tipo de equipos, es bastante confiable ante la presencia de electrolitos (5, 27).

El primer equipo comercial desarrollado bajo este concepto fue el Root ZX (J. Morita Co., Kyoto, Japón). El Root Zx usa dos frecuencias diferentes (8kHz y 0.4kHz) para efectuar la medida simultánea de la impedancia del conducto. El equipo determina el coeficiente obtenido tras dividir los valores de Impedancia que se obtienen al inyectar 8kHz y 0.4kHz. El diámetro menor, es localizado cuando este

coeficiente es igual a 0.67 kHz (32). Dentro de este grupo también se encuentra el Raypex5® (VDW Múnich, Alemania).

Tipo: Multifrecuencia

El funcionamiento de este aparato es similar a los del tipo Relación de Impedancia en dos frecuencias, con la diferencia que, aparte de usar más de dos frecuencias, lo que mide es el cambio repentino de la impedancia al acercarse al diámetro menor del conducto (5).

El Endo Analyzer 8005® (Analytic Endodontic, Sybron Dental, Orange, CA, USA)® y el AFA Apex Finder 7005® (Analytic Endodontic, USA) son ejemplo de estos localizadores de ápice (5).

Tipo: Capacitancia y Resistencia

En el 2003, salió al mercado el Elements Diagnostic Unit® (SybronEndo, Anaheim, CA, USA). Este localizador electrónico, no procesa la información de la impedancia para obtener la medición del conducto radicular, en vez de ello, toma las medidas de *resistencia y la capacitancia* y las compara con una base de datos para determinar la distancia existente entre la punta de la lima y la constricción apical (27).

Tipos de localizadores de ápice según su generación

Primera Generación

Fueron los localizadores de ápice del tipo Resistencia. Debido a la condición ya explicada de su funcionamiento, estos localizadores poseyeron poca eficacia, otorgando lecturas muy cortas o pasadas más allá del foramen apical. Además, del dolor causado debido a la corriente de alto voltaje que debía usarse (5).

Dentro de este grupo de equipos podemos encontrar: Exact-a-pex® (Ellman Dent., USA), Endodontic Meter® (Parkell INC. New York, NY, USA), Endometer S® (Heck Ind. De productos odontológicos Ltda., Brasil) (5, 27).

Segunda Generación

Los localizadores de segunda generación, desarrollados mayormente en la década de los 70 y 80, fueron los pioneros en basar las mediciones electrónicas en la impedancia, y no en la resistencia (5).

Como ejemplos de éstos se pueden nombrar: Sono-Explorer® (Hayashi Dental Supply, Tokio, Japón), Sono-Explorer MK III® (Hayashi Dental Supply, Tokio, Japón), Endocater® (Yamaura Seisokushu, Tokio, Japón), Endo Analyzer® (Analytic/Endo, Orange, CA, USA), The Digipex I, II y III® (Ellman International, Hewlett, NY, USA) (5).

La mayoría de estos localizadores de ápice presentaban un problema en común: la deficiente lectura en presencia de medios electrolíticos. Además, requerían calibración antes del uso, trayendo mayor dificultad y exigiendo mayor habilidad por parte del profesional. La eficacia de esta generación osciló entre un 44-92% de exactitud (27).

Tercera Generación

La tercera generación de los localizadores apicales es similar a la anterior, excepto en que los equipos de esta era generacional utilizan dos o más frecuencias para calcular la distancia hasta el término del conducto. A esta era pertenecen los localizadores de los tipos: diferencia de Impedancia en dos frecuencias, relación de Impedancia en dos frecuencias y multifrecuencia (5).

Operan sobre el principio de la diferencia máxima de impedancia entre los electrodos, dependiendo de la frecuencia usada generalmente operan comparando señales de frecuencias distintas. Las unidades utilizan un gancho labial como uno de los polos, y el otro polo corresponde a la lima introducida en el conducto radicular; la diferencia de impedancia entre las frecuencias es siempre una constante (5).

Al avanzar la lima dentro del conducto, la diferencia en los valores de impedancia va aumentando gradualmente, presentando un valor máximo al llegar a la constricción apical. La corriente eléctrica en estos circuitos es muy baja, $2\mu\text{A}$, lo que es de suma importancia para la seguridad del paciente. Estos parámetros anteriormente nombrados, permiten a estas unidades operar en ambientes con sustancias electro conductoras, tejido pulpar, sangre, pus, hipoclorito de sodio, y con la posibilidad de emplear cualquier instrumento endodóntico (5).

A esta generación de localizadores de ápice pertenecen: Endosonic® (Videotek Sistemas Electrónicos Lta., Brasil), The Endex/Apit® (Osada Electric CO, Tokyo, Japón), The Apex Finder® (Analytic Endodontic, CA, USA), The Neosono Ultima EZ® (Satelec Inc. NJ, USA), Just II® (Yoshida Co, Tokyo, Japón), entre otros. El más importante o conocido de esta generación es el Root ZX (J. Morita, Tokyo, Japón) (5).

Cuarta Generación

A esta generación pertenecen el Bingo 1020/ Raypex 4® (Forum Engineering Technologies, Rishon Israel) que emplea dos frecuencias separadas (0.4 y 8 Hz), similar a los de la tercera generación, pero con la diferencia que utilizan una frecuencia a la vez, y no ambas al mismo tiempo, condición que, según el fabricante, aumenta la agudeza de sus mediciones (5).

También pertenece a esta generación el Elements Diagnostic Unit® (SybronEndo, Anaheim, CA, USA). Este localizador electrónico, no procesa la información de la impedancia para obtener la medición del conducto radicular, en vez de ello, toma las medidas de *resistencia y la capacitancia* las compara con una base de datos para determinar la distancia existente entre la punta de la lima y la constricción apical. Utiliza una forma de onda compuesta de dos señales, 0.5 y 4 kHz (27).

2.5 PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL USO DE LOS LOCALIZADORES DE ÁPICE

Se requieren algunos cuidados fundamentales para el buen desempeño de los localizadores de ápice.

El flujo uniforme de la corriente eléctrica depende de un buen contacto entre todas las conexiones del circuito. Por lo tanto, debe verificarse que exista una buena conexión del conector que conecta el aparato. También, debe corroborarse que el gancho labial y la presilla de la lima deben estar adecuadamente acoplados en sus posiciones. Asimismo, es importante constatar la presencia de posibles capas de óxido

en la presilla que sujeta la lima, situación que frecuentemente ocurre debido al contacto de sustancias químicas irrigantes (24).

Un circuito eléctrico se completa cuando las cargas eléctricas negativas alcanzan el polo positivo. Para que esto suceda, el flujo de carga eléctrica recorre el trayecto más corto posible. Por lo tanto, debe evitarse el contacto de la lima con la saliva y el tejido bucal, por ser ellos óptimos conductores de electricidad. Por ello, debe efectuarse un correcto aislamiento absoluto a la hora de utilizar un localizador electrónico de ápice. Las restauraciones metálicas deben ser eliminadas en su totalidad. Las restauraciones de resina, acrílico, ionómero de vidrio, óxido de zinc-eugenol, en fin, todas aquellas que no sean metálicas presentan propiedades aislantes y no interfieren con el funcionamiento del equipo (24).

El desgaste del tercio medio y coronal del conducto crea un acceso recto que facilita el abordaje de la lima al tercio apical, proveyendo una lectura más certera (36, 40, 41).

En el caso de retratamientos, es importante la remoción de toda la gutapercha el interior del conducto, por ser ésta una sustancia aislante; su permanencia impedirá el flujo de la corriente eléctrica hacia los tejidos periapicales (24).

Contraindicaciones generales para el uso de localizadores de ápice

Está restringido su uso en pacientes con marcapasos cardíacos. En este particular hay que considerar que los localizadores de ápice que trabajan con bajas corrientes ($\leq 2\mu\text{A}$) pueden ser empleados prácticamente sin riesgo. Además, como se relató anteriormente en este capítulo, el circuito eléctrico se cierra o se completa con

la corriente recorriendo un trayecto bastante corto. El marcapasos implantado en el paciente, se encuentra en una posición distante de los dos polos del localizador apical. Otra considerable apreciación se refiere a la evolución de los marcapasos, los cuales actualmente son más inmunes a las interferencias externas. No obstante, es recomendable la interconsulta con el médico cardiólogo del paciente (24).

2.6 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA LIMA EN LOS LOCALIZADORES DE ÁPICE

Los localizadores de ápice, frecuentemente, son usados con limas de bajo calibre, por ejemplo limas número 10, 15 ó 20, para determinar la longitud del conducto. Sin embargo, el efecto del tamaño de la lima en relación al diámetro del conducto aún no está bien claro.

En una investigación realizada por Briseño-Marroquín y cols. (28) Raypex 5 demostró ser eficiente en la localización de la constricción apical con diferentes tamaños de lima, específicamente limas número 8, 10 y 15. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes limas. Ebrahim y cols. (16) tras sus hallazgos concluyeron que el tamaño de la lima debe ser acorde al diámetro de la constricción apical para que no exista alteración en las lecturas electrónicas.

También Ebrahim y cols. (29) realizaron un estudio en donde instrumentaron 4 grupos de dientes hasta diámetros de 40-60-80, destruyendo de esta forma la constricción apical, pero manteniendo la forma cónica. Tomaron mediciones eléctricas, para cada grupo, con limas desde la 10 hasta la 40, 60 y 80 (según fuera el caso de la lima maestra apical); ante la presencia de 0.5% de hipoclorito de sodio, 2.5% de hipoclorito de sodio, 15% EDTA, 0.8% de clorhexidina y RC Prep. De los resultados

obtenidos se infiere, que el diámetro de la lima tiene una repercusión en la medición eléctrica del conducto dependiendo del irrigante utilizado.

Sadeghi & Albolghasemi (30), evaluaron la eficacia del Raypex 5 en determinar el foramen menor con limas k número 15, 20 y 25. En este estudio se observó, que la lima n. 15 fue la más apta para efectuar las mediciones.

2.7 INFLUENCIA DE LOS IRRIGANTES EN LOS LOCALIZADORES DE ÁPICE

La importancia de la irrigación de los conductos durante el tratamiento endodóntico, con soluciones tales como hipoclorito de sodio, Clorhexidina al 2% y EDTA ha sido bien documentada (13). Consecuentemente es importante conocer el efecto de estas soluciones sobre la eficacia de los localizadores de ápice. Los antiguos localizadores de ápice (1era. Y 2da. Generación) se veían afectados desfavorablemente en presencia de electrolitos. Sin embargo, las recientes generaciones de localizadores apicales (a partir de la 3era. Generación) han sido diseñadas para superar este obstáculo. Los fabricantes aseguran que su funcionamiento no se ve afectado ante la presencia soluciones electrolizadas.

El efecto de los irrigantes en la eficacia de los localizadores de ápice ha sido evaluado en varias investigaciones, sin embargo, los resultados son controversiales.

Jenkins y cols. (31) desarrollaron un estudio *in vivo* en el que valoraron el efecto del hipoclorito de sodio al 5,25%, lidocaína con epinefrina 1:100.000, RC Prep, EDTA, peróxido de hidrógeno al 3% y Clorhexidina al 0.12%, encontraron que

indistintamente del irrigante utilizado, Root ZX demostró es eficaz en determinar la longitud del conducto. Resultados similares hallaron Meares y cols. (32) cuando evaluaron el efecto del hipoclorito de sodio también sobre el Root ZX.

Mull y cols. (33) evaluaron el efecto del hipoclorito de sodio al 1%, solución salina, EDTA al 17% y Clorhexidina al 2%, sobre Root ZX y SybronEndo Mini apex locator (Sybron Dental, EUA) en un estudio *in vitro*. En los resultados de este estudio no se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX en presencia de solución salina e hipoclorito de sodio y la longitud real. Sin embargo, sí se encontraron diferencias cuando el Root ZX actuó en presencia de Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%. Mientras que el Mini apex locator si vio alterada su eficacia en presencia de solución salina, hipoclorito de sodio al 1% y EDTA al 17%, lo que no en presencia de Clorhexidina al 2%. Kang y cols. (34) reportaron en su estudio *in vitro* que el Apit (Osada Electronic Co., EUA) y SmarPex (Meta Biomen Co., Korea) demostraron una gran tendencia a mediciones cortas en presencia de EDTA al 15%, así como Root ZX, ProPex (Dentsply-Maillefer, EUA) , Apex Finder 7005 (EIE Analytic Technology, EUA) y Bingo 1020 (Forum Engineering Technologies, Israel) en presencia de hipoclorito de sodio al 5.25%. Estos resultados concuerdan con los hallados por Kaufman y cols. (35) con respecto a los localizadores Root ZX y Bingo 1020 en presencia de EDTA, hipoclorito de sodio y Clorhexidina; sin embargo, encontraron que el solvente Xylol sí afecta negativamente la eficacia de los localizadores anteriormente citados. Los hallazgos anteriormente detallados coinciden con los reportamos por Erdermir y cols. (36) quienes reportaron que la Clorhexidina, el

hipoclorito de sodio, agua oxigenada no tenían efecto negativo sobre la eficiencia de Tri Auto ZX (J. Morita Corp. Japón); empero, la eficacia se vio mermada por la presencia de solución salina en el conducto. Sadeghi y cols. (30) realizaron un estudio en el que evaluaron el comportamiento del Raypex 5 ante varios irrigantes (0.2% clorhexidina, 5.25% hipoclorito). Concluyeron que este localizador de ápice no presentó variación estadísticamente significativa entre la medida inicial y la de medida de trabajo, bajo la acción de los irrigantes.

Por otra parte, Özsezer y cols. (14) observaron que el tipo de irrigante sí influye en las mediciones electrónicas de los localizadores apicales y que evidenciaron Propex (Dentsply_Maillefer, USA) era más efectivo en presencia de Clorhexidina que en presencia de hipoclorito de sodio.

2.8 ROOT ZX

Kobayashi y Suda en 1994 introdujeron el Root ZX (J. Morita Tokyo, Japón). Este localizador de ápice funciona bajo el método de proporción: dos corrientes eléctricas con diferentes longitudes de onda, tendrán impedancias que pueden ser medidas y comparadas como una proporción, independientemente del tipo de electrolito en el conducto. La capacitancia del conducto se incrementa significativamente en la constricción apical, y el coeficiente de impedancia se reduce rápidamente cuando se halla la constricción apical, o el CDC (5).

El Root ZX usa dos frecuencias diferentes (8kHz y 0.4kHz) para efectuar la medida simultánea de la impedancia del conducto. El equipo determina el coeficiente obtenido tras dividir los valores de Impedancia que se obtienen al inyectar 8kHz y

0.4kHz. El diámetro menor, es localizado cuando este coeficiente es igual a 0.67 kHz (5, 27).

Este localizador de ápice ha sido constantemente estudiado, desde 1994, hasta la fecha bajo condiciones clínicas o de laboratorio. Es el localizador electrónico más utilizado en la práctica clínica. Su popularidad está respaldada por la eficacia comprobada en la mayoría de los estudios desde la década de los noventa. La eficacia del Root ZX reportada por las investigaciones, oscila entre un 65 a 100%, dependiendo del límite de tolerancia que cada estudio asigna (15, 37-41). La exactitud de este localizador no varía de manera importante en presencia de diferentes irrigantes o limas de diferente calibre, y en muchas ocasiones, ha demostrado ser superior a otros localizadores electrónicos (28, 30, 36, 42).

Ebrahim y cols. (43) reportaron que la agudeza del Root ZX decaía en presencia de sangre y de conductos con diámetro amplio. Herrera y cols. (44) realizaron un estudio para determinar la influencia del diámetro de la constricción apical sobre la eficacia del Root ZX. En dientes extraídos, efectuaron un ensanchamiento de la constricción apical progresivo y tomaron mediciones con diferentes limas para cada caso. En el 98% de las mediciones realizadas, el Root ZX fue capaz de detectar el punto donde la lima entra en la constricción apical, aún en la ausencia de esta área, este localizador fue capaz de establecer el punto más cercano a la misma. Probablemente, la discrepancia de estos resultados se deba a las diferentes metodologías empleadas.

Varios autores han evidenciado la eficacia del Root ZX en dientes primarios con o sin resorción apical (37, 39). Otros, han comprobado la exactitud de hasta un 90% en localizar el término apical de dientes con apicectomía (39).

El Root ZX has sido también combinado con una pieza de mano, para efectuar mediciones en el conducto mientras se usan limas rotatorias. Es conocido como TriAuto ZX y más recientemente como Dentaport ZX (29, 36).

2.9 RAYPEX 5

Raypex 5 (VDW, Munich, Alemania), es un localizador de ápice de cuarta generación que utiliza el mismo principio electrónico que el Root ZX, con la diferencia que Root ZX pasa dos frecuencias de manera simultánea, mientras que Raypex 5 lo hace de manera sucesiva (10). Según el fabricante, el usar una frecuencia a la vez incrementa la eficacia de este LA (11).

En un estudio *in vivo* realizado por Wrbas y cols. (45) el foramen menor fue localizado (con límites de $\pm 0.5\text{mm}$) en un 80% de los casos. Estos hallazgos han sido compartidos por otros investigadores, quienes reportaron la eficacia del Raypex 5 entre 80 a 96.8% (21, 37).

Sadeghi y cols. (39) realizaron un estudio en el que evaluaron el comportamiento del Raypex 5 ante varios irrigantes (0.2% clorhexidina, 5.25% hipoclorito). Concluyeron que este localizador de ápice no presentó variación estadísticamente significativa entre la medida inicial y la de medida de trabajo, bajo la acción de los irrigantes.

ElAyouti y cols. (46) evaluaron la consistencia localizadores de ápice: Root ZX y Raypex 5. En su investigación, los autores llegaron a varias conclusiones: la mayor presencia de disfunción de los localizadores de ápice se presentó en dientes con obliteraciones o residuos de obturaciones en los conductos; acotan que, muy probablemente, la disfunción en los localizadores de ápice ocurra debido a la interrupción del circuito eléctrico por algún obstáculo dentro del conducto. Estadísticamente la consistencia del Root ZX fue superior que la del Raypex 5.

Altenburguer y cols. (47) publicaron en el año 2009, el primer estudio sobre el uso de un motor rotatorio con un localizador de ápice separado, Raypex 5, para localizar la constricción apical durante la instrumentación comparando a éste, con el TriAuto ZX. La investigación demostró que el Raypex 5 logró localizar el diámetro menor en la misma medida que el Tri Auto ZX.

Briseño-Marroquin y cols. (28) valoraron la eficacia de este localizador en ubicar el foramen menor con limas #08, #10 y #15 y reportaron una eficacia de 80%, 82% y 85.5% respectivamente. Stoll y cols. (48) reportaron que este localizador apical posee una eficacia de 87.2% al aplicar un rango de tolerancia de $\pm 0.5\text{mm}$. Sin embargo, Pascon y cols. (49) efectuaron un estudio *in vivo* en 100 dientes extraídos, el que comprobaron que Raypex 5 posee una eficacia deficiente (31%) con un rango de tolerancia de $\pm 0.5\text{mm}$ en determinar la longitud del conducto.

2.10 iPEX

Recientemente se introdujo en el mercado un nuevo localizador apical del tipo multifrecuencia; iPex (NSK, Nakanishi, Japón), el funcionamiento de este aparato es similar a los del tipo Relación de Impedancia en dos frecuencias, con la diferencia que, además de usar más de dos frecuencias, mide el cambio repentino de la impedancia al acercarse al diámetro menor del conducto (5). Se han efectuado pocos estudios para evaluar la eficacia de este localizador de ápice. Stöber y cols. (12) encontraron que este dispositivo posee una eficacia del 57.8% para un rango de tolerancia de 0.5 mm (de la longitud real del conducto) y del 100% en el caso de 1mm. De Vasconcelos y cols. (50) efectuaron un estudio *in vitro* en el que valoraron la eficacia de varios localizadores de ápice, entre ellos iPex. Determinaron la eficacia del mismo en localizar el foramen mayor (0.0mm) y 1 mm coronal a este (-1.0mm), encontraron que iPex logró determinar la ubicación del foramen mayor con una eficacia de 61.7%, sin diferencias estadísticamente significativas con respecto a la longitud real del conducto. Sin embargo, sí encontraron diferencias estadísticamente significativas en determinar la longitud de trabajo 1mm corta a la longitud real del conducto, la eficacia en tal rango fue de 44.1%.

THIRÓTESIS

Hipótesis para la variable determinación de la longitud de trabajo real, in vivo, empleando el localizador de ápice Root ZX, en presencia de irrigantes.

Hipótesis nula: No existe diferencias estadísticamente significativas entre la medición electrónica otorgada por el localizador de ápice Root ZX y la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.

Hipótesis alternativa: Existe diferencias estadísticamente significativas entre la medición electrónica otorgada por el localizador de ápice Root ZX y la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.

Hipótesis para la variable determinación de la longitud de trabajo real, in vivo, empleando el localizador de ápice Raypex 5, en presencia de irrigantes.

Hipótesis nula: No existe diferencias estadísticamente significativas entre la medición electrónica otorgada por el localizador de ápice Raypex 5 y la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.

Hipótesis alternativa: Existe diferencias estadísticamente significativas entre la medición electrónica otorgada por el localizador de ápice Raypex 5 y la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.

Hipótesis para la variable determinación de la longitud de trabajo real, in vivo, empleando el localizador de ápice iPex, en presencia de irrigantes.

Hipótesis nula: No existe diferencias estadísticamente significativas entre la medición electrónica otorgada por el localizador de ápice iPex y la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.

Hipótesis alternativa: Existe diferencias estadísticamente significativas entre la medición electrónica otorgada por el localizador de ápice iPex y la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2,5%, Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%.

Hipótesis para la variable Determinación de la longitud de trabajo real, in vivo, empleando los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5, en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5%

Hipótesis nula: No existe diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas otorgadas por los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5 en la determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5%..

Hipótesis alternativa: Existe diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas otorgadas por los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5 en la determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5%.

Hipótesis para la variable Determinación de la longitud de trabajo real, in vivo, empleando los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Rapex 5 en presencia de clorhexidina al 2%:

Hipótesis nula: No existe diferencias estadísticamente significativa entre las mediciones electrónicas otorgadas por los localizadores de ápice Root ZX, Ipex y Raypex 5 en la determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de clorhexidina al 2%.

Hipótesis alternativa: Existe diferencias estadísticamente significativa entre las mediciones electrónicas otorgadas por los localizadores de ápice Root ZX, Ipex y Raypex 5 en la determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de clorhexidina al 2%.

Hipótesis para la variable Determinación de la longitud de trabajo, in vivo, empleando los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5 en presencia de EDTA al 17%:

Hipótesis nula: No existe diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas otorgadas por los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5 en la determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de EDTA al 17%.

Hipótesis alternativa: Existe diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas otorgadas por los localizadores de ápice Root ZX, iPex y Raypex 5 en la determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de EDTA al 17%.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar si existen diferencias significativas en la exactitud de la medición de la longitud de trabajo real (distancia entre un punto de referencia coronal y el punto situado 0.5 mm coronal al foramen mayor) entre los localizadores de ápice Root ZX (J. Morita Tokyo, Japón), Ipex (NSK, Tochigi, Japón) y Raypex 5® (VDW, Munich Alemania), *in vivo*, bajo la acción de diferentes irrigantes.

Objetivos específicos

1. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Root Zx en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción del Hipoclorito de sodio al 2.5%.
2. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Raypex 5 en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción del Hipoclorito de sodio al 2.5%.
3. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Ipex en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción del Hipoclorito de sodio al 2.5%.
4. Determinar si existen diferencias entre los localizadores de ápice Root ZX, Ipex y Raypex 5 en determinar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción del Hipoclorito de sodio al 2.5%.
5. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Root Zx en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de la Clorhexidina al 2%.
6. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Raypex 5 en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de la Clorhexidina al 2%.

7. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Ipex en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de la Clorhexidina al 2%.
8. Determinar si existen diferencias entre los localizadores de ápice Root Zx, Ipex y Raypex 5 en determinar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de la Clorhexidina al 2%.
9. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Root ZX en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de EDTA al 17%.
10. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Raypex 5 en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de EDTA al 17%.
11. Evaluar la exactitud del localizador de ápice Ipex en identificar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de EDTA al 17%.
12. Determinar si existen diferencias entre los localizadores de ápice Root Zx, Ipex y Raypex 5 en determinar la longitud de trabajo real, *in vivo*, bajo la acción de EDTA al 17%.

ARTÍCULOS

In vivo Evaluation of the Raypex 5 by Using Different Irrigants.

Artículo publicado en el Journal of Endodontics en Agosto 2012.

doi: 10.1016/j.joen.2012.05.018. Impact Factor 2012: 2.929 según JCR Science Edition.
1er cuartil de Impact Factor Listing for Journals on

Dentistry Oral Surgery & Medicine.

Susana Gomes, DDS, Rogelio Oliver, DDS, PhD, Carlos Macouzet, DDS, Montse Mercadé, DDS, PhD, Miguel Roig, MD, DDS, PhD, and Fernando Duran-Sindreu, DDS, PhD

Abstract

Introduction: The Raypex 5 is a fourth-generation electronic apex locator for which the accuracy in the presence of chlorhexidine (CHX) and ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) has not yet been tested in vivo. The aim of this in vivo study was to evaluate the performance of the Raypex 5 electronic apex locator in the presence of different irrigant solutions: 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl), 2% CHX, and 17% EDTA. **Methods:** Thirty-four single-rooted human teeth that were scheduled for extraction were selected for the study. Measurements were performed with the Raypex 5 in the presence of different irrigant solutions: 2.5% NaOCl, 2% CHX, and 17% EDTA. After the teeth were extracted, a #10 K-file was used to determine the reference working length (RWL), which was established to 0.5 mm from the major foramen. The measurements of WL obtained with the different irrigants were compared by analysis of variance. Significance was set at $P < .05$. **Results:** No significant differences were found among the experimental groups ($P = .18$). The mean distance from the RWL to the file tip was -0.26 ± 1.14 mm when 17% EDTA was used, -0.03 ± 0.92 mm for 2% CHX, and 0.22 ± 0.93 mm for 2.5% NaOCl.

Conclusions: The Raypex 5 performed equally well irrespective of the irrigant used. (J Endod 2012;38:1075–1077)

A precise measurement of the working length (WL) is crucial to endodontic treatment (1, 2). The WL of the root canal is defined as the distance from a coronal reference point on the tooth to the point at which canal preparation and obturation should terminate (3). Underestimation of the WL can lead to insufficient debridement of the root canal, whereas overestimation may result in damage to the periapical tissues, which will delay or prevent healing (4). Ravanshad et al (5) and Cianconi et al (6) have shown that electronic apex locators (EALs) provide a more accurate estimation of the WL than radiographs. The findings with the Raypex 5 EAL are similar, if not superior, to radiographic length measurement as per rates of acceptable and short cases (5). Furthermore, the Raypex 5 was superior in reducing overestimation of the root canal length (5). Nevertheless, the accuracy of certain EALs can be affected by certain factors, one of which is the electrolytes in the root canal (7–9). The importance of the irrigation solution in endodontic treatment is well documented (10). However, the effect of the different irrigants that are used in endodontics on the accuracy of EALs is not yet understood fully. Some authors have observed that the irrigant used can influence the accuracy of the Root ZX (J. Morita Corp, Tokyo, Japan) and Propex (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) EALs (8, 9). However, other authors have found that some EALs, among them Root ZX, Bingo 4 (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, Israel), and Neosono Ultima EZ (Satelec Inc, Mont Laurel, NJ), perform equally well regardless of the irrigant used (8, 11, 12). Thus, there is disagreement among authors regarding the variability in the accuracy of some third- and fourth-generation EALs, depending on the irrigant used (8, 9, 11, 12).

The Root ZX (third generation) and the Raypex 5 (VDW, Munich, Germany) (fourth

generation) EALs use the same 2 alternating current frequencies (400 Hz and 8 kHz) and determine the WL via an impedance ratio. Besides their different displays, the main difference between these EALs is that the Root ZX passes the 2 currents simultaneously, whereas the Raypex 5 does so in succession (13). The manufacturer of the latter claims that using only one frequency at a time, in combination with obtaining measurements on the basis of the root mean square values of the signals, increases the accuracy of measurement and the reliability of the device (14).

A limited number of in vivo studies have evaluated the accuracy of EALs in the presence of different irrigants (9, 15, 16). However, none of them seems to have tested the effect of 2% chlorhexidine (CHX) on the accuracy of EALs. To our knowledge, no study has compared the accuracy of the Raypex 5 in the presence of 2% CHX, 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl), and 17% ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) in the root canal under clinical conditions.

The aim of the in vivo study described herein was to evaluate the accuracy of the Raypex 5 in determining the WL in the same teeth in the presence of 2% CHX, 2.5% NaOCl, and 17% EDTA.

Materials and Methods

Thirty-four maxillary and mandibular single-rooted teeth with mature apices in 14 patients were selected. The teeth were scheduled for extraction at Universidad Autónoma de Nuevo León for periodontal, prosthetic, endodontic, or orthodontic reasons. Teeth with metallic restorations, fractures, root resorption, or open apices were not included. Informed written consent was obtained from each patient in

accordance with the study protocol, which was approved by the Autónoma de Nuevo León ethics board. All clinical procedures and measurements were conducted by the principal investigator.

A periapical radiograph was taken of each tooth. After local anesthesia and rubber dam isolation, the cusps or the incisal edges of the teeth were flattened with a diamond bur (Dentsply-Maillefer) to obtain a stable reference point for all measurements. The crowns were marked with a marker to serve as a reference for the placement of the rubber stop. Endodontic access was obtained, and the pulp tissue was removed with a barbed broach (Dentsply-Maillefer). The pulp tissue of 2 teeth was found to be nonvital, and the coronal portion of each canal was flared with Gates Glidden burs #1, #2, and #3 (Dentsply-Maillefer). Then the canal was irrigated with saline solution and dried by using paper points.

Measurements were taken in turn after the canals had been irrigated with 1 mL of 2.5% NaOCl, 2% CHX (Vista Dental, Schaumburg, IL), and 17% EDTA (Ultradent, South Jordan, UT), respectively, with an endodontic syringe and a 23-gauge needle. Excess fluid was removed, but no attempt was made to dry the canal. Between measurements, the canals were irrigated with 2 mL of saline solution and dried with paper points before application of the next irrigant. A computerized method of randomization designated the order in which the irrigants were used.

The Raypex 5 was used in accordance with the manufacturer's instructions. The clip was attached to the lip of the patient, and the electrode was connected to a #15 K-file. The file was advanced within the root canal to the major foramen (red light) and retracted until the flashing green bars appeared. Measurements were considered to be

valid if the reading remained stable for at least 5 seconds. The unstable measurements were recognized when the scale bars on the display of the Raypex 5 jumped from one point to the other. The silicon stop was adjusted, and the distance between the silicon stop and the file tip was measured with a 0.1-mm precision digital caliper (Mitutoyo Corp, Tokyo, Japan) and recorded as Electronic Length Raypex 5 (ELR5).

After all measurements had been made, each tooth was extracted and immersed in 5.25% NaOCl solution for 2 hours to remove the periodontal ligament. Subsequently, the teeth were examined under a stereomicroscope at 48x magnification (Leica Microsystem EZ4D, Bensheim, Germany) to evaluate the presence of root fractures and completion of apex formation. The teeth were then placed in a numbered specimen cup and kept in 10% formalin solution.

The operator established the reference WL (RWL) by inserting a #10 K-file (Dentsply Maillefer) into each canal until the tip of the file became visible through the major foramen under a stereomicroscope at 48x magnification. The file was withdrawn until its tip lay tangential to the major foramen. The silicon stop was then adjusted to the marker reference. The distance from the silicon stop to the file tip was measured by using a digital caliper with a precision of 0.1 mm. Then 0.5 mm was subtracted from the measurement. Each measurement was repeated 3 times, and the mean of the values was recorded as the RWL. Four teeth were excluded, 2 because of unstable measurements, 1 because of fracture during extraction, and another because of instrument fracture. Hence, 30 teeth were included in the statistical analysis. In each case, the RWL was subtracted from the electronic measurements. Positive values indicated measurements that exceeded the

RWL (long measurements), whereas negative values indicated measurements that were short of the RWL. The measurements of WL were compared among the different irrigants by using analysis of variance. Significance was set at $P < .05$.

Results

The statistical analysis revealed no significant differences in the accuracy of the Raypex 5 in determination of the RWL, set at 0.5 mm from the major foramen, when 2.5% NaOCl, 2% CHX, and 17% EDTA were used as irrigants ($P = .18$). The mean distance from the RWL to the file tip was -0.26 ± 1.14 mm when 17% EDTA was used, -0.03 ± 0.92 mm for 2% CHX, and 0.22 ± 0.93 mm for 2.5% NaOCl. The accuracy of the Raypex 5 in establishing the RWL was as follows: with 17% EDTA, it was accurate 36.7% of the time to ± 0.5 mm and 60% of the time to ± 1 mm; with 2% CHX, it was accurate 46.7% of the time to ± 0.5 mm and 73.4% of the time to ± 1 mm; with 2.5% NaOCl, it was accurate 63.3% of the time to ± 0.5 mm and 73.4% of the time to ± 1 mm (Table 1).

Distance from RWL (mm)*	Raypex 5 + CHX (n 30)		Raypex5 + NaOCl (n 30)		Raypex 5 + 17% EDTA (n 30)	
	n	%	n	%	n	%
<-1	4	13.3	2	6.6	6	20
-1.0 to -0.51	4	13.3	2	6.6	7	23.3
-0.50 to 0.0	8	26.7	10	33.3	5	16.7
0.01 to 0.5	6	20	9	30	6	20
0.51 to 1.0	4	13.3	1	3.3	0	0
>1	4	13.3	6	20	6	20

*Negative value indicates measurements short of the RWL.

Discussion

In the present study, the RWL was established to be 0.5 mm coronal to the major foramen, as suggested previously by various authors (17–19). Hence, we determined

the RWL by subtracting 0.5 mm from the measurement when the file appeared at the major foramen under the stereomicroscope, because the mean distance from the major foramen to the apical constriction was approximately 0.5–1.0 mm (20).

A review of the literature revealed an absence of *in vivo* studies that had evaluated the accuracy of the Raypex 5 in the presence of different irrigants. In the present study, the statistical analysis showed no significant differences in the accuracy of the Raypex 5 in determining the RWL when 2.5% NaOCl, 2% CHX, and 17% EDTA were used as irrigants. Other studies that have compared the accuracy of different EALs such as Root ZX, TriAuto ZX, and Bingo 4 in root canals filled with CHX, EDTA, and NaOCl have produced similar results (11, 12). However, our results differed from those of some other studies because in these studies the irrigants used had an impact on the accuracy of some EALs (8, 9). This discrepancy might be explained by the different methodologies and EALs used in the various studies. Fan et al (8) observed that Root ZX, Propex, and Neosono were accurate in establishing the RWL in a glass tubule with a diameter between 0.25 and 0.4 at 0%, 100%, and 100% of the time, respectively, to \pm 0.5 mm with 17% EDTA and at 0%, 100%, and 91.7% of the time, respectively, with 2.5% NaOCl, whereas we observed that Raypex 5 was accurate 36.7% of the time with 17% EDTA and 63.3% of the time with 2.5% NaOCl. The main reason for the differences between the findings of Fan et al and those of the present study could be that the former used glass tubules that were parallel, without taper or constriction, rather than teeth. Unlike the natural anatomy of mature permanent teeth, the wall of each tubule was equally thick along its length, and the electrical features of glass are different from those of dentin. Our results also do not agree with those obtained by Özseberg et al

(9), who observed that the Propex EAL was more accurate when the root canal was filled with CHX than when it was filled with NaOCl. This could be explained by the fact that the authors used 0.2% CHX rather than 2% CHX, as used in the present study; the latter is the concentration of CHX that is cited commonly as a root canal irrigant in the endodontic literature (10).

In relation to the measurements obtained with the Raypex 5, our findings are similar to those of Ding et al (21) and Wrbas et al (22). We observed that the mean distance from the RWL to the file tip was 0.22 mm when 2.5% NaOCl was used (this was 0.28 mm short of the major foramen, because the RWL was set at 0.5 mm from the major foramen). In their studies, Ding et al and Wrbas et al reported that the file tip was at a mean distance of 0.367 mm and 0.15 mm, respectively, short of the major foramen when the Raypex 5 was used. The results of the present study also agree with those of Stöber et al (18), who found that the mean distance from the RWL to the file tip was 0.174 mm. However, in the present study, the standard deviation (SD) obtained when 2.5% NaOCl was used (0.93) differs from the values obtained in the studies of Stöber et al and Wrbas et al (0.38 and 0.24, respectively). According to Lee et al (23), it is more important that the measurements of WL can be reproduced consistently, as measured by the SD, than to know the mean distance from the measurements to the RWL. Hence, it is important to analyze the SD of measurements obtained with different EALs. If the reading of the device is consistent (low SD) and if the mean distance between the file tip and the major foramen is known, an accurate WL can be obtained by subtracting or adding a predetermined value from the device reading. Therefore, it is important that the SD of the values obtained by using EALs should be low.

Nevertheless, a high SD was observed in the present study. Such a finding, which was also observed in some other studies (7, 24), could be explained by the claim of some authors that the accuracy of an EAL is influenced by the anatomy of the root canal (21, 25–27). The morphology of the minor and major foramen and the location of the major foramen are 3 important factors that influence EAL performance (21, 25–27). The diameter of the major foramen is thought to be a major factor that influences the functioning of EALs (26). Stein et al (26) reported that the accuracy of an EAL depended on the diameter of the major foramen. Other researchers have observed that the accuracy of measurements obtained by using EALs varies according to the diameter of the minor foramen (21, 27). Hence, the different results (SD and mean) obtained among the different studies might be explained by differences in the teeth used in them.

However, under the conditions of this in vivo study, the Raypex 5 performed equally well irrespective of the irrigant used.

Acknowledgments

The authors deny any conflicts of interest related to this study.

References

1. Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1: literature review. *Int Endod J* 1998;31:384–93.
2. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2: histological study. *Int Endod J* 1998;31:394–409.

3. Glossary of endodontic terms. 7th ed. Chicago: American Association of Endodontists; 2003.
4. Sjögren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990;16:498–504.
5. Ravanshad S, Adl A, Anvar J. Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. *J Endod* 2010;36:1753–6.
6. Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod* 2010;36:2003–7.
7. Venturi M, Breschi L. A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J* 2007;40:362–73.
8. Fan W, Fan B, Gutmann JL, Bian Z, Fan MW. Evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using glass tubules. *Int Endod J* 2006;39:127–35.
9. Ozseberg E, Inan U, Aydin U. In vivo evaluation of ProPex electronic apex locator. *J Endod* 2007;33:974–7.
10. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389–98.
11. Kaufman AY, Keila S, Yoshpe M. Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *Int Endod J* 2002;35:186–92.
12. Erdemir A, Eldeniz AU, Ari H, Belli S, Esener T. The influence of irrigating solutions

on the accuracy of the electronic apex locator facility in the Tri Auto ZX handpiece.

Int Endod J 2007;40:391–7.

13. Chen E, Kaing S, Mohan H, Ting S, Wu J, Parashos P. An ex vivo comparison of electronic apex locator teaching models. J Endod 2011;37:1147–51.

14. VDW. Raypex 5 apex locator: for successful endodontic treatments. Munich: VDW Endodontic Synergy; 2005. 1–4.

15. Jenkins JA, Walker AW, Schindler WG, Christopher M, Flores CM. An in vitro evaluation of the accuracy of the Root ZX in the presence of various irrigants. J Endod 2001;27:209–11.

16. Venturi M, Breschi L. A comparison between two electronic apex locators: an in vivo investigation. Int Endod J 2005;38:36–45.

17. Stöber EK, Duran-Sindreu F, Mercadé M, Vera J, Bueno R, Roig M. An evaluation of Root ZX and iPex Apex Locators: an in vivo study. J Endod 2011;37:607–10.

18. Stöber EK, de Ribot J, Mercadé M, et al. An evaluation of the Raypex 5 and the Mini Apex Locator: an in vivo study. J Endod 2011;37:1349–52.

19. Duran-Sindreu F, Stöber EK, et al. Comparison of in vivo and in vitro readings when testing the accuracy of the Root ZX Apex Locator. J Endod 2012;38:236–9.

20. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apices. *J Am Den Assoc* 1955;50:544–52.
21. Ding J, Gutmann JL, Fan B, Lu Y, Chen H. Investigation of apex locators and related morphological factors. *J Endod* 2010;36:1399–403.
22. Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J* 2007;40:133–8.
23. Lee SJ, Nam KC, Kim YJ, Kim DW. Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit. *J Endod* 2002;28:706–9.
24. Tinaz AC, Sevimli SL, Görgül G, Türköz EG. The effects of sodium hypochloride concentrations on the accuracy of an apex locating device. *J Endod* 2002;28:160–25.
25. Pagavino G, Pace R, Bacceti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 1998;24:438–41.
26. 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.
27. Herrera M, Abalos C, Planas AJ, et al. Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod* 2007;33:995–8.

In Vivo Evaluation of the IPex and Root ZX electronic apex locators using various irrigants

Artículo publicado en el International Endodontic Journal en Agosto 2013.

doi: 10.1111/iej.12057. Impact Factor 2013: 2.273 según JCR Science Edition. 2do cuartil de Impact Factor listing for Journals on Dentistry Oral Surgery & Medicine.

F. Duran-Sindreu, S. Gomes, E. Stöber, M. Mercadé, L. Jane & M. Roig[✉]

Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, Sant Cugat del Valles, Barcelona, Spain

Abstract

Aim To evaluate in vivo the performance of the iPex and Root ZX electronic apex locators (EALs) in the presence of several irrigant solutions: 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl) and 2% chlorhexidine (CHX).

Methodology Thirty-two single-rooted human teeth that were scheduled for extraction were selected. Teeth with metallic restorations, fractures, root resorption, pulp necrosis or open apices were not included. The working length (WL) was determined electronically for the root canals with the iPex and Root ZX EALs in the presence of two different irrigant solutions, 2.5% NaOCl and 2% CHX. After the teeth had been extracted, a size 10 K-file was used to determine the reference working length (RWL), which was established at 0.5 mm short of the major foramen. In each case, the RWL was subtracted from the electronic measurements. Positive values indicated electronic measurements that exceeded the RWL (long measurements), whereas negative values indicated measurements that were short of the RWL. The values obtained with the different irrigants and EALs were compared using the paired t-test. Significance was set at $P < 0.05$.

Results The accuracy of the iPex nor Root ZX EAL was not affected by 2.5% NaOCl or

2% CHX ($P > 0.05$). However, significant differences were observed between the readings of the iPex and Root ZX, irrespective of whether 2.5% NaOCl or 2% CHX was used as the irrigant ($P < 0.05$). The iPex was less accurate than the Root ZX in determining the RWL.

Conclusions The accuracy of neither the iPex nor Root ZX EAL was affected by the irrigant used. However, the iPex was less accurate than the Root ZX in determining the RWL both for 2.5% NaOCl and for 2% CHX.

Keywords: electronic apex locator, iPex, Root ZX, working length.

Received 31 August 2012; accepted 6 December 2012

Introduction

During root canal treatment, it is critical to determine and maintain the working length (WL) (Ricucci 1998, Ricucci & Langeland 1998). The WL is defined as the distance from a coronal reference point to the point at which canal preparation and filling should terminate (American Association of Endodontists 2003). The traditional method used to determine WL is based on the radiographic visualization of an instrument placed in the root canal. The most obvious drawback to this method is that it is impossible to determine accurately the position of the apical constriction and the apical foramen on the basis of conventional radiographs alone (ElAyouti et al. 2001, 2002, Tselnik et al. 2005). The foramen of the main root canal may be located to one side of the anatomical apex, sometimes at distances of 3 mm (Gordon & Chandler 2004). Furthermore, radiographs provide a two-dimensional image of a three-dimensional structure; they are subject to distortion and magnification and difficult to interpret. Lastly, the superimposition of bony structures may hinder the identification of the radiographic apex of some teeth (ElAyouti et al. 2002). The use of electronic devices to determine the WL was proposed first by Custer (1918), and the first electronic apex locator (EAL) was developed following Suzuki's investigation of the electrical resistance properties of oral tissues (Suzuki 1942). Some authors have shown that EALs provide a more accurate estimation of the WL than radiographs (Pratten & McDonald 1996, Cianconi et al. 2010).

The apical constriction (AC), namely the narrowest part of the root canal, is regarded by many as the physiological apical limit for instrumentation and filling of the root canal system (Ricucci 1998, Ricucci & Langeland 1998). Given that the WL should be

established at the AC, many authors (Tselnik et al. 2005, Wrbas et al. 2007, Siu et al. 2009) use the '0.5' mark on an EAL to determine the WL. The manufacturers of such devices claim that the '0.5' mark indicates the AC. However, there are problems with this approach. For example, the existence of an AC might be more conceptual than real because less than 50% of the teeth examined have a 'traditional' single AC (Dummer et al. 1984). Moreover, a number of studies have suggested that the precise location of the AC cannot be determined (Martínez-Lozano et al. 2001, Lee et al. 2002) or might not exist (Martínez-Lozano et al. 2001, Lee et al. 2002). In addition, the measurements indicated by the '0.5' mark do not indicate the AC itself, but an area beyond it (Dunlap et al. 1998, Tselnik et al. 2005, Wrbas et al. 2007). Consequently, many authors have evaluated the accuracy of EALs in determining the WL, taking as a reference point the major foramen or a point 0.5 mm short of the major foramen (Stöber et al. 2011a,b, Durán- Sindreu et al. 2012, Gomes et al. 2012).

The electrolytes in root canals are considered to be one of the main factors that affect the precision of measurements made by certain EALs (Fan et al. 2006, Özsezer et al. 2007). Consequently, it is important to understand the effects of the different irrigants that are used in root canal treatment on the accuracy of measurements made by EALs.

The effect of different irrigants on the accuracy of EALs has been evaluated (Kaufman et al. 2002, Fan et al. 2006, Erdemir et al. 2007, Ozsezer et al. 2007). Some authors have observed that the type of irrigant used influences the accuracy of the Root ZX and Propex EALs (Fan et al. 2006, Özsezer et al. 2007). However, others have found that some EALs, amongst them the Root ZX, Bingo 4 and Neosono Ultima EZ, performed equally well regardless of the irrigant used (Kaufman et al. 2002, Fan et al. 2006,

Erdemir et al. 2007). Hence, there is disagreement amongst authors regarding the variability in the accuracy of some third- and fourth-generation EALs with respect to the irrigant used. The effect of the use in vivo of 2% CHX on the iPex and Root ZX EALs has not been reported. Therefore, the aim of this study was to evaluate the influence of 2.5% NaOCl and 2% CHX on the accuracy of the Root ZX and iPex EALs. The null hypotheses were that the accuracy of neither the iPex nor Root ZX EALS would be affected by 2.5% NaOCl and 2% CHX, and there would not be any differences with respect to the accuracy between the iPex and Root ZX in determining the WL.

Materials and methods

Thirty-two maxillary and mandibular single-rooted teeth with mature apices, in 14 patients, were selected. The teeth were scheduled for extraction at the Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL; Mexico) for periodontal, prosthetic, endodontic or orthodontic reasons. Teeth with metallic restorations, fractures, root resorption or open apices were not included. All the teeth responded positively to cold sensitivity tests and, clinically, all the pulps were confirmed to be vital on examination of the pulp chamber. Informed written consent was obtained from each patient in accordance with the study protocol, which was approved by the UANL Ethics Board. All clinical procedures and measurements were conducted by a single investigator.

A periapical radiograph was taken of each tooth. After local anaesthesia and rubber dam isolation, the cusps or the incisal edges of the teeth were flattened with a diamond bur (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) to obtain a stable reference point for all measurements. The crowns were labelled with a marker to serve as a reference for the placement of the rubber stop. Endodontic access was obtained, the

pulp tissue was removed with a barbed broach, and the coronal portion of each canal was flared using Gates- Glidden bur sizes 1, 2 and 3 (Dentsply Maillefer). Thereafter, each canal was irrigated with saline solution and dried using paper points.

A computerized method of randomization designated the order in which the irrigants and the EALs were used. Electronic measurements using the EALs were taken after the canals had been irrigated with 1 mL of 2.5% NaOCl or 2% CHX (VistaDental, Schaumburg, IL, USA), with an endodontic syringe and a 23-gauge needle. Excess fluid was removed from the pulp chamber with an air syringe, but no attempt was made to dry the canal. Between measurements, the canals were irrigated with 2 mL of saline solution and dried with paper points before application of the next irrigant, to remove the previous irrigant completely. The EALs were used in accordance with the manufacturers' instructions. Measurements with the Root ZX were taken by advancing the file within the root canal to just beyond the foramen, as indicated by the flashing 'APEX' bar. The file was then withdrawn until the flashing bar between 'APEX' and '1' had been reached. In the case of the iPex locator, the file was advanced until the 'APEX' signal was seen on the LCD display and then withdrawn until the display showed the 0.5-mm mark. Measurements were considered to be valid if the reading remained stable for at least 5 s. The silicon stop was adjusted, and the distance between the silicon stop and the file tip was measured with a 0.1-mm precision digital caliper (Mitutoyo, Corp., Tokyo, Japan) and recorded as the electronic length iPex (ELI) or the electronic length Root ZX (ELR) for each irrigant under study.

When all the measurements had been completed, each tooth was extracted and immersed in 5.25% NaOCl solution for 2 h to remove the periodontal ligament.

Subsequently, the teeth were examined under a stereomicroscope at 48 x magnification (Leica Microsystem EZ4D, Bensheim, Germany) to evaluate the presence of root fractures and completion of apex formation. The teeth were then placed in a numbered specimen cup and stored in 10% formalin solution.

The operator established the reference WL (RWL) by inserting a size 10 K-file (Dentsply Maillefer) into each canal until the tip of the file became visible through the major foramen under a stereomicroscope at 48 x magnification. After this, the file was withdrawn until its tip lay tangential to the major foramen. The silicon stop was then adjusted to the marker reference. The distance from the silicon stop to the file tip was measured using a digital caliper with a precision of 0.1 mm. Following this step, 0.5 mm was subtracted from the measurement. Each measurement was repeated thrice, and the mean of the values was recorded as the RWL.

Four teeth were excluded from the study: two as a result of unstable readings, one because of fracture during extraction and one owing to instrument fracture. Hence, 28 teeth were included in the statistical analysis. In each case, the RWL was subtracted from the electronic measurements. Positive values indicated electronic measurements that exceeded the RWL (long measurements), whereas negative values indicated measurements that were short of the RWL. The measurements of WL were compared between the EALs with the paired t-test. For each EAL, measurements of the WL that were obtained with the two different irrigants were also compared using the paired t-test. Significance was set at $P < 0.05$.

Results

Using the iPex, the mean distance from the RWL to the file tip was -0.4 ± 1.09 mm for the 2% CHX and -0.22 ± 1.1 mm for the 2.5% NaOCl solution. Using the Root ZX, the mean distance from the RWL to the file tip was 0.19 ± 0.8 mm for the 2% CHX and 0.15 ± 0.79 mm for the 2.5% NaOCl solution.

The accuracy of the iPex in establishing the RWL, set at 0.5 mm short of the major foramen, was as follows: with 2.5% NaOCl, it was accurate 42.8% of the time to ± 0.5 mm and 64.2% of the time to ± 1 mm; with 2% CHX, it was accurate 32.1% of the time to ± 0.5 mm and 57.1% of the time to ± 1 mm(Table1).

The accuracy of the Root ZX in establishing the RWL was as follows: with 2.5% NaOCl, it was accurate 46.4% of the time to ± 0.5 mm and 82.1% of the time to ± 1 mm; with 2% CHX, it was accurate 60.7% of the time to ± 0.5 mm and 74.9% of the time to ± 1 mm (Table 2).

The statistical analysis revealed that the accuracy of neither the iPex nor Root ZX EAL was affected by 2.5% NaOCl or 2% CHX ($P > 0.05$).

The statistical analysis showed significant differences between the iPex and Root ZX readings in the presence of 2.5% NaOCl ($P < 0.05$) and of 2% CHX ($P < 0.05$), demonstrating that the accuracy of the iPex EAL was lower than that observed with the Root ZX EAL in determining the RWL.

Tab e 1 Difference between reference working length (RWL) and readings of iPex with the different irrigants

D stance from RWL (mm) ^a	Pex + NaOCL		Pex + CHX			
	n	28	%	n	28	%
< 1 1	5		17 9	8		28 5
1 0 to 0 51	4		14 3	5		17 9
0 50 to 0 0	9		32 1	6		21 4
0 01 to 0 5	3		10 7	3		10 7
0 51 to 1 0	2		7 1	2		7 1
>1 1	5		17 9	4		14 3

^aNegative value Indicates measurements short of the RWL.

Tab e 2 Difference between RWL and readings of Root ZX with the different irrigants

D stance from RWL (mm) ^a	Root ZX + NaOCL		Root ZX + CHX			
	n	28	%	n	28	%
< 1 1	2		7 1	3		10 7
0 51 to 1 0	4		14 3	2		7 1
0 01 to 0 5	4		14 3	4		14 3
0 50 to 0 0	9		32 1	13		46 4
1 0 to 0 51	6		21 4	2		7 1
>1 1	3		10 7	4		14 3

^aNegative value Indicates measurements short of the RWL.

Discussion

The findings of the present study do not concur with those of Stöber et al. (2011a), who observed no significant differences between the iPex and Root ZX devices when 2.5% NaOCl was used as an irrigant. It is important to highlight that Stöber et al. (2011a) did not compare the iPex and the Root ZX directly because they did not evaluate the same teeth with both EALs. According to Wrbas et al. (2007), it is important to use the same teeth to be able to compare precisely the accuracy and differences amongst types of EAL in the determination of the WL. In determining the WL in the present study, the Root ZX and iPex were accurate 46.4% and 42.8% of the

time to ± 0.5 mm, respectively, whereas Stöber et al. (2011a) observed that the Root ZX and iPex were accurate 72% and 57.8% of the time to ± 0.5 mm, respectively. The morphology of the minor and major foramen and the location of the major foramen are three important factors that influence the performance of EALs (Stein et al. 1990, Pagavino et al. 1998, Ding et al. 2010). Stein et al. (1990) reported that the accuracy of an EAL depends on the diameter of the major foramen. Others have observed that the accuracy of measurements obtained using EALs varies with respect to the diameter of the minor foramen (Herrera et al. 2007, Ding et al. 2010). Therefore, the different results obtained in various studies could be explained partly by the nature of the teeth used in the studies.

In the present study, significant differences were observed between the measurements that were obtained using the two types of EAL. For example, greater accuracy of the Root ZX was observed in the presence of either 2% CHX or 2.5% NaOCl compared with the accuracy of the iPex. However, the irrigant used did not influence the accuracy of the EALs. Other studies that have compared the accuracy of different EALs, such as the Root ZX, TriAuto ZX and Bingo 4, Raypex 5 in root canals filled with CHX or NaOCl have produced similar results (Kaufman et al. 2002, Erdemir et al. 2007, Gomes et al. 2012). However, the present results differed from those of some other studies in which the irrigants used had an impact on the accuracy of some EALs (Fan et al. 2006, Ozsezer et al. 2007). This discrepancy might be explained by the different methodologies and irrigants used in the various studies. Jenkins et al. (2001) concluded that the Root ZX is a useful and accurate device for the determination of WL in conjunction with the use of a wide range of irrigants used in endodontics.

Nevertheless, the authors did show that the Root ZX was more accurate when Peridex (0.12%) or H2O2 was used as the irrigant than with 5.25% NaOCl. The results of the present study conflict with those obtained by Ozsezer et al. (2007), who observed that the Propex EAL was more accurate when the root canal was filled with CHX than when it was filled with NaOCl. This could be explained by the fact that Ozsezer et al. (2007) used 0.2% CHX rather than 2% CHX, as was used in the present study; the latter is the concentration of CHX that is recommended as a root canal irrigant (Zehnder 2006).

In the current study, the file tip was extended beyond the major foramen in 32.1% of the samples in the Root ZX group and in 25% in the iPex group when 2.5% NaOCl was used as an irrigant. The present findings are comparable to those obtained by Stöber et al. (2011a), who observed that with the Root ZX and iPex, the file tip protruded beyond the major foramen in 16.7% and 26.3% of the samples, respectively. Wrbas et al. (2007), Shabahang et al. (1996) and Dunlap et al. (1998) reported that, with the Root ZX, the file tip extended beyond the major foramen in 40%, 30.8% and 26% of the samples, respectively. In addition, some authors have shown that EALs used with nickeltitanium (Ni–Ti) rotary files are unable to establish accurately and control the apical point of rotary instrumentation. Jakobson et al. (2008) found that the autoreverse function of the Root ZX II with the low-speed handpiece unit could not control the apical extent of rotary instrumentation when the autoreverse function was set to 1. Uzun et al. (2008) noted that, when the autoreverse function was used, the TriAuto ZX (J Morita Co., Kyoto, Japan) and TCM Endo V (Nouvag, Goldach, Switzerland) EALs instrumented beyond the major foramen in 60% and 95% of retreatments, respectively. Siu et al. (2009) observed that the rotary Ni–Ti file

protruded beyond the major foramen 28.6% of the time for the Root ZX II with the low-speed hand- piece unit (J. Morita USA, Tustin, CA, USA), 28.6% of the time for the Apex NRG XFR (Medic NRG Ltd, Tel Aviv, Israel) attached to the Brasseler handpiece (Brasseler USA, Savannah, GA, USA) and 25% of the time for the Mini Apex Locator attached to the Brasseler handpiece. In the light of these results, some authors have proposed that, when determining the WL, the instrument should be withdrawn by approximately 0.5–1 mm from the position indicated by some EALs (Tselnik et al. 2005, Wrbas et al. 2007, Cianconi et al. 2010). However, given the fact that the standard deviation (SD) obtained with EALs is high, the WL will be underestimated in some cases and overestimated in others. If the recommendations of the above-mentioned authors were followed, the WL would be underestimated more frequently than if the measurements obtained with the EALs were taken as correct. Underestimation of the WL can lead to insufficient debridement of the root canal and may jeopardize the treatment outcome (Sjögren et al. 1990); hence, this practice is not accepted universally.

In the present study, the SDs obtained for the Root ZX and iPex were 0.79 and 1.08 with 2.5% NaOCl and 0.83 and 1.1 with 2% CHX, respectively. According to Lee et al. (2002), instead of determining in advance the point at which the EAL should be read, the key factor is to ensure that the measurements can be reproduced reliably (to give a low SD). Consequently, it is important to analyse the SD of the measurements obtained with different EALs. If the measurements obtained from an EAL show a low SD and if the average distance between the file tip and the major foramen is known, an accurate WL can be obtained by subtracting or adding the average distance from or to

the reading of the device (Lee et al. 2002). Hence, it is important that the SD of the measurements determined by EALs should be low. However, high SDs were observed in the present study. This finding was also observed in other studies (Tinaz et al. 2002, Gomes et al. 2012) and could be explained by the claim of some authors that the accuracy of an EAL is influenced by the anatomy of the root canal, as discussed above.

Conclusions

The accuracy of neither the iPex nor Root ZX EAL was affected by the irrigant used. However, significant differences were observed between the readings of the iPex and Root ZX, irrespective of whether NaOCl and 2% CHX used, demonstrating that the accuracy of the iPex EAL was lower than that observed with the Root ZX EAL in determining the RWL.

Acknowledgements

The authors wish to thank the Department of Surgery Dr Macouzet and Dr Arizpe of the Universidad Autónoma de Nuevo León, Mexico, for their help in the developing of the research protocols. There are no disclosures with possible commercial associations.

References

American Association of Endodontists (2003) Glossary of Endodontic Terms, 7th edn. Chicago: American Association of Endodontists.

Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M (2010) Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *Journal of Endodontics* 36, 2003–7.

Custer LE (1918) Exact methods of locating the apical foramen. *Journal of the National Dental Association* 5, 815–9. Ding J, Gutmann JL, Fan B, Lu Y, Chen H (2010) Investigation of apex locators and related morphological factors. *Journal of Endodontics* 36, 1399–403.

Dummer PM, McGinn JH, Rees DG (1984) The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *International Endodontic Journal* 17, 192–8.

Dunlap CA, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR (1998) An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *Journal of Endodontics* 24, 48–50.

Duran-Sindreu F, Stöber EK, Mercadé M et al. (2012) Comparison of in vivo and in vitro readings when testing the accuracy of the Root ZX Apex Locator. *Journal of Endodontics* 38, 236–9.

ElAyouti A, Weiger R, Löst C (2001) Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *Journal of Endodontics* 27, 49–52.

ElAyouti A, Weiger R, LoEst C (2002) The ability of Root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radio- graphic working length. *Journal of Endodontics* 28, 116–9.

Erdemir A, Eldeniz AU, Ari H, Belli S, Esener T (2007) The influence of irrigating solutions on the accuracy of the electronic apex locator facility in the Tri Auto ZX hand- piece. *International Endodontic Journal* 40, 391–7

Fan W, Fan B, Gutmann JL, Bian Z, Fan MW (2006) Evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using glass tubules. *International Endodontic Journal* 39, 127–35.

Gomes S, Oliver R, Macouzet C, Mercadé M, Roig M, Duran- Sindreu F (2012) In vivo evaluation of the Raypex 5 by using different irrigants. *Journal of Endodontics* 38, 1075–7.

Gordon MP, Chandler NP (2004) Electronic apex locators. *International Endodontic Journal* 37, 425–37.

Herrera M, Abalos C, Planas AJ et al. (2007) Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator preci- sion. *Journal of Endodontics* 33, 995–8.

Jakobson SJ, Westpalhen VPD, da Silva Neto UX, Fariniuk LF, Picoli F, Carneiro E (2008) The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX and ProTaper instruments: an in vivo study. *Journal of Endodontics* 34, 1342-5.

Jenkins JA, Walker AW, Schindler WG, Christopher M, Flores CM (2001) An in vitro

evaluation of the accuracy of the Root ZX in the presence of various irrigants. *Journal of Endodontics* 27, 209–11.

Kaufman AY, Keila S, Yoshpe M (2002) Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *International Endodontic Journal* 35, 186–92.

Lee SJ, Nam KC, Kim YJ, Kim DW (2002) Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit. *Journal of Endodontics* 28, 706–9.

Martínez-Lozano MA, Forner-Navarro L, Sánchez-Cortés JL, Llena-Puy C (2001) Methodological considerations in the determination of working length. *International Endodontic Journal* 34, 371–6.

Ozsezer E, Inan U, Aydin U (2007) In vivo evaluation of ProPex electronic apex locator. *Journal of Endodontics* 33, 974–7.

Pagavino G, Pace R, Bacetti T (1998) A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *Journal of Endodontics* 24, 438–41.

Pratten DH, McDonald NJ (1996) Comparison of radio- graphic and electronic working lengths. *Journal of Endodontics* 22, 173–6.

Ricucci D (1998) Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1 Literature review. *International Endodontic Journal* 31, 384–93.

Ricucci D, Langeland K (1998) Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2 Histological study. *International Endodontic Journal* 31, 394–409.

Shabahang S, Goon WW, Gluskin AH (1996) An in vivo evaluation of Root ZX electronic

apex locator. *Journal of Endodontics* 22, 616–8.

Siu C, Marshall JG, Baumgartner JC (2009) An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. *Journal of Endodontics* 35, 962–5.

Sjö€gren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K (1990) Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of Endodontics* 16, 498–504.

Stein TJ, Corcoran JF, Zillich RM (1990) Influence of the major and minor foramen diameters on apical electronic probe measurements. *Journal of Endodontics* 16, 520–2.

StöberEK, Duran-SindreuF, Mercadé M, VeraJ, BuenoR, Roig M (2011a) A evaluation of Root ZX and iPex Apex Locators: an in vivo study. *Journal of Endodontics* 37, 607–10.

Stöber EK, de Ribot J, Mercad_e M et al. (2011b) An evaluation of the Raypex 5 and the Mini Apex Locator An in vivo study. *Journal of Endodontics* 37, 1349–52.

Suzuki K (1942) Experimental study on iontophoresis. *Journal of the Japanese Stomatological Society* 16, 411–7.

Tinaz AC, Sevimli SL, Görgül G, Tüköz EG (2002) The effects of sodium hypochlorite concentrations on the accuracy of an apex locating device. *Journal of Endodontics* 28, 160–2.

Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG (2005) An evaluation of Root ZX and Elements Diagnostic Apex Locators. *Journal of Endodontics* 31, 507–9.

Uzun O, Topuz O, Tinaz C, Nekoofar MH, Dummer PMH (2008) Accuracy of two root

canal length measurement devices integrated into rotary endodontic motors when removing gutta-percha from root-filled teeth. *International Endodontic Journal* 41, 725–32.

Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF (2007) In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *International Endodontic Journal* 40, 133–8.

Zehnder M (2006) Root canal irrigants. *Journal of Endodontics* 32, 389–98.

Estudio *in vivo* sobre la precisión de los localizadores de ápice iPex y Root ZX en la determinación de la longitud de trabajo

Artículo publicado en la Revista Endodencia. Enero 2015

Susana Gomes Azevedo, Fernando Durán-Sindreu, Montserrat Mercadé Bellido, Miguel Roig Callón, Mirtha Treviño Cárdenas

Resumen

Propósito: El propósito de este estudio *in vivo* es evaluar la precisión de los localizadores de ápice iPex y Root ZX en la determinación de la longitud del conducto. *Materiales y Métodos:* Se seleccionaron 34 dientes monoradiculares indicados para extracción. Se efectuaron las mediciones electrónicas (ME) con iPex y Root ZX tras la irrigación del conducto con EDTA al 17%. Después de la extracción del diente, se determinó la longitud real (LR) del conducto a 0.5 mm del foramen mayor. Las mediciones electrónicas de cada diente se compararon con la LR mediante, analizándose las diferencias con el test estadístico de análisis de la varianza.

Resultados: Se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre la LR y ME de Ipex ($p=0.02$) y entre ME de Ipex y ME de RootZX ($p=0.02$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre LR y la ME de Root ZX ($p=0.66$). La media de la distancia desde la punta de la lima hasta la LR fue de -0.09 ± 1.06 mm para el Root ZX y de -0.52 ± 1.19 mm para el iPex ($p < 0.05$). *Conclusiones:* El Root ZX posee mayor precisión en determinar la longitud del conducto que el Ipex.

Introducción

Uno de los pasos más importantes en el tratamiento endodóncico es la determinación del límite apical para la preparación químico-mecánica y obturación del conducto. Varios autores consideran la constricción apical como límite ideal para tales objetivos y

han establecido que el mejor pronóstico del tratamiento de conductos se basa en una adecuada instrumentación y obturación homogénea a nivel de ésta, mientras que el peor pronóstico está relacionado con la instrumentación y obturación más allá de la misma (1, 2).

Por muchos años el método radiográfico ha sido el más utilizado para determinar la longitud de trabajo. Sin embargo, en una radiografía es imposible determinar la ubicación de la constricción apical. Además, las radiografías están sujetas a la distorsión de la imagen y son sensibles a técnicas de exposición, angulación e interpretación por parte del clínico (3-5).

Custer (6), en 1918, fue el pionero en intentar determinar la longitud del conducto a través de un método electrónico. Posteriormente, la investigación de Suzuki, sobre las propiedades de resistencia eléctrica de los tejidos bucales, conllevó al desarrollo del primer localizador de ápice (LA) (7). La primera generación de LA determinaban la resistencia, la segunda generación medían la impedancia en una frecuencia. La limitación de estos LA fue la poca efectividad en otorgar mediciones confiables en presencia de fluidos y de tejido pulpar (8). Esta desventaja fue vencida por el localizador de ápice introducido por Kobayashi y Suda en 1994 (9), el Root ZX (J. Morita Tokyo, Japón). Este LA funciona bajo el método de relación de impedancia en dos frecuencias: dos corrientes eléctricas con diferentes longitudes de onda, tendrán impedancias que pueden ser medidas y comparadas como una proporción, independientemente del tipo de electrolito en el conducto. La capacitancia del conducto se incrementa significativamente en la constricción apical, y el coeficiente de impedancia se reduce rápidamente cuando se halla la constricción apical, o el límite

cemento-dentinario (CDC) (8). Varios estudios *in vivo* han confirmado la eficacia de éste LA en determinar la longitud del conducto (8, 10-13).

Recientemente se introdujo en el mercado un nuevo LA del tipo multifrecuencia; iPex (NSK, Nakanishi, Japón), el funcionamiento de este aparato es similar a los del tipo Relación de Impedancia en dos frecuencias, con la diferencia que, además de usar más de dos frecuencias, mide el cambio repentino de la impedancia al acercarse al diámetro menor del conducto (8). Hasta nuestro conocimiento, se han efectuado pocos estudios *in vivo* para evaluar la eficacia de este LA. Stöber y cols. (14) encontraron que este dispositivo posee una eficacia del 57.8% para un rango de tolerancia de 0.5 mm (de la longitud real del conducto) y del 100% en el caso de 1mm. Durán-Sindreu y cols. (15) hallaron que el iPex era menos eficaz que el Root ZX en determinar la longitud del conducto en presencia de irrigantes.

El propósito de este estudio *in vivo* es evaluar la precisión de los localizadores de ápice iPex y Root ZX.

Materiales y Métodos

Para el estudio fueron seleccionados 34 dientes monoradiculares, con ápice completo, indicados para extracción por razones periodontales, protésicas, endodóncicas u ortodóncicas, en 14 pacientes que acudieron a la clínica de cirugía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL; México). No fueron incluidos dientes con restauraciones metálicas, fracturas, reabsorciones apicales o ápices inmaduros. Cada paciente firmó un consentimiento informado de acuerdo al protocolo de estudio aprobado por el Comité de ética de la UANL.

En cada caso, se tomó una radiografía periapical de cada diente. Se aplicó anestesia local y se aisló de manera absoluta. Para obtener un punto de referencia estable se efectuó un desgaste selectivo con una fresa de diamante (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) en las cúspides o bode incisal de los dientes. Se determinó el punto de referencia y se marcó con un marcador de tinta indeleble para la colocación del tope de goma. Se efectuó la apertura cameral, el tejido pulpar fue removido con una sonda barbada (Dentsply, Maillefer). Se efectuó apertura del tercio coronal de los conductos con fresas Gates Glidden 1, 2 y 3 (Dentsply Maillefer) y se irrigó con 1 ml de solución salina y se secó con puntas de papel. Un programa computarizado de aleatorización designó el orden en el cual fueron usados los localizadores de ápice. Se tomaron las mediciones electrónicas una vez que los conductos fueron irrigados con 1ml de EDTA al 17% (Ultradent, South Jordan, UT, EU) con una jeringa endodóncica de 23 gauge.

Un solo operador efectuó las mediciones. Los localizadores de ápice fueron utilizados según las indicaciones del fabricante. Para el Root ZX, el operador avanzó la lima hasta el momento en que la barra indicadora y el tono auditivo señalaron "APEX". Una vez en este punto, se retiró la lima hasta que la barra indicadora se detuvo en la línea ubicada entre el símbolo de "APEX" y 1. En el caso de iPex se avanzó con la lima hasta que la señal "APEX" fuera alcanzada por la barra indicadora y el tono auditivo indicara misma ubicación, luego la lima fue retirada hasta el punto marcado como 0.5.

Las mediciones se tomaron cuando la señal permaneció estable durante 5 segundos. El tope de goma se ajustó al punto referencia previamente marcado, se retiró la lima del conducto, y la distancia entre la base del tope de goma y la punta de la lima se midió con un calibrador digital milimétrico, de precisión 0.1 milímetros (Mitutoyo® 700-113,

USA). Las mediciones electrónicas obtenidas se registraron como ME Root ZX o ME Ipex,

Una vez efectuadas las mediciones, cada diente fue extraído y sumergido en hipoclorito de sodio al 5.25% durante 2 horas para remover el ligamento periodontal. Subsecuentemente el diente fue examinado bajo un estereomicroscopio a una magnificación de 48x (Leica Mycosystem EZ4D, Bensheim, Alemania) para descartar la presencia de fracturas o ápices incompletos. Posteriormente, los dientes se colocaron en una solución de formalina al 10% en envases enumerados.

Para establecer la longitud real (LR), bajo la visión de un estereomicroscopio (Leica Microsystem) a una magnificación de 48x, el operador insertó una Lima K, número 10, de acero inoxidable (Dentsply Maillefer) en el conducto de cada diente, hasta que la lima fuera visible a través del foramen apical, luego, la misma se retiró hasta quedar a ras del foramen. Se ajustó el tope de goma, se retiró la lima del conducto y se midió la distancia de la punta de la lima, hasta la base del tope de goma con un calibrador digital milimétrico, de precisión 0.1 milímetros (Mitutoyo 700-113, USA). Posteriormente, a esta medida se le sustrajo 0.5 mm. Se efectuó la medición tres veces, y se calculó la media. El valor obtenido como media se registró como longitud real (LR).

Se excluyeron 4 dientes del estudio: dos por mediciones inestables, uno por fractura durante la extracción y otro debido a la fractura de un instrumento en el interior del conducto. Por lo tanto, se incluyeron 30 dientes en el análisis estadístico. En cada caso la LR fue sustraída la de la ME. Las medidas más allá de la LR (0.0) se designaron como positivas, y las cortas con respecto a LR, se designaron como negativas (-). Los resultados de las mediciones fueron comparados mediante la prueba ANOVA.

Resultados

Se aplicó un ANOVA de repetidas medidas y comparaciones entre pares manejando un alfa .05 en el programa SPSS 21.0. Se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre la LR y ME de Ipex ($p = 0.02$) y entre ME de Ipex y ME de RZX ($p=0.02$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre LR y del ME de RZX ($p = 0.66$). La media de la distancia desde la punta de la lima hasta la LR fue: Root ZX -0.09 ± 1.06 mm; iPex -0.52 ± 1.19 mm. La exactitud de los localizadores de ápice en establecer la longitud de trabajo en relación a la LR se muestra en la Tabla 1.

Discusión

Se han efectuado numerosos estudios en los que se ha determinado la precisión de los localizadores de ápice (8). Muchos de ellos han demostrado poseer una eficacia elevada, especialmente el Root ZX, es por esto que este LA es frecuentemente utilizado como punto comparación para valorar la eficacia de nuevos LA (8).

En el presente estudio, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX con respecto a la LR. La media de la distancia desde la punta de la lima hasta la LR fue: Root ZX -0.09 ± 1.06 mm.

Estos hallazgos concuerdan con los reportados por Jenkins y cols. (16), Welk y cols. (10), Durán-Sindreu y cols. (15), Stöber y cols. (14); empero, difieren de los reportados por Mull y cols. (17) en su estudio de laboratorio, quienes encontraron diferencias significativas entre la longitud del conducto y la medición electrónica otorgada por el Root ZX. La discrepancia entre estos hallazgos pudiera deberse a las diferentes condiciones del estudio.

En nuestra investigación, Root ZX obtuvo una eficacia de 56.6% con un rango de tolerancia de ± 0.5 y de 86.6% dentro del rango ± 1 . Nuestros hallazgos son similares a los reportados por otros estudios que han demostrado que el Root ZX es efectivo en determinar el foramen menor con una eficacia de 82.3 a 90.7% (con un rango de tolerancia de 0.5mm); y de 96.9% a 100% con un rango de tolerancia de 1mm (10, 12, 13). Durán-Sindreu y cols. (15) encontraron que bajo la acción del NaOCl la eficacia del Root ZX es de 46.4% (para un rango de tolerancia de ± 0.5 mm) y 82.1% (para un rango de tolerancia de ± 1 mm).

En nuestra investigación se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la ME de iPex y la LR. Estos hallazgos no concuerdan con los encontrados por Durán-Sindreu y cols. (15) quienes no encontraron diferencias entre la LR y la medición electrónica otorgada por iPex, en presencia de hipoclorito de sodio o clorhexidina. Sin embargo, en ambos estudios la media de la distancia desde la punta de la lima hasta la LR fue negativa. Los hallazgos anteriormente reportados difieren de los reportados por Stöber y cols. (14) quienes no notaron diferencias estadísticamente significativas entre la longitud del conducto y la medida electrónica otorgada por iPex.

iPex demostró una eficacia de 26,6% y 56.6% para un rango de tolerancia de ± 0.5 mm y ± 1 mm respectivamente. Estos resultados, una vez más, coinciden con los reportados por Durán-Sindreu y cols. (15) pero difieren de los hallados por Stöber y cols. (14), quienes reportaron una eficacia mayor del 57.8 y 100% respectivamente. Las diferencias entre nuestros resultados y los reportados por dicha investigación puede deberse a la diferencia de la metodología empleada.

En nuestra investigación encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las ME de iPex y Root ZX. Hallazgos similares a los reportados por Durán- Sindreu y cols. (15).

Conclusiones

Bajo las limitaciones de este estudio podemos concluir que:

- Root ZX posee una elevada precisión en determinar la longitud del conducto.
- iPex es menos preciso que el Root ZX en la determinación de la longitud del conducto.

TABLA 1

Diferencia entre la longitud real (LR) y la medición electrónica (ME) de Root ZX y Ipex

Distancia desde LR (mm)	Root ZX		Ipex	
	n=30	%	n=30	%
< -1.1	4	13.3	4	13.3
-1 a -0.51	1	3.3	2	6.7
-0.5 a 0.0	8	26.7	3	10.0
0.01 a 0.5	9	30	5	16.7
0.51 a 1	2	6.7	7	23.3
> 1.1	6	19.9	8	30

Valores negativos indican ME cortas con respecto a la LR

Referencias bibliográficas

1. Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J.* 1998;31(6):384-93.
2. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J.* 1998;31(6):394-409.
3. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod.* 2001;27(1):49-52.

4. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod.* 2002;28(2):116-9.
5. Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG. An evaluation of root ZX and elements diagnostic apex locators. *J Endod.* 2005;31(7):507-9.
6. Custer LE. Exact methods of locating the apical foramen. *J Natl Dent Assoc.* 1918;5:815-9.
7. Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res.* 1962;41:315-87.
8. Gordon MP, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J.* 2004;37(7):425-37.
9. Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod.* 1994;20(3):111-4.
10. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod.* 2003;29(8):497-500.
11. Shabahang S, Goon W, Gluskin A. An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *Journal of Endodontics.* 1996;22:616-8.
12. Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod.* 1998;24(6):438-41.
13. Dunlap CA, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod.* 1998;24(1):48-50.

14. Stöber EK, Duran-Sindreu F, Mercadé M, Vera J, Bueno R, Roig M. An evaluation of root ZX and iPex apex locators: an in vivo study. J Endod. 2011;37(5):608-10.
15. Duran-Sindreu F, Gomes S, Stöber E, Mercadé M, Jané L, Roig M. In vivo evaluation of the iPex and Root ZX electronic apex locators using various irrigants. Int Endod J. 2013;46(8):769-74.
16. 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(3):209-11.
17. Mull JP, Manjunath V, Manjunath M. Comparison of accuracy of two electronic apex locators in the presence of various irrigants: An *in vitro* study. J Conserv Dent. 2012;15(2):178-82.

DISCUSSION

DISCUSIÓN

La revisión exhaustiva que efectuamos de la literatura reveló una ausencia de estudios *in vivo* que valoraran: la eficacia del localizador de ápice iPex y Raypex 5 en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5%, EDTA al 17% y clorhexidina al 2%. Así como tampoco la eficacia del localizador de ápice Root ZX en presencia de clorhexidina al 2%.

En nuestra investigación establecimos la longitud real tras introducir una lima hasta que fuera visible a través del foramen, al ras del mismo. Posteriormente, a esta medida se le sustrajo 0.5 mm en virtud que distancia media de la constricción apical al foramen mayor es 0.5-1.0 mm (51).

En el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la eficacia del Raypex 5 ni de Root ZX en presencia de los irrigantes hipoclorito de sodio al 2.5%, clorhexidina al 2% y EDTA al 17%. Nuestros hallazgos coinciden con otras investigaciones en las que han valorado la eficacia del Root ZX, Tri Auto ZX y Bingo 1020 en presencia de clorhexidina al 0.12% e hipoclorito de sodio (35, 36). Jenkins y cols. (31) desarrollaron un estudio *in vivo* en el que valoraron el efecto del hipoclorito de sodio al 5,25%, lidocaína con epinefrina 1:100.000, RC Prep, EDTA, peróxido de hidrógeno al 3% y Clorhexidina al 0.12%, encontraron que indistintamente del irrigante utilizado, Root ZX demostró ser eficaz en determinar la longitud del conducto. Resultados similares hallaron Meares y cols. (32) cuando evaluaron el efecto del hipoclorito de sodio también sobre el Root ZX.

Sin embargo, estos hallazgos difieren de los reportados por Özsezer y cols. (14) quienes, en su estudio *in vivo*, observaron que el tipo de irrigante sí influye en las mediciones electrónicas de los localizadores apicales; evidenciaron que Propex (Dentsply_Maillefer, USA) era más efectivo en presencia de Clorhexidina que en presencia de hipoclorito de sodio; esta discrepancia puede deberse al hecho que los autores utilizaron Clorhexidina al 0.2%, en vez del al Clorhexidina al 2%, como empleamos nosotros, ya que es la concentración adecuada para usar como irrigante endodóntico (13). Mull y cols. (33) evaluaron el efecto del hipoclorito de sodio al 1%, solución salina, EDTA al 17% y Clorhexidina al 2%, sobre Root ZX y SybronEndo Mini apex locator (Sybron Dental, EUA) en un estudio *in vitro*. Los resultados no arrojaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX en presencia de solución salina e hipoclorito de sodio y la longitud real. Sin embargo, sí se encontraron diferencias cuando el Root ZX actuó en presencia de Clorhexidina al 2% y EDTA al 17%. Mientras que la eficacia del Mini apex locator se vio alterada en presencia de hipoclorito de sodio al 1% y EDTA al 17%, mas no en presencia de Clorhexidina al 2%. Las discrepancias entre nuestros resultados y los anteriormente citados, pueden ser explicadas debido a las diferentes metodologías empleadas; en el estudio de Mull y cols. (32) los localizadores fueron evaluados en un modelo *in vitro* de gelatina, a los diferentes tipos de localizadores apicales.

En nuestra investigación no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las medidas electrónicas de iPex en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5% y de Clorhexidina al 2% con respecto a la longitud real del conducto.

Empero, evidenciamos diferencias estadísticamente significativas entre la longitud conducto y la medida electrónica en presencia de EDTA al 17%. Nuestros hallazgos soportan los reportados previamente por Mull y cols. (33) quienes encontraron diferencias estadísticamente significativas cuando el Root ZX y el Mini Apex locator actuaron en presencia EDTA al 17%.

En relación a las mediciones obtenidas con Raypex 5, nuestros hallazgos son similares a los reportados por Ding y cols. (53) y Wrbas y cols. (45). Nosotros observamos que la media de la distancia desde la longitud real a la punta de la lima fue 0.22 mm en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5% (esto es 0.28 mm más corto con respecto al foramen mayor). Los estudios efectuados por Ding y cols. y Wrbas y cols. reportaron que dichas medias fueron de 0.367 mm y 0.15 mm, respectivamente, cortos con respecto al foramen mayor. Adicionalmente, observamos que en presencia de EDTA al 17% y Clorhexidina al 2% las medias fueron -0.26 y -0.03 respectivamente. Nuestros hallazgos son similares a los reportados por Kang y cols. (34) en su estudio *in vitro* quienes encontraron que el Apit (Osada Electronic Co., EUA) y SmarPex (Meta Biomen Co., Korea) demostraron una gran tendencia a mediciones cortas en presencia de EDTA al 15%.

En lo que respecta a Root ZX, la media de la distancia de la longitud real a la punta de la lima fue 0.19mm en el caso de Clorhexidina al 2%; 0.15 mm para hipoclorito de sodio y -0.09mm en el caso de EDTA al 17%. Nuestros resultados concuerdan con los reportados por Kaufman y cols. (35) quienes también obtuvieron una media negativa en presencia de EDTA (-0.05mm). Jenkins y cols. (31), encontraron que media en presencia de hipoclorito de sodio al 5.25% fue de también positiva

(0.43), pero, en el caso de EDTA al 17% nuestros hallazgos difieren de los reportados por este estudio ya que la media obtenida por ellos fue positiva (0.33).

En el caso de iPex, la media de la distancia de la longitud real a la punta de la lima fue $-0.4\text{mm} \pm 1.09$ en el caso de Clorhexidina al 2%; -0.22 ± 1.1 mm para hipoclorito de sodio y iPex -0.52 ± 1.19 mm en el caso de EDTA al 17%.

Los resultados estadísticos demostraron que existen diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de Root ZX y iPex en presencia de hipoclorito de sodio, Clorhexidina y EDTA. Estos resultados no concuerdan con los hallados por Stöber y cols. (12) quienes no observaron diferencias entre ambos localizadores en presencia de hipoclorito de sodio al 2.5%. Es importante señalar que Stöber y cols. no evaluaron ambos localizadores directamente ya que las mediciones no fueron tomadas en el mismo diente. De acuerdo con Wrbas y cols. (45) es importante utilizar el mismo diente para hacer una comparación certera entre localizadores apicales.

Aún y cuando nuestros resultados sólo evidenciaron las diferencias estadísticamente significativas, entre la longitud del conducto y la medición electrónica de iPex en presencia de EDTA al 17%, observamos una gran diferencia porcentual entre las mediciones electrónicas obtenidas por los tres localizadores apicales. Por ejemplo, para un rango de tolerancia de ± 1 mm Root ZX evidenció poseer una eficacia de 74.9%, 82.1% y 86.6% en presencia de Clorhexidina al 2%, hipoclorito de sodio al 2.5%

y EDTA al 17% respectivamente; mientras que Raypex 5 73.4%, 73.4% y 60% respectivamente; iPex 57.1%, 64.2% y 56.6%. Estos resultados deben considerarse importantes debido a que poseen relevancia clínica significativa.

En nuestra investigación, obtuvimos los siguientes porcentajes de mediciones pasadas más allá de la constricción apical: 26,7% en el caso de Root ZX, 33.1% para iPex y 23.3% en el caso de Raypex. Estos resultados son comparables a los reportados por Stöber y cols.(12) quienes observaron mediciones más allá del foramen menor en 16.7% y 26.3%, respectivamente, de las muestras. Wrbas y cols. (44), Shabahang y cols. (9) y Dunlap y cols. (9) reportaron que con Root ZX la lima se protruyó más allá del foramen mayor en 40%, 30.8 y 26% de las muestras, respectivamente. Resultados similares han sido reportados por Tselnik y cols. (54) y D'Assunção y cols. (55).

De acuerdo a los resultados descritos, algunos investigadores sugieren que al determinar la longitud de trabajo, se resta 0.5-1mm de la longitud otorgada por el localizador apical (45, 54). Sin embargo, teniendo en cuenta que la desviación estándar obtenida con los localizadores de ápice es alta, la longitud de trabajo pudiera, en algunas ocasiones, estar subestimada y en otras sobreestimada.

De acuerdo a los resultados anteriormente expuestos:

- Para la variable determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5% se rechaza la hipótesis nula para Root ZX vs. iPex, ya que sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estos localizadores, y se acepta la hipótesis alternativa para Root ZX vs. Raypex 5.

- Para la variable determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de clorhexidina al 2% se rechaza la hipótesis nula para Root ZX vs. iPex, ya que sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estos localizadores, y se acepta la hipótesis alternativa para Root ZX vs. Raypex 5.
- Para la variable determinación de la longitud de trabajo real, *in vivo*, en presencia de EDTA al 17% se rechaza la hipótesis nula, para Root ZX vs. iPex y Raypex 5 vs. iPex, ya que sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estos localizadores; se acepta la hipótesis alternativa para Root ZX y Raypex 5.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONES

1. La exactitud del localizador de ápice Root ZX no se ve afectada por la presencia de hipoclorito de sodio al 2,5. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue 0.15 0.79 mm.
2. La exactitud del localizador de ápice Raypex 5 no se ve afectada por la presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue 0.22 0.93 mm.
3. La exactitud del localizador de ápice iPex no se ve afectada por la presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue -0.22 1.1 mm.
4. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y iPex en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y Raypex 5 en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Raypex 5 y iPex en presencia de hipoclorito de sodio al 2,5%.

5. La exactitud del localizador de ápice Root ZX no se ve afectada por la presencia de Clorhexidina al 2%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue 0.19 0.8 mm.
6. La exactitud del localizador de ápice Raypex 5 no se ve afectada por la presencia de Clorhexidina al 2%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue -0.03 0.92 mm.
7. La exactitud del localizador de ápice iPex no se ve afectada por la presencia de Clorhexidina al 2%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue -0.4 1.09 mm.
8. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y iPex en presencia de Clorhexidina al 2%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y Raypex 5. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Raypex 5 y iPex.
9. La exactitud del localizador de ápice Root ZX no se ve afectada por la presencia de EDTA al 17%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue -0.09 1.06 mm.

10. La exactitud del localizador de ápice Raypex 5 no se ve afectada por la presencia de EDTA al 17%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue -0.26 ± 1.14 mm.

11. La exactitud del localizador de ápice iPex sí se ve afectada por la presencia de EDTA al 17%. La media de la distancia desde la longitud real hasta la punta de la lima fue -0.52 ± 1.19 mm.

12. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y iPex en presencia de EDTA al 17%. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Root ZX y Raypex 5 en presencia de EDTA al 17%. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones electrónicas de Raypex 5 y iPex en presencia de EDTA al 17%.

PERSPECTIVAS A FUTURO

Perspectivas a futuro

Esta investigación se desarrolló en condiciones clínicas, lo que hace que sus resultados sean más confiables y representen una aportación valiosa al área de la endodoncia. El localizador de ápice Root ZX ha sido ampliamente estudiado desde hace ya muchos años y numerosos estudios respaldan su eficacia. Sin embargo, debido a su reciente introducción en el mercado, es necesario efectuar más investigaciones, en condiciones clínicas, que valoren la exactitud de los localizadores Raypex y iPex bajo la acción de los diferentes irrigantes, que comprueben o desaprueben nuestros resultados. También podrían enfocarse investigaciones interesantes sobre la eficacia de estos localizadores de ápice en dientes tratados endodónticamente, dientes con fracturas, dientes inmaduros o con reabsorciones apicales.

REFERENCES

1. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod.* 2001;27(1):49-52.
2. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod.* 2002;28(2):116-9.
3. Custer LE. Exact methods of locating the apical foramen. *J Natl Dent Assoc.* 1918;5:815-9.
4. Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res.* 1962;41:315-87.
5. Gordon MP, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J.* 2004;37(7):425-37.
6. Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod.* 1994;20(3):111-4.
7. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod.* 2003;29(8):497-500.
8. Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod.* 1998;24(6):438-41.
9. Dunlap CA, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod.* 1998;24(1):48-50.
10. Chen E, Kaing S, Mohan H, Ting SY, Wu J, Parashos P. An ex vivo comparison of electronic apex locator teaching models. *J Endod.* 2011;37(8):1147-51.
11. VDW. Raypex5 apex locator: for successful endodontic treatments.: VDW Endodontic Synergy; 2005. p. 1-4.

12. Stöber EK, Duran-Sindreu F, Mercadé M, Vera J, Bueno R, Roig M. An evaluation of root ZX and iPex apex locators: an in vivo study. *J Endod.* 2011;37(5):608-10.
13. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
14. Ozsezer E, Inan U, Aydin U. In vivo evaluation of ProPex electronic apex locator. *J Endod.* 2007;33(8):974-7.
15. Fan W, Fan B, Gutmann JL, Bian Z, Fan MW. Evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using glass tubules. *Int Endod J.* 2006;39(2):127-35.
16. Ebrahim AK, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. The effects of file size, sodium hypochlorite and blood on the accuracy of Root ZX apex locator in enlarged root canals: an in vitro study. *Aust Dent J.* 2006;51(2):153-7.
17. Seltzer S, Bender I. Factors affecting successful repair after root canal therapy. *J Am Dent Assoc.* 1963;67:651-62.
18. Kojima K, Inamoto K, Nagamatsu K, Hara A, Nakata K y cols. Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and no vital pulps. A meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Radiol Endod.* 2004;97:95-9.
19. Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J.* 1998;31(6):384-93.
20. Endodontists AAE. Glossary of Endodontics Terms. 7th ed: Chicago: American Association of Endodontists; 2003.
21. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J.* 1998;31(6):394-409.
22. Souza RA. The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. *Braz Dent J.* 2006;17(1):6-9.

23. Basmadjian-Charles, P F, DM B. Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Endod J.* 2002;52:81-6.
24. Lopes F. Odontometria. In: Siqueira J. *Endodontia biologia y tecnica.* Sao Paulo: Guanabara Koogan; 2004. p. 307-22.
25. Martínez-Lozano MA, Forner-Navarro L, Sánchez-Cortés JL, Llena-Puy C. Methodological considerations in the determination of working length. *Int Endod J.* 2001;34(5):371-6.
26. Ezzodini F, Mohammadi Z. Comparison between the accuracy of digital and conventional radiographies for evaluation the curved canals length. *Dent Res J.* 2006;3(2):1-8.
27. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer PM. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J.* 2006;39(8):595-609.
28. Briseño-Marroquín B, Frajlich S, Goldberg F, Willershausen B. Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. *J Endod.* 2008;34(6):698-702.
29. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. An in vitro evaluation of the accuracy of Dentaport ZX apex locator in enlarged root canals. *Aust Dent J.* 2007;52(3):193-7.
30. Sadeghi S, Abolghasemi M. The effect of file size on the accuracy of the raypex 5 apex locator: an in vitro study. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2008;2(1):24-7.
31. Jenkins JA, Walker WA, Shindler WG, Flores CM. An in vitro evaluation of the accuracy of the Root ZX in the presence of various irrigants. *J Endod.* 2001;27(3):209-11.

32. Meares WA, Steiman HR. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod.* 2002;27(8):595-8.
33. Mull VM, MK Manjunath. Comparison of accuracy of two electronic apex locators in the presence of various irrigants: An *in vitro* study. *J Conserv Dent.* 2012;15(2):178-82.
34. Kang JA, Kim SK. Accuracies of seven different apex locators under various conditions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106:e57-e62.
35. Kaufman AY, Keila S, Yoshpe M. Accuracy of a new apex locator: an *in vitro* study. *Int Endod J.* 2002;35(2):186-92.
36. Erdemir A, Eldeniz AU, Ari H, Belli S, Esener T. The influence of irrigating solutions on the accuracy of the electronic apex locator facility in the Tri Auto ZX handpiece. *Int Endod J.* 2007;40(5):391-7.
37. 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(4):317-21.
38. 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(5):408-14.
39. Angwaravong O, Panitvisai P. Accuracy of an electronic apex locator in primary teeth with root resorption. *Int Endod J.* 2009;42(2):115-21.
40. Lucena-Martín C, Robles-Gijón V, Ferrer-Luque CM, de Mondelo JM. In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J Endod.* 2004;30(4):231-3.

41. Shabahang S, Goon WW, Gluskin AH. An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *J Endod.* 1996;22:616-8.
42. D'Assunção FL, de Albuquerque DS, Salazar-Silva JR, de Queiroz Ferreira LC, Bezerra PM. The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX-II: an evaluation in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;104(3):e50-3.
43. 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. *Aust Dent J.* 2006;51(3):258-62.
44. Herrera M, Abalos C, Planas AJ, Llamas R. Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod.* 2007;33(8):995-8.
45. Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J.* 2007;40(2):133-8.
46. ElAyouti A, Dima E, Ohmer J, Sperl K, von Ohle C, Löst C. Consistency of apex locator function: a clinical study. *J Endod.* 2009;35(2):179-81.
47. 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(4):368-74.
48. Stoll R, Urban-Klein B, Roggendorf MJ, Jablonski-Momeni A, Strauch K, Frankenberger R. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from the apical foramen. *Int Endod J.* 2010;43(9):808-17.

49. Pascon EA, Marrelli M, Congi O, Ciancio R, Miceli F, Versiani MA. An ex vivo comparison of working length determination by 3 electronic apex locators. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):e147-51.
50. Vasconcelos BC, Bueno M de M, Luna-Cruz SM, Duarte MA, Fernandes CA. Accuracy of five electronic foramen locators with different operating systems: an ex vivo study. *J Appl Oral Sci.* 2013;21(2):132-7.
51. Kuttler Y. microscopic investigation of roots apexes. *J Am Den Assoc.* 1955;50:544-52.
52. Mull JP MV, Manjunath M. Comparison of accuracy of two electronic apex locators in the presence of various irrigants: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2012;15(2):178-82.
53. Ding J, Gutmann JL, Fan B, Lu Y, Chen H. Investigation of apex locators and related morphological factors. *J Endod.* 2010;36(8):1399-403.
54. Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG. An evaluation of root ZX and elements diagnostic apex locators. *J Endod.* 2005;31(7):507-9.
55. D'Assuncao FL, de Albuquerque DS, de Quiroz Ferreira LC. The ability of two apex locators to locate the apical foramen: an in vitro study. *J Endod.* 2006;36(6):560-2.