

MARC
5/11
R. 15522



M5225
2011

Universidad de Valparaíso
Facultad de Odontología
Escuela de Graduados
Especialidad de Periodoncia e Implantología

Sensibilidad y especificidad de las radiografías periapicales y del Sistema de Tomografía Computarizada (Cone Beam) en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales

**Trabajo de Investigación
Requisito para optar a la
Especialidad de Periodoncia e Implantología**

Alumna: Dra. Carolina Meneses Aguilar
Directora de Programa: Dra. Gianina Caneppe Martin
Docente guía: Dr. Jorge Godoy Olave

Valparaíso
2011

Agradecimientos

A los Dres. Ramón Naranjo y Hugo Vega, por su excelente disposición y ayuda desinteresada en el análisis imagenológico de este estudio. Gracias por su tiempo y experiencia.

A las Srtas. Claudia Carvajal y Lindana Ulloa, quienes facilitaron enormemente mi trabajo, colaborando en la parte práctica de esta tesis.

A mi profesor guía, Dr. Jorge Godoy, por su colaboración y apoyo constante en el desarrollo de este estudio.

A todos aquellos que, de una u otra manera, me instaron a seguir adelante...

Muchas Gracias

Índice

Introducción.....	1
Marco teórico.....	3
Traumatismos dentoalveolares. Fracturas radiculares.....	3
Etiología de las fracturas radiculares.....	4
Fracturas radiculares horizontales.....	5
Fracturas radiculares verticales.....	7
Sensibilidad y especificidad en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales.....	11
Diagnóstico imagenológico de las fracturas radiculares verticales.....	12
Técnicas intraorales retroalveolares.....	13
Radiografía panorámica.....	19
Tomografía Computarizada.....	21
Tomografía Computarizada Cone Beam.....	24
3D Accuitomo XYZ.....	31
Objetivos.....	35
Materiales y método.....	36
Resultados.....	43
Discusión.....	55
Conclusiones.....	59
Sugerencias.....	60
Resumen.....	61
Referencias bibliográficas.....	62
Anexos.....	66

INTRODUCCIÓN

Las lesiones de tejidos blandos y duros intraorales y peribucales atribuibles a injurias traumáticas son lesiones frecuentes, motivo de emergencia en la práctica odontológica. Aquellas que afectan a tejido duro, específicamente a la estructura dentaria se presentan con mayor frecuencia en pacientes jóvenes y su severidad puede variar desde pequeñas fracturas de esmalte hasta avulsiones dentarias. Cuando la injuria traumática provoca daño en la estructura radicular, estamos en presencia de una fractura radicular.

Las fracturas radiculares, definidas como lesiones que involucran dentina, cemento y pulpa, son relativamente poco frecuentes dentro del traumatismo dentoalveolar. Causadas por una fuerza de alto impacto, pueden clasificarse como verticales o longitudinales si la línea de fractura se extiende a través del eje longitudinal de la raíz hacia el ápice y horizontales si esta línea se extiende en sentido horizontal a través de la superficie radicular.

El diagnóstico de este tipo de fracturas es eminentemente clínico. Sin embargo, muchas veces no es posible detectarlas, por lo que es necesario el uso de exámenes complementarios imagenológicos para confirmar la sospecha diagnóstica. Como última alternativa, se opta por la visión directa de la línea de fractura a través de la exploración quirúrgica.

Tradicionalmente se han utilizado técnicas imagenológicas convencionales como las radiografías retroalveolares, las oclusales y en algunos casos, las radiografías panorámicas para asistir en el diagnóstico de una fractura radicular. Sin embargo, las limitaciones inherentes a estas técnicas han llevado a desarrollar nuevas tecnologías en imagenología que intentan disminuir los problemas asociados a las dosis de exposición del paciente y mejorar la calidad de imagen, entre otros.

El sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam es capaz de producir imágenes tridimensionales del esqueleto máxilofacial con dosis de radiación considerablemente menores que la tomografía convencional. La fuente de rayos y el detector rotan entre 180° y 360° sincrónicamente alrededor de la cabeza del paciente.

Una de las indicaciones para el uso de esta técnica imagenológica es la evaluación de traumatismos dentoalveolares ya que a través de vistas multiplanares pueden evaluarse sin distorsión, la naturaleza y severidad de las injurias dentoalveolares, como es el caso de las fracturas radiculares.

Debido a las desventajas de las técnicas imagenológicas convencionales para evaluar la presencia de fracturas radiculares verticales, y las desventajas presentadas por la exploración quirúrgica en relación a tiempo y costos, el propósito de este trabajo es realizar una investigación para evaluar la prueba diagnóstica más sensible para detectar este tipo de fracturas con el objetivo de ayudar al clínico a optimizar recursos y tiempo en el diagnóstico y tratamiento de este tipo de lesiones.

MARCO TEÓRICO

I.- Traumatismos dentoalveolares. Fracturas radiculares.

Los traumatismos que afectan a la región oral ocurren frecuentemente y comprenden cerca de un 5% de todas las injurias (Flores y cols., 2006). La clasificación actual se basa en un sistema adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y complementado por la International Association of Dental Traumatology (IADT) que incluye las injurias a los dientes, a las estructuras de soporte, a la encía y mucosa oral, clasificación que se basa en consideraciones anatómicas, terapéuticas y pronósticas, pudiendo ser aplicada a ambas denticiones (Andreasen y cols., 2007). Las injurias que afectan a los dientes son más comunes en pacientes jóvenes y varían en severidad desde pequeñas fracturas de esmalte hasta avulsiones.

Las fracturas radiculares son definidas como fracturas que involucran dentina, cemento y pulpa y pueden ser localizadas sólo en el aparato radicular (fractura radicular) o en la porción coronal del diente (fractura corono-radicular) (Majorana y cols., 2002). Son poco frecuentes dentro del traumatismo dentoalveolar y muestran una prevalencia entre 0.5 y 7% dependiendo del tipo de dentición afectada (Kamburoglu y cols., 2009; Kositbowornchai y cols., 2001; Majorana y cols., 2002).

Estadísticamente, la mayoría de las fracturas radiculares se presentan en los incisivos centrales y laterales superiores con un porcentaje de 68 a 80% y 27%, respectivamente (Majorana y cols., 2002; Bornstein y cols., 2009). Los incisivos inferiores son raramente afectados, ocupando un 5% del total de este tipo de fracturas (Bornstein y cols., 2009). El rango de edad más afectado es de 3 a 4 años para la dentición temporal y 11 a 20 años para la dentición permanente (Majorana y cols., 2002).

Este tipo de fractura es poco observada en dientes permanentes con formación incompleta y frecuentemente las injurias asociadas, como el daño al hueso y a los tejidos blandos intra y periorales complican la presentación clínica de estos traumas haciendo difícil su diagnóstico y tratamiento (Majorana y cols., 2002). Una línea de fractura en la raíz se considera una vía directa para los irritantes hacia el conducto radicular y los tejidos periradiculares y si la línea de fractura es extensa el acceso de los irritantes hacia el periodonto se vuelve más fácil (Kawamura-Hagiya y cols., 2008). Las fracturas radiculares generalmente comprometen la sobrevivencia del diente y frecuentemente necesitan la extracción (Nair y cols., 2002). Con respecto al diagnóstico, una fractura radicular sólo puede ser confirmada después de la extracción del diente (Mora y cols., 2007).

I A. Etiología de las fracturas radiculares.

Se atribuye a una fuerza de alto impacto que crea zonas de compresión vestibulares o linguales que separan la raíz en dos o más fragmentos. Cuando un diente recibe un golpe y se fractura a nivel radicular, la neurovasculatura a nivel del ápice se mantiene intacta y se produce un corte del suministro neurovascular en la línea de fractura, provocándose una lesión y separación a nivel del ligamento periodontal con la siguiente exposición de la superficie radicular (Andreasen y cols., 2007).

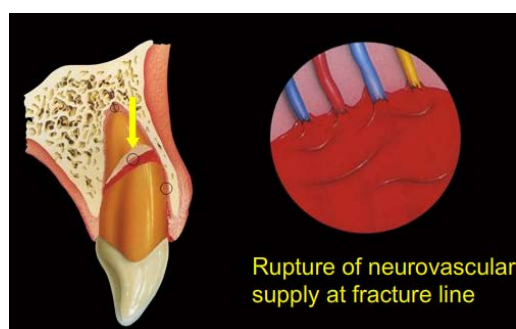


Figura 1: Corte de suministro vascular en la línea de fractura (Andreasen y cols., 2007)

La curación de las fracturas radiculares es similar en algunos aspectos a las fracturas del tejido óseo. Sin embargo, de acuerdo a las características anatómicas y al tipo de lesión, Andreasen ha descrito cuatro reacciones tisulares después de una fractura radicular (Majorana y cols., 2002; Mc Donald y cols., 2004):

- Curación con interposición de tejido calcificado, el que se caracteriza por un callo de tejido duro que puede consistir en dentina, osteodentina o cemento.
- Curación con interposición de tejido conectivo, en la cual las superficies radiculares fracturadas son cubiertas por cemento con fibras de tejido conectivo que unen los dos fragmentos.
- Curación con interposición de tejido óseo y tejido conectivo, en la cual un puente de hueso y tejido conectivo se posiciona entre los fragmentos.
- Interposición de tejido de granulación. Es la forma menos favorable de intento de reparación ya que la fractura no repara espontáneamente.

I B. Clasificación de las fracturas radiculares.

Se clasifican en fracturas radiculares horizontales y fracturas radiculares verticales.

I B1. Fracturas radiculares horizontales.

Se observan principalmente en la región anterosuperior de pacientes varones, asociadas a traumatismos por accidentes automovilísticos, deportes y peleas. Ocurren frecuentemente en dientes completamente erupcionados con formación radicular completa.

Se clasifican de acuerdo a la ubicación de la fractura en relación a la longitud radicular: tercio apical, tercio medio y tercio cervical, aunque también se clasifican en base al grado de dislocación del fragmento coronal (Bornstein y cols., 2009; Kamburoglu y cols., 2009).

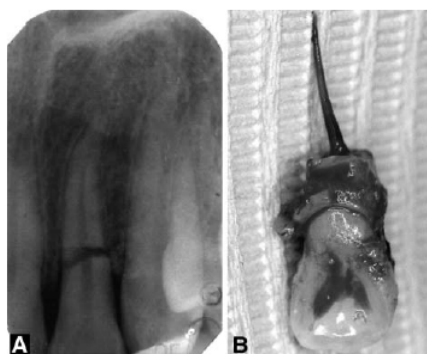


Figura 2: A. Imagen radiográfica de fractura horizontal en tercio medio radicular.

B. Se observa claramente la fractura después de la exodoncia (Majorana y cols., 2002).

Diagnóstico.

El examen inicial clínico y radiográfico de una zona traumatizada o con sospecha de fractura es crucial para determinar el diagnóstico inicial, la severidad de la injuria, el plan de tratamiento y crear un patrón para el seguimiento (Ilgüy y cols., 2009).

El diagnóstico de este tipo de fracturas se basa en la observación radiográfica de una o varias líneas de fractura horizontales y/o movilidad del segmento coronal del diente. Sin embargo, una fractura radicular puede ser desestimada si el rayo X no pasa a lo largo de la línea de fractura (Kamburoglu y cols., 2009; Kositbowornchai y cols., 2001). Se recomiendan exposiciones periapicales, oclusales y excéntricas. Una

exposición oclusal es óptima para localizar fracturas radiculares en el tercio apical y medio. Una exposición con ángulo de bisectriz o con angulación de 90° es necesaria para localizar las fracturas en el tercio cervical de la raíz.

Pronóstico.

Influenciado por una serie de factores como la edad del paciente, estado de la formación radicular (cierre apical), grado de dislocación y movilidad del fragmento coronal y grado de separación entre los fragmentos, principalmente depende de la localización de la línea de fractura. La mayoría de las fracturas radiculares afecta el tercio medio de la raíz. Las fracturas que afectan el tercio cervical son consideradas las de peor pronóstico (Kamburoglu y cols., 2009) ya que el porcentaje de necrosis pulpar aumenta a un 30% al año y la pérdida dentaria puede alcanzar un porcentaje superior al 40% a los 5 años de seguimiento, mientras que el porcentaje de pérdida de hueso marginal es cercano al 20%.

Tratamiento.

Según el protocolo de la IADT (International Association of Dental Traumatology) no está indicado poner anestesia local. Se debe limpiar el área con suero estéril o clorhexidina. Si hay desplazamiento, reposicionar el segmento coronal con presión digital lo más pronto posible y lavar nuevamente. Si existe laceración gingival, se sutura. Se debe chequear radiográficamente el posicionamiento del segmento coronal y estabilizar el diente con una férula flexible por 4 semanas. En el caso de fracturas en el tercio cervical la férula debe permanecer por un período superior a 4 meses. Al paciente se le indica alimentación blanda por 1 semana, higiene bucal con cepillo suave y enjuagues con clorhexidina al 0.1% (Flores y cols., 2006).

El seguimiento debe hacerse al menos por 1 año para determinar el estado pulpar. Si se produce necrosis, se indica la endodoncia del segmento coronal a la línea de fractura si después de 3 meses el diente aún no responde al test eléctrico o térmico y si las radiografías muestran una zona radiolúcida en relación a la línea de fractura. En el caso de fracturas radiculares en el tercio apical y medio, después de remover la férula se realiza un control radiográfico. Posteriormente, a las 6 u 8 semanas y a los 4, 6, y 12 meses debe realizarse un control clínico y radiográfico el que debe extenderse anualmente por 5 años aún cuando la evolución sea favorable para evaluar complicaciones tardías como necrosis pulpar, reabsorción radicular u obliteración del conducto radicular (Majorana y cols., 2002).

I B2. Fracturas radiculares verticales o longitudinales.

Se caracterizan por una línea de fractura completa o incompleta que se extiende a través del eje longitudinal de la raíz hacia el ápice (Cohen y cols., 2003; Varshosaz y cols., 2010). Este tipo de fractura representa entre 2 a 5% de las fracturas coronoradiculares y posee mayor incidencia en dientes tratados endodónticamente (3.7% a 30.8%) y en pacientes mayores de 40 años (Cohen y cols., 2003; Kawai y cols., 2002, Varshosaz y cols., 2010).

La etiología en dientes desvitalizados es principalmente iatrogénica, resultado de un tratamiento dental en exceso, por ejemplo, ensanchamiento excesivo del conducto radicular, presión excesiva durante la condensación de la gutapercha, ancho y longitud excesiva del espacio para un poste en relación a la anatomía y morfología del diente o presión excesiva durante la cementación de un poste. En dientes vitales, los traumatismos son la causa más probable de este tipo de fractura, específicamente los traumas físicos, el apriete dentario, bruxismo y aquellos dientes que están en proceso de apexificación (Cohen y cols., 2003).

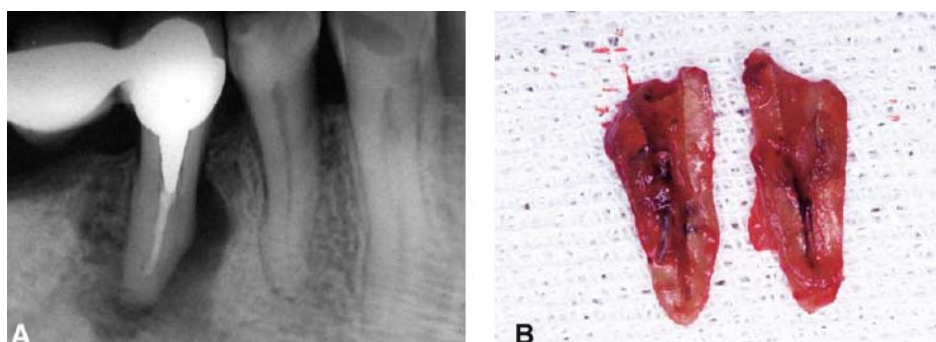


Figura 3: A. Imagen radiográfica de un premolar coronado con halo periradicular.
B. Fragmentos radiculares post exodoncia (Cohen y cols., 2003).

Diagnóstico.

Se basa en el examen clínico e imagenológico, complementado con la anamnesis. Muchos pacientes relatan episodios de traumatismo incluso con la comida y discomfort al morder a partir de ese episodio. También pueden relatar sensibilidad y dolor ocasional al consumir líquidos o comidas frías debido al compromiso dentinario y pulpar. Esto es más frecuente en dientes posteriores con grandes restauraciones.

Según la IADT los signos que dirigen el diagnóstico se dividen en signos visuales y hallazgos radiográficos.

- **Signos visuales:** Presencia y grado de movilidad y/o desplazamiento del segmento coronal de la raíz, posible decoloración de la corona (roja o grisácea) y sensibilidad a la percusión (Flores y cols., 2006).

Se debe registrar la vitalidad pulpar, tipo de restauración si el diente la posee, presencia, tipo y grado de dolor, presencia o ausencia de exudado y/o tracto fistuloso, además de evaluar la presencia de un saco periodontal estrecho y profundo en un solo sitio del diente (Cohen y cols., 2003).

El test de sensibilidad pulpar como el test eléctrico o el test del frío determinan la condición de la pulpa. Inicialmente, pueden dar resultados negativos, indicando daño pulpar transitorio por lo que se recomienda monitorear el estado pulpar (Flores y cols., 2006). Un test de sensibilidad positiva indica un riesgo significativamente reducido de necrosis pulpar tardía. Este test es usualmente negativo para las fracturas radiculares excepto para los dientes con desplazamientos menores y es una prueba importante para evaluar el riesgo de complicaciones de la cicatrización.

El examen clínico convencional debe complementarse con test de mordida, transiluminación y otros. Aun así, se ha indicado que es virtualmente imposible detectar fracturas dentarias verticales no desplazadas en un examen clínico (Mora y cols., 2007). Debido a que los métodos convencionales clínicos y radiográficos pueden resultar insuficientes para conseguir un diagnóstico más preciso y, en el caso de las fracturas radiculares verticales, cuando se sospecha fuertemente de su existencia pero no puede confirmarse por las técnicas complementarias mencionadas y la sintomatología del paciente aún persiste, se utiliza el único método definitivo para determinar la presencia de una fractura radicular vertical: la **exploración quirúrgica** (Cohen y Hargreaves, 2008; Varshosaz y cols., 2010).

Consiste en el levantamiento de un colgajo de espesor total a través de una incisión sulcular con el objetivo de visualizar directamente el hueso y la superficie radicular con alta magnificación e iluminación, con ayuda de un microscopio endodóntico (Cohen y cols., 2003; Cohen y Hargreaves, 2008; Edlund y cols., 2011). Normalmente, sólo se necesita un colgajo pequeño ya que una vez que éste se levanta, si existe una fractura radicular vertical, ésta suele verse con facilidad una vez que se extirpa el tejido de granulación que la recubre. En muchas ocasiones existe una dehiscencia ósea sobre la fractura. La utilización de la exploración quirúrgica resulta

especialmente útil para maximizar la iluminación y visualización de estos defectos (Cohen y Hargreaves, 2008).

La cirugía exploratoria puede identificar fracturas radiculares verticales difíciles de diagnosticar radiográficamente así como también perforaciones radiculares. La fractura es diagnosticada cuando se observa directamente la separación de los fragmentos o cuando las líneas de fractura son más oscuras que los tejidos dentarios adyacentes. En casos donde el diagnóstico es cuestionable, la superficie radicular es teñida con azul de metileno y lavada con suero fisiológico. Al examen visual, una línea azul oscura indica la fractura (Yousseffzadeh y cols., 1999). Una vez que se establece el origen del fracaso, pueden emplearse algunos procedimientos para la corrección del problema (pulido de la superficie radicular cuando no hay separación de fragmentos) o se recurre a la amputación de la raíz problema en dientes multiradicales o a la exodoncia (Edlund y cols., 2011). Los pacientes en los cuales no es posible localizar la fractura, se someten a controles periódicos.

Debido a que las fracturas radiculares verticales frecuentemente necesitan de la extracción dentaria, la exposición quirúrgica es utilizada para corroborar un diagnóstico tentativo que se ha inferido a partir de varias observaciones no quirúrgicas. Sin embargo, la decisión de realizar una exploración quirúrgica debe ser tomada razonablemente y no puede considerarse una opción cuando la evidencia no quirúrgica indique la presencia de la fractura (Pitts y Natkin, 1983). Lamentablemente, no existe sustituto para la visualización directa si el diagnóstico permanece cuestionable aún después de realizar la exploración quirúrgica (Cohen y cols., 2003; Edlund y cols., 2011).

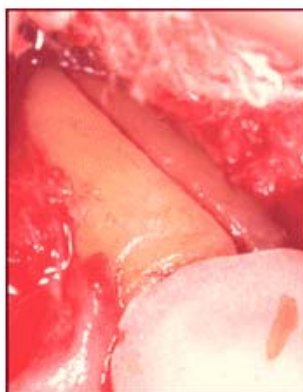


Figura 4: Cirugía exploratoria. Vista vestibular de fractura radicular vertical diente 2.3.

La ventaja de la cirugía exploratoria es la posibilidad de observar en forma directa y, en teoría, sin mayores inconvenientes la línea de fractura en la raíz. Sin embargo, parece ser que las desventajas o inconvenientes son algo mayores en número. Realizar este tipo de intervención quirúrgica implica costos económicos y de tiempo, además de generar discomfort al paciente en relación a la herida quirúrgica que debe ser controlada hasta su completa cicatrización. Para efectuarla es necesario realizarla en pabellón o bajo las mayores condiciones de asepsia posible, contando con todo el instrumental e insumos necesarios, además del tiempo que implica realizar el procedimiento que va a depender de la destreza del clínico y las condiciones anatómicas de la zona a intervenir.

Se debe recalcar que debe iniciarse la cirugía exploratoria sólo después que se han descartado las posibles causas del problema o cuando no ha sido posible solucionarlo sin intervención (Pitts y Natkin, 1983).

- **Hallazgos radiográficos.**

Se recomienda realizar exposiciones periapicales, oclusales y excéntricas. Las fracturas en el plano horizontal de la raíz pueden usualmente ser detectadas en las radiografías ortocéntricas del diente, principalmente cuando la fractura es en el tercio cervical de la raíz.

Si el plano de la fractura es más vertical, lo que es común en las fracturas del tercio apical, una proyección oclusal demostrará el rasgo de fractura (Flores y cols., 2006). Cuando la fractura se encuentra en un estado temprano, es posible observar un ensanchamiento del espacio periodontal lateral a la raíz. A medida que el tiempo avanza, es posible observar una radiolucidez en forma de “halo” a un lado de la raíz que puede llegar a rodearla completamente lo que indica que los fragmentos radiculares se han separado completamente. Puede observarse también pérdida ósea vertical localizada y la separación de fragmentos (Cohen y cols., 2003).

Cuando clínicamente se observa exudado y una fístula, se inserta un cono de gutapercha por la fístula y se toman radiografías para seguir el recorrido del tracto fistuloso. Si se observa que el cono hace un recorrido paralelo al espacio del ligamento periodontal, se sospecha de fractura radicular vertical (Cohen y cols., 2003).

Pronóstico.

En el caso de las fracturas radiculares verticales, el pronóstico frecuentemente es malo y se indica la exodoncia debido a los profundos defectos periodontales y a la pérdida de hueso localizada que se presenta (Kawai y cols., 2002).

Tratamiento.

El tratamiento en la mayoría de los casos es la exodoncia. En el caso de dientes multiradiculares con un aparato de inserción sano, podría evaluarse la posibilidad de una radectomía de la raíz afectada con el objetivo de mantener el diente en boca.

Algunos autores han sugerido un tratamiento alternativo para dientes uniradiculares con fracturas verticales que consiste en la adhesión de los fragmentos vía conducto radicular o externamente a través de la exodoncia del diente, aplicación de un adhesivo en base a resina en los fragmentos radiculares y reimplantación del diente (Kawai y cols., 2002). Los estudios realizados han sido exitosos, sin embargo, aún no hay estudios a largo plazo que confirmen los resultados (Sugaya y cols., 2001).

IC. Sensibilidad y especificidad en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales.

Las fracturas radiculares verticales completas o incompletas constituyen un gran problema en odontología debido a su difícil diagnóstico en las etapas iniciales, por lo tanto, los datos epidemiológicos de este tipo de fractura son muy importantes. En la mayoría de los casos, la exodoncia es el único tratamiento razonable cuando la fractura es finalmente detectada ya que el pronóstico es desfavorable (Cohen y cols., 2003; Majorana y cols., 2002).

Clínicamente, pueden ser mal diagnosticadas como subluxaciones o luxaciones debido a la sintomatología que presenta el paciente. No existen datos certeros acerca de la sensibilidad del diagnóstico clínico de las fracturas radiculares ya que el diagnóstico real clínicamente sólo se obtiene con la observación directa de la línea de fractura a través de una cirugía exploratoria (Mora y cols., 2007). Radiográficamente, si las angulaciones no son las correctas la línea de fractura puede pasar desapercibida por el clínico. Deben complementarse ambos exámenes, el clínico y el imagenológico para llegar a un diagnóstico correcto, ya que sólo de esta manera se asegura un tratamiento con el mejor pronóstico (Iikubo y cols., 2009; Majorana y cols., 2002).

Para el examen radiográfico se recomienda tomar varias proyecciones en variados ángulos: una proyección con angulación horizontal de 90°, con el rayo central atravesando el diente en cuestión (ortocéntrica), proyección oclusal y proyección lateral desde mesial o distal del diente afectado (deslizamiento mesial y/o distal) (Flores y cols., 2006).

La superimposición de estructuras adyacentes limita la sensibilidad de las radiografías para la detección de fracturas radiculares longitudinales (Bernardes y cols., 2009).

Con respecto a la sensibilidad y especificidad de la radiografía convencional para la detección de fracturas radiculares longitudinales, se han observado valores de 23% para la sensibilidad y de 70% para la especificidad. Es posible observar una línea de fractura radicular en una radiografía convencional sólo en un 37.5% de los casos (Yousseffzadeh y cols., 1999).

Debido a que las fracturas radiculares comprometen frecuentemente otros tejidos como hueso y tejidos blandos, su tratamiento es multidisciplinario, requiriendo compromiso de las especialidades de cirugía, ortodoncia, operatoria y prótesis, siendo esencial el seguimiento periódico (Majorana y cols., 2002).

II.- Diagnóstico imagenológico de las fracturas radiculares.

La observación radiográfica es uno de los factores más útiles en el diagnóstico y planificación del tratamiento de las fracturas radiculares ya que provee información sobre su existencia, tipo y ubicación. La radiografía intraoral es la modalidad de imagen más ampliamente utilizada para detectar fracturas radiculares (Iikubo y cols., 2009).

Durante años, se ha utilizado la imagenología convencional para complementar la información clínica a través de técnicas intraorales retroalveolares, oclusales y panorámicas.

La radiografía convencional es ideal para examinar estructuras dentarias como coronas, raíces y estructuras adyacentes; sin embargo, aparecen dificultades en el diagnóstico de fracturas radiculares y reabsorciones radiculares internas y externas con este tipo de radiografía (Bernardes y cols., 2009).

La introducción de la radiografía digital permitió digitalizar la información radiográfica y obtener ventajas sobre las películas convencionales como la reducción de las dosis de radiación, reducción de los tiempos, reducción de contaminación ambiental, eliminación de costos y beneficios en el flujo de trabajo (Kamburoglu y cols., 2009).

II A. Técnicas intraorales retroalveolares.

Son utilizadas junto con las técnicas oclusales en el diagnóstico de las fracturas radiculares. Cada técnica tiene objetivos e indicaciones precisas, además de parámetros individuales con respecto a la posición de la cabeza del paciente, de la película y angulación y dirección del rayo central. Sin embargo, idealmente toda técnica debe reproducir en la placa radiográfica una imagen fiel a la realidad. Para ello, se han desarrollado normas que se conocen como “Leyes de la Proyección” que describen la relación entre la posición de la película, el cuerpo a radiografiar y el haz de rayos X (Urzúa, 2005).

Leyes de Proyección (Urzúa, 2005).

1. La distancia foco-objeto debe ser máxima. El objetivo es lograr rayos más paralelos ya que la divergencia del haz de rayos X provoca distorsiones en el tamaño del objeto. Esta ley pretende reducir al máximo esta distorsión por amplitud, que provoca contornos más difusos en la imagen.



Figura 5: Imagen obtenida al tener una distancia foco-objeto máxima (Urzúa, 2005).

2. La distancia objeto-película debe ser mínima. La película debe estar lo más íntimamente adosada posible al cuerpo a radiografiar para que la imagen obtenida sea lo más próxima al tamaño real del objeto (más isométrica). Si no se respeta esta condición, la divergencia del haz de rayos provocará una distorsión por amplitud lo que se traduce en una imagen aumentada de tamaño y más difusa.

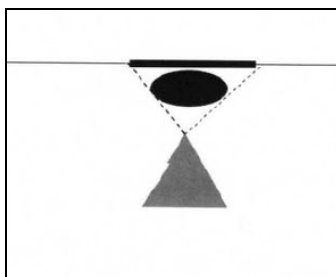


Figura 6: Imagen obtenida al tener una distancia foco-objeto pequeña (Urzúa, 2005).

3. El rayo central debe ser perpendicular al eje mesiodistal de los dientes a radiografiar y pasar por el centro de ellos. Al aplicar esta ley se obtiene una imagen sin distorsión lateral. Si el haz de rayos X no se dirige perpendicular al eje mesiodistal del o de los cuerpos a radiografiar, se forman imágenes desplazadas en sentido lateral lo que se denomina “distorsión lateral”. La técnica del deslizamiento se basa en esta ley.

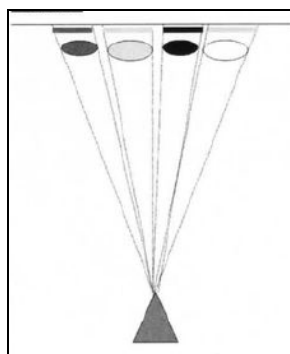


Figura 7: Haz de rayos X dirigido perpendicular al eje mesiodistal del objeto a radiografiar, lo que produce imágenes sin distorsión lateral (Urzúa, 2005).

4. La película y el cuerpo a radiografiar deben permanecer paralelos. Este paralelismo se debe dar en sentido mesiodistal y en el eje mayor del diente. Cuando tanto el objeto a radiografiar como la película no están paralelos en su eje mayor, forman entre ellos un ángulo, lo que puede originar tres distorsiones antagónicas:

a) Cuando el cuerpo a radiografiar y el plano de proyección no están paralelos en su eje mayor y el rayo central se dirige perpendicular a la película, se producirá una distorsión vertical, con la formación de una imagen acortada o en escorzo.

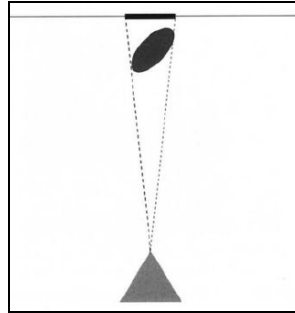


Figura 8: Imagen en escorzo, película y objeto no paralelos. Rayo central dirigido perpendicular a la placa radiográfica o plano de proyección (Urzúa, 2005).

b) Cuando el cuerpo a radiografiar y el plano de proyección no están paralelos en su eje mayor y el rayo central se dirige perpendicular al objeto, se producirá una distorsión vertical con la formación de una imagen elongada.

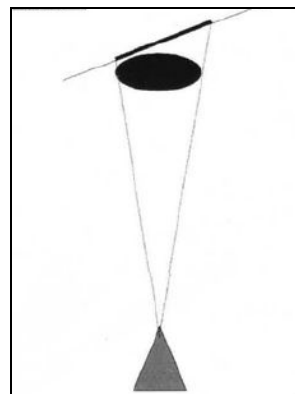


Figura 9: Película no paralela al eje mayor del objeto a radiografiar (Urzúa, 2005).

c) Si la película no está paralela al eje mesiodistal de las piezas dentarias y el rayo central se dirige perpendicular al eje mesiodistal de los dientes a radiografiar, se producirá una distorsión lateral.

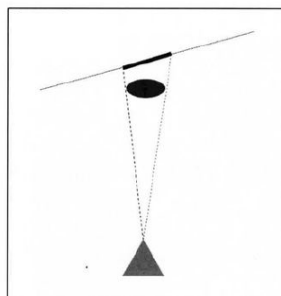


Figura 10: Película no paralela al eje mesiodistal del objeto a radiografiar. Distorsión lateral (Urzúa, 2005).

5. Ley de Cieszynski o de la isometría. Dada la anatomía de los maxilares, en la mayoría de los casos no se puede cumplir con el paralelismo diente-película, principalmente en el maxilar debido a la curvatura del paladar. Para el caso específico de la técnica retroalveolar periapical se ha agregado esta ley la cual se basa en el teorema de los triángulos iguales para obtener una imagen lo más fiel posible en cuanto al tamaño real y evitar distorsiones verticales. Se debe trazar una línea imaginaria por el eje mayor del diente y otra por el eje mayor de la película, lo que genera un ángulo. Se debe trazar la bisectriz de este ángulo y el rayo central debe ser perpendicular a ésta. La ley de Cieszynski dice “El rayo central debe ser perpendicular a la bisectriz del ángulo formado por el eje mayor del diente y la película, pasando por el ápice del diente”.

Si al practicar una técnica retroalveolar periapical no se respeta esta ley, pueden suceder dos situaciones: se forma una imagen acortada ya que el rayo central se dirige perpendicularmente al eje mayor del plano de proyección o se produce una imagen elongada si el rayo central se dirige perpendicularmente al eje mayor del diente.

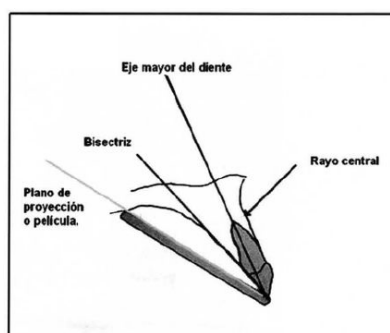


Figura 11: Ley de Cieszynski (Urzúa, 2005).

Técnica retroalveolar periapical o de la bisectriz.

El objetivo de esta técnica es obtener una radiografía en la que se observe en forma completa el diente y las estructuras vecinas. Si se respetan las Leyes de la Proyección esta técnica entrega imágenes de un tamaño bastante aproximado a la realidad. Se pueden apreciar patologías que afecten a la corona y a la raíz, reconocer anatomía radicular y de los conductos, detectar alteraciones en la línea periodontal y lesiones en el tejido óseo periapical. Aquellas lesiones que no puedan visualizarse completamente, deben complementarse con otras técnicas (Urzúa, 2005).

Con respecto a la posición del paciente, en el caso del maxilar superior, el plano bipupilar debe estar paralelo al piso, al igual que el plano oclusal.

Para el maxilar inferior, la cabeza debe encontrarse en posición vertical y la línea imaginaria que va desde el tragus a la comisura labial debe estar paralela al piso. De esta forma, cuando el paciente abra la boca, el plano oclusal inferior será paralelo al piso.

La película se posiciona verticalmente en los dientes anteriores y horizontal en los posteriores, bien adosada a las caras palatinas o linguales, sobresaliendo aproximadamente 5 mm de las coronas. El diente a examinar debe centrarse en la película. El paciente ayuda a la estabilización de la película dentro de la boca con su dedo pulgar para los dientes superiores y con el dedo índice para los inferiores. Posteriormente y desde la zona a radiografiar se posiciona el cilindro focalizador en la posición y angulación adecuadas.

La angulación del rayo central dependerá de la ubicación del diente a radiografiar. La dirección debe ser perpendicular al eje mesiodistal de el o los dientes a radiografiar para evitar la distorsión lateral y la superposición de las caras proximales. Se debe respetar la ley de Cieszynski para evitar distorsiones verticales. Cuando el diente se vea elongado, debe aumentarse la angulación del rayo central para corregir la distorsión y lo contrario, cuando la imagen se vea acortada.

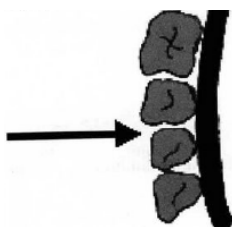


Figura 12: Rayo central perpendicular a los dientes a radiografiar (Urzúa, 2005).

Basado en la Ley de Cieszynski se han determinado ángulos verticales promedios para cada área a radiografiar, los cuales servirán de guía para la mayoría de los pacientes. Se toma como 0° el plano oclusal, asignándose a partir de ahí las angulaciones. Para los dientes del maxilar las angulaciones serán positivas, y para los de la mandíbula, negativas. Sin embargo, dependerá de la anatomía de cada paciente la angulación del rayo central que se aplique.

Las angulaciones promedios para el maxilar superior son: incisivos superiores 40°; caninos, entre 45° y 50°; premolares 35° y molares, entre 25° y 30°. Para el maxilar inferior, los incisivos -15°; caninos -20°; premolares -10° y molares -5°.

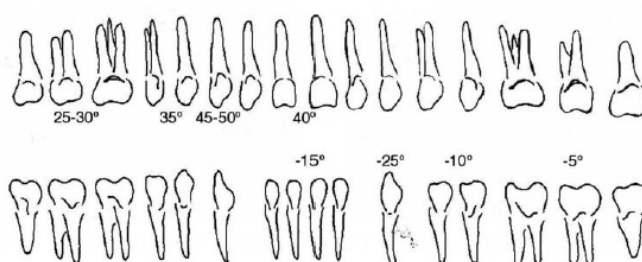


Figura 13: Angulaciones verticales promedio para radiografías con la técnica periapical (Urzúa, 2005).

Técnica de deslizamiento o desplazamiento horizontal.

Esta técnica aprovecha la divergencia de los rayos X. Al variar la posición del rayo central en sentido horizontal, las imágenes de los cuerpos más alejados de la película se desplazan más y todas aquellas más próximas se desplazan menos.

Para esta técnica se deben tomar 2 películas periapicales, una centrada en la zona a radiografiar y la otra, con el tubo desplazado a mesial o distal. Las imágenes de las estructuras más próximas a la película (palatino o lingual) se desplazarán en el mismo sentido en que se mueva el tubo y las imágenes más alejadas de la película (vestibular) se desplazan en sentido contrario al movimiento del tubo. Por lo general el deslizamiento se realiza hacia mesial, pero el resultado no varía si se hace a distal.

Esta técnica se indica para localizar dientes incluidos, ubicar conductos radiculares y para identificar fracturas radiculares en casos de traumatismos o en dientes coronados con anclaje en el conducto. En caso de traumatismos dentoalveolares permite diferenciar rasgos de fracturas radiculares de rasgos de fracturas óseas. Se debe determinar si la línea radiolúcida que se sobreproyecta sobre

alguna parte de la porción radicular corresponde a una fractura ósea o radicular. En el caso de una fractura radicular, la línea permanecerá sobre la porción radicular.

Técnicas radiográficas oclusales.

En estas técnicas la película se ubica entre las caras oclusales superiores e inferiores, siendo levemente presionada por los dientes del paciente. Permite visualizar una zona más amplia de la que se observa con la película retroalveolar. Proporciona amplio rendimiento para estudiar lesiones de tamaño mediano, su relación con dientes vecinos y se utiliza como complemento en caso de traumatismos dentoalveolares. Existen varias técnicas oclusales, cada una con indicaciones precisas.

II B. Radiografía panorámica.

La radiografía panorámica es un tipo de examen imagenológico que permite observar todas las estructuras dentarias y máxilofaciales en una imagen plana. Como ventajas se describe la posibilidad de registrar el complejo maxilofacial de forma bilateral, rapidez y comodidad de la técnica, baja radiación y costo moderadamente bajo para el paciente.

El equipo panorámico combina el desplazamiento de un haz de radiación estrecho con el desplazamiento de la película radiográfica y a su vez, desplaza el centro de rotación en forma coordinada, generando una imagen plana de un arco o área en foco, donde están las arcadas dentarias y zonas vecinas. Para lograr el haz de radiación el equipo utiliza un colimador primario que está próximo a la fuente de emisión o tubo. Este colimador tiene la forma de una fina ranura en una placa de plomo. El rayo central generalmente tiene una angulación de abajo hacia arriba de 5°.

Las estructuras que están fuera del área en foco se observarán borrosas y distorsionadas, especialmente en sentido horizontal. Este concepto cobra importancia en el estudio de rasgos de fractura con radiografías panorámicas; en caso de traumatismo dentoalveolar debe complementarse con radiografías intraorales. Por otra parte, los valores de sensibilidad y especificidad de esta técnica no han sido estudiados en relación al traumatismo dental, por lo que se indica en casos de sospecha de fractura de maxilar o mandíbula o cuando se encuentra un problema articular (Andreasen y cols., 2007).

Los equipos panorámicos determinan en su mayoría una magnificación constante de la imagen que va entre 1.20, 1.25 o 1.3 lo que determina el aumento de

tamaño en la imagen radiográfica de un objeto dado en forma equivalente en sentido horizontal y vertical, manteniendo sus proporciones.

Las bajas dosis de radiación que posee, no superan las de 4 radiografías retroalveolares gracias a la utilización de un generador de rayos de potencial constante, una estrecha colimación y al uso de pantallas intensificadoras de tierras raras.

Limitaciones de la imagenología convencional.

La detección radiográfica de una fractura con las técnicas imagenológicas convencionales es complicada ya que es altamente dependiente de la orientación de la fractura, del estado de destrucción del hueso, de la localización de las líneas de fractura y del posicionamiento geométrico tanto del tubo de rayos X como de la película y del diente. Si el haz de rayos no es paralelo al plano de la fractura, no se apreciarán signos radiográficos de ella. Además, las radiografías presentan una imagen en un solo plano lo que conlleva la pérdida de detalles finos, como por ejemplo, una línea de fractura. Con respecto a este punto, se señala que aunque la radiografía retroalveolar y la panorámica producen detalles aceptables en la dirección mesiodistal, la observación de detalles en la dimensión bucolingual es inadecuada (Tsurumachi y Honda, 2007).

Otra limitante de la imagenología convencional es la sobreposición de estructuras anatómicas lo que dificulta la detección precisa de áreas radiolúcidas y sobretodo de las fracturas radiculares longitudinales (Bernardes y cols, 2009). Algunas lesiones no son visualizadas en las radiografías cuando están confinadas dentro del hueso esponjoso (Kawamura-Hagiya y cols., 2008).

La incapacidad de las técnicas radiográficas convencionales para visualizar adecuadamente las estructuras anatómicas y alteraciones patológicas de ellas llevó a la necesidad de desarrollar y estudiar sistemas imagenológicos alternativos como la Tomografía Convencional desarrollada por Hounsfield y Cormack a partir de 1972. Esta técnica se define como la "irradiación de un cuerpo determinado con rayos X colimados, desde diferentes ángulos y en un mismo plano", lo que es capaz de producir imágenes en diferentes planos, eliminando la superposición de estructuras anatómicas y logrando la observación tanto de tejidos blandos como estructuras óseas. Las limitaciones pueden ser la generación de imágenes borrosas, degradación de contraste y la magnificación de la imagen resultante, entre otras (Urzúa, 2005).

II C. Tomografía Computarizada (TC).

Desde su creación la tomografía radiográfica posee un amplio uso y actualmente es una de las técnicas imagenológicas esenciales en la radiología médica, siendo un complemento clásico a la radiografía panorámica en muchas áreas.

La tomografía computarizada es una técnica de adquisición de imágenes que combina el uso de rayos X y la tecnología computacional dirigiendo el haz de rayos X desde diferentes ángulos para obtener imágenes de sección axial del objeto analizado (imágenes bidimensionales). Estas imágenes son reconstruidas y luego reformateadas en diferentes planos (axial, coronal y sagital) o como una imagen tridimensional (3D). Tanto los tejidos blandos como los tejidos duros pueden ser observados con gran detalle (Bernardes y cols., 2009; Patel, 2009).

En contraste al proceso clásico de radiología, donde un corte simple es proyectado pero todas las otras capas se superponen en la imagen deseada, el procesamiento de la imagen digital de la tomografía computarizada permite el uso de algoritmos de reconstrucción apoyados por computador para generar cortes de imágenes sin superimposiciones lo que se ha logrado a través del desarrollo progresivo de la tecnología de detectores, la reconstrucción matemática y la reducción de la exposición a radiación.

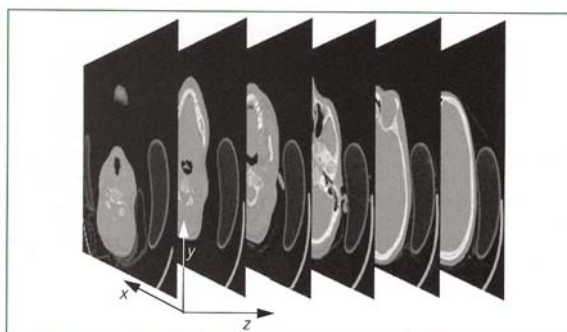


Figura 14: Imagen de Tomografía Computarizada (Zöller y Neugebauer, 2008).

Esencialmente, los equipos de tomografía computarizada consisten en un gantry que contiene el tubo de rayos X y los detectores recíprocos que rotan sincrónicamente alrededor del paciente o bien los detectores están posicionados como un anillo continuo alrededor del paciente y sólo la fuente de rayos X se mueve dentro del gantry (Patel, 2009). El paciente se ubica recostado en una camilla que ingresa al gantry para realizar el examen tomográfico.



Figura 15: Modelo de equipo de Tomografía Computarizada (Zöller, 2008).

El equipo genera radiación, la cual, al atravesar un cuerpo determinado, llega en forma atenuada al sistema de receptores o detectores los cuales generan una señal eléctrica de bajo nivel, relacionada con la cantidad de radiación residual recibida. Esta señal es cuantificada, amplificada y transformada en una señal digital que es enviada al computador para su procesamiento y reconstrucción de los datos en una imagen tomográfica computarizada a través de distintos softwares. Las imágenes formadas pueden ser modificadas y manipuladas según la necesidad del operador, con las opciones de ser transformadas en filmes o archivadas en discos ópticos o CDs (Zöller y Neugebauer, 2008).

Los datos obtenidos por los detectores producen un perfil atenuado del corte en particular del cuerpo que está siendo examinado. Una vez que el corte es tomado, el paciente es movido dentro del gantry ligeramente para que el siguiente corte sea adquirido, repitiéndose el proceso hasta que el área de interés sea escaneada completamente (Patel, 2009).

Los principios para la reconstrucción de imagen pueden explicarse usando el diseño simple de un aparato de haz paralelo. Un movimiento de escaneado lineal se requiere en este tipo de escaneado simple. La intensidad medida en el detector depende sólo del ángulo de proyección y de la posición momentánea del sistema de medida durante el escaneado lineal, y obviamente de la intensidad de la radiación no atenuada. El camino del haz a través del objeto es usado como el camino de integración (Urzúa, 2005).

Con una posición predefinida del foco y detector, la distribución de la intensidad medida del haz de rayo X que pasa a través del objeto sólo provee información de la suma de todas las atenuaciones que el haz electromagnético ha incidido en el objeto.

Cada punto del objeto debe contribuir a muchas medidas independientes para permitir la computación de un valor de atenuación de la radiación para este punto 2D específico usando la reconstrucción de imagen.

Los planos de referencia básicos utilizados en la Tomografía Computarizada son axial u horizontal, coronal y sagital. La Tomografía Computarizada permite obtener cortes axiales y coronales del cráneo además de reconstrucciones multiplanares, que permiten obtener imágenes en múltiples planos a través de softwares de reconstrucción.

Las imágenes se observan con diferentes tonalidades de grises (entre blanco y negro). Cada pixel representa los valores atenuados de los tejidos explorados. Estos valores se miden en unidades Hounsfield (HU), tomando como referencia los valores del aire y agua que son -1000 (negro) y 0 (gris) respectivamente. El hueso cortical (blanco) presenta un valor de +1000 (Urzúa, 2005).

Durante las últimas décadas ha habido avances considerables en la tecnología de la tomografía computarizada. Aparecieron los **Tomógrafos Computarizados "Multicortes" (MSCT)** que poseen un conjunto de detectores múltiples, lo que permite tomar en forma simultánea cortes múltiples ya que tanto la fuente de rayos X como los detectores dentro del gantry rotan alrededor del paciente el cual, simultáneamente, avanza en el gantry. Esto resulta en tiempos de escaneado más cortos y reducción de exposición a radiación del paciente. Posteriormente, los datos son reformateados para obtener imágenes tridimensionales e imágenes multiplanares que pueden ser vistas en el plano que el operador elija (axial, coronal o sagital), sin tener que exponer al paciente a nueva radiación. El intervalo entre cada corte también puede ser variado; los cortes aproximados resultarán en mejor resolución pero en un incremento en la dosis de radiación del paciente.

Además de las imágenes tridimensionales, la tomografía computarizada tiene otras ventajas sobre la radiografía convencional. Estas incluyen la eliminación del enmascaramiento por estructuras anatómicas adyacentes (anatomical noise) y la resolución de alto contraste, permitiendo la diferenciación de tejidos con menos de 1% de diferencia de densidad, en contraste con el 10% de diferencia de densidad que es requerida con la radiografía convencional (Urzúa, 2005).

Dentro de las desventajas de la Tomografía Computarizada se cuenta la alta dosis de radiación efectiva para el paciente comparada con la radiografía convencional, el alto costo del equipo, los artefactos producidos debido a objetos metálicos, la resolución espacial relativamente baja comparada con las radiografías convencionales, dificultad para visualizar lesiones incipientes y el hecho de que estos equipos por su

costo y tamaño, generalmente sólo pueden ser encontrados en lugares especialmente dedicados a la radiología, por ejemplo, hospitales, por lo que el acceso es limitado (Bernardes y cols., 2009). Para sortear las limitaciones de la Tomografía Computarizada convencional, Arai y cols. en 1997 desarrollaron el Sistema de Tomografía Computarizada tipo Cone Beam (TCCB) y lo adaptaron para aplicaciones odontológicas.

II D. Tomografía Computarizada Cone Beam (TCCB).

Se creó a través de la modificación de un equipo convencional existente (Scanora, Soredex), cambiándolo a un equipo llamado ORTHO CT con un campo de visión más pequeño (FoV, "Field of View"), alta resolución y baja dosis. Este aparato, posteriormente se hizo conocido como Accuitomo 3DX (Morita Ko., Kioto, Japón) (Bernardes y cols., 2009).

La tomografía computarizada Cone Beam, llamada también tomografía de volumen digital, es un sistema de imagenología extraoral desarrollada con el objeto de producir imágenes del esqueleto máxilofacial que serán reconstruidas tridimensionalmente con dosis de radiación considerablemente menores que la tomografía convencional (Patel, 2009). Difiere de ella en que el volumen total de datos tridimensionales es adquirido en el curso de una rotación simple del escáner, usando una relación directa entre el sensor y la fuente de radiación. Dependiendo del tipo de equipo de Cone Beam utilizado, la fuente de rayos X y el detector rotan entre 180° y 360° sincrónicamente alrededor de la cabeza del paciente. A diferencia de los tomógrafos convencionales, la mayoría de los equipos Cone Beam posicionan al paciente sentado o de pie.



Figura 16: Tecnología Cone Beam (Zöller y Neugebauer, 2008).

El equipo se compone de un brazo rotacional en forma de C, similar al equipo panorámico. Este brazo rota alrededor de la cabeza del paciente y los datos captados son transferidos a un computador donde son reconstruïdos. El tamaño del voxel puede variar de 0.125 a 2000 mm. La reconstrucción multiplanar despliega el volumen en alta resolución en los 3 planos (sagital, coronal y axial), con poca interferencia de artefactos (Bernardes y cols., 2009).

El haz de rayos X tiene forma cónica (de allí el nombre del equipo) y captura un volumen de datos cilíndrico o esférico, descrito como “campo de visión” (Field of View, FoV) cuyo tamaño es variable dependiendo del tipo de Cone Beam utilizado. Los de gran volumen (i-CAT; Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA y NewTom 3G, QR, Verona, Italia) son capaces de capturar el esqueleto máxilofacial completo. Otros permiten ajustar la altura del campo de visión para capturar sólo la maxila o la mandíbula (i-CAT), lo cual tiene la ventaja de reducir la dosis de radiación del paciente. Los de volumen limitado (3D Accuitomo, J Morita Corporation, Osaka, Japón) pueden capturar un volumen de datos de 40 mm de altura por 40 mm de diámetro, similar a la radiografía periapical.

El tiempo de escaneado usualmente va de 10 a 40 segundos, dependiendo del Cone Beam usado y de los parámetros de exposición seleccionados. El haz de rayos X es pulsátil, por lo tanto, el tiempo de exposición real es sólo una fracción (2 a 5 segundos), resultando en más de 580 “mini exposiciones” individuales o “imágenes de proyección” durante el curso del escaneado lo que contrasta con la exposición continua de la tomografía computarizada convencional.

El equipo Cone Beam consta de 4 componentes básicos:

- El tubo de rayos X, genera la radiación X
- El generador, provee energía al tubo de rayos X
- El detector, convierte la radiación X en una señal de imagen después de pasar a través del paciente
- El equipo, une el tubo, el paciente y el detector entre sí



Figura 17: Diferentes modelos de Cone Beam: a) i-CAT; b) Accuitomo; c) Galileos (Zöller y Neugebauer, 2008).

Las características de la radiación X generada por un tubo de rayos X pueden ser fácilmente adaptadas a los requerimientos del examen respectivo. La calidad de la radiación está determinada por el nivel del voltaje aplicado, y la intensidad depende del nivel seleccionado. Ambas cantidades pueden ser ajustadas independientemente dentro de los parámetros del tubo. Para obtener el máximo contraste para hueso, dientes y tejido blando es preferible que el rango de radiación se encuentre en el menor rango de energía (60-90 kV).

El problema principal asociado con la reconstrucción del Cone Beam es que los detalles de un objeto son desplegados en diferentes elementos del detector, dependiendo de su distancia desde el eje central de rotación del sistema. La mayor angulación del cono, la mayor contribución de detalles estructurales de otros cortes a la señal y la mayor posibilidad de incongruencias potenciales, hacen que la reconstrucción de imágenes en 3D del Cone Beam sea desproporcionadamente más complicada que su contraparte 2D.

Afortunadamente, esto no significa que la reconstrucción de imágenes sea imposible. Probablemente, el algoritmo de reconstrucción más usado por el Cone Beam es el algoritmo Feldkamp desarrollado en 1984. Es una aproximación de la reconstrucción exacta que fue desarrollada originalmente para exámenes técnicos y detectores planares. El punto de partida es el procesado independiente de cada área, definida por una línea de detectores y la fuente de radiación, como si fuera una proyección 2D. La reconstrucción de la imagen en 3D es reducida a muchas reconstrucciones 2D.

Con esta tecnología, se genera un volumen alrededor del centro rotacional del sistema. Si este volumen es pequeño, se requiere ajustar el volumen y la posición del paciente con respecto al isocentro. Por otra parte, el volumen total es obtenido desde muchas imágenes individuales tomadas durante la rotación, así como todas las otras vistas, como las presentaciones panorámicas y cortes transversales. Los cortes tomográficos, tan delgados como el grosor de un voxel (80 a 400 micrones), pueden ser desplegados en diferentes vistas y las imágenes pueden ser visualizadas en su verdadera dimensión y medidas una a una. Al abrir la imagen, ésta puede ser visualizada en los 3 principales planos ortogonales: axial, sagital y coronal. Al seleccionar y mover el cursor en una imagen, simultáneamente se altera la imagen seleccionada y reconstruida en los tres planos, permitiendo observar el área de interés dinámicamente en “tiempo real”.



Figura 18: Visualización 2D del volumen de datos del Cone Beam en los tres principales planos ortogonales. De izquierda a derecha: plano axial, plano sagital y plano coronal (Zöller, 2008).

Un aspecto relevante en la imagenología 3D es poseer un buen software ya que la enorme cantidad de datos obtenidos durante el escaneado (entre 200 y 1000 MB) sólo pueden ser visualizados a través de él. La información puede entregarse en varios niveles. El primer nivel provee una vista general panorámica; el usuario puede observar la generalidad de la patología. El segundo nivel provee las vistas de cada uno de los cortes pudiendo el usuario evaluar exactamente la extensión del proceso y su relación con estructuras vecinas.

Cada mini exposición genera una matriz de pixeles consistente en 262.144 (512 x 512) pixeles. La base de datos resultante es de 580 matrices individuales que son reconstruidas en minutos y que consisten en más de 100 millones de voxeles (512^3). Para aumentar la resolución, el número de pixeles por matriz (imagen de proyección) puede ser incrementada de 512^2 a 1024^2 . El volumen de datos tridimensionales resultante consistirá entonces en 1024^3 voxeles, siendo cada voxel, la mitad de su

tamaño original (entre los 0.08 y 0.4 mm³). Sin embargo, esta resolución mejorada conlleva a un incremento de 2 a 3 veces en la exposición a radiación (Patel, 2009).

Parámetros de escaneado.

La calidad de la imagen está influenciada por las características del objeto o paciente y por las características del equipo. Para obtener una calidad de imagen consistente con los objetos mientras se genera la menor exposición de radiación, algunos de los parámetros del equipo deben ser ajustados al paciente en forma individual.

El voltaje aplicado al tubo de rayos X determina la energía y poder de penetración del haz de rayo X. La fuerza en miliamperes de la unidad de rayos X determina la cantidad de electrones emitidos en el cátodo y de acuerdo a la cantidad de radiación. En suma, la cantidad de radiación puede estar influenciada por la duración del flujo de rayos X. Para el propósito de protección contra la radiación, debe utilizarse la menor exposición posible.

La siguiente tabla compara las dosis de radiación producidas por diferentes sistemas imagenológicos:

Modalidad de imagen	Dosis efectiva (uSv)
Ortopantomografía digital	6.2 ¹³ ; 5-14 ¹⁴
Ortopantomografía convencional	10 ¹⁵ ; 16-21 ¹⁴
Adquisición de corte transverso	3-12 ⁸
Tomografía convencional	2-9 ¹³
Cone Beam	36.3 ¹³ ; 50.3 ¹⁶ ; 105 ¹⁴
Tomografía computarizada de baja dosis	150-610 ¹⁵
Tomografía computarizada convencional	314 ¹³ ; 600 ¹⁷ ; 1270 ¹⁵

Tabla I: Dosis de radiación producida por diversos equipos imagenológicos (Urzúa, 2005).

Indicaciones de la Tomografía Computarizada Cone Beam.

La tomografía computarizada Cone Beam soluciona muchas limitaciones de la radiografía convencional. Los cortes pueden ser seleccionados para evitar el enmascaramiento por estructuras anatómicas adyacentes. Por ejemplo, las raíces de los dientes maxilares posteriores y sus tejidos periapicales pueden ser visualizados en forma separada y en todos los planos ortogonales sin la superimposición de estructuras anatómicas como la apófisis piramidal, hueso alveolar y raíces adyacentes. La relación espacial de las raíces de dientes multiradicales puede ser visualizada en las tres dimensiones y puede ser evaluado el tamaño real y naturaleza en dimensión de las lesiones periapicales.

Otras lesiones y evaluaciones que pueden ser realizadas con la tecnología Cone Beam incluyen: detección de periodontitis apical, evaluación prequirúrgica, evaluación previa y posterior a la inserción de implantes, evaluación de anatomía de los conductos radiculares y evaluación en caso de traumatismo dentoalveolar. En este último punto, la naturaleza exacta y severidad de las injurias dentoalveolares pueden ser evaluadas a partir de un escáner a partir del cual pueden seleccionarse vistas multiplanares que pueden ser evaluadas sin distorsión geométrica o enmascaramiento anatómico.

Se ha reportado que puede ser utilizado para detectar fracturas radiculares horizontales, las cuales para ser tradicionalmente detectadas necesitan de múltiples radiografías periapicales tomadas a diferentes ángulos e incluso pueden no ser detectadas. De todas maneras, la tomografía Cone Beam es una técnica extraoral mucho más comfortable para el paciente que ha sufrido un traumatismo dentoalveolar que las radiografías intraorales.

Ventajas de la Tomografía Computarizada Cone Beam.

El uso de esta tecnología entrega una serie de ventajas sobre la tomografía convencional. Los equipos son simples de usar y ocupan aproximadamente el mismo espacio que un equipo panorámico, lo que los hace aplicables a una consulta dental.

La mayor ventaja es la reducción sustancial en la exposición a radiación (Tsurumachi y Honda, 2007). La dosis efectiva varía, pero puede ser casi tan baja como la de un equipo panorámico (Patel, 2009) y considerablemente menor que un tomógrafo computarizado médico. La dosis efectiva de un ha sido reportado estar en el mismo orden de magnitud que un set radiográfico retroalveolar (Zöller y Neugebauer, 2008). Dependiendo de la indicación del examen y del tamaño del paciente, la dosis de radiación debe ajustarse para asegurar un diagnóstico con la menor radiación posible.

La reducción de la radiación es posible gracias a los rápidos tiempos de escaneo de estos equipos, al haz de rayos pulsátil que produce numerosas proyecciones y a los sofisticados sensores receptores de imágenes. Por otra parte, la dosis de radiación puede ser reducida disminuyendo el tamaño del campo de visión, aumentando el tamaño del voxel y/o reduciendo el número de imágenes de proyección tomadas cuando la fuente de rayos rota alrededor del paciente.

Otra de las ventajas mencionadas es la certeza o seguridad de reproducción. Los voxeles de la tomografía computarizada son anisotrópicos. La altura del voxel depende del grosor del corte, lo que limita la certeza de las imágenes reconstruidas en ciertos planos. En el Cone Beam, los voxeles son isotrópicos, iguales en longitud, altura y profundidad lo que permite medidas certeras geométricamente en cualquier plano.

La calidad de imagen es superior a la de los tomógrafos helicoidales en la evaluación de los tejidos duros dentarios y adyacentes como el hueso esponjoso, ligamento periodontal, lámina dura, esmalte, dentina y pulpa. Un estudio que comparó la calidad de imagen de un Cone Beam y un escáner multicorte concluyó que el Cone Beam tenía mayor resolución para detectar estructuras pequeñas de alto contraste como canales nerviosos, sin embargo, la menor exposición de los Cone Beam resulta en un pobre contraste para los tejidos blandos comparado con la tomografía convencional (Patel, 2009).

Con este sistema no hay falsas imágenes, como ocurre con los sistemas panorámicos tradicionales, donde se requiere la repetición de la imagen. El set completo de vistas en el Cone Beam puede ser corregido si es necesario. Sin embargo, al igual que los aparatos panorámicos, el paciente debe ser inmovilizado durante el escaneado para no comprometer la calidad de la imagen. En los equipos panorámicos, cualquier movimiento del paciente aparece como una desalineación de la imagen en un punto determinado al comienzo y falta de contraste después (Zöller y Neugebauer, 2008).

Limitaciones de la Tomografía Computarizada Cone Beam

Hasta el momento, las imágenes producidas con la tecnología Cone Beam no tienen la resolución de las radiografías convencionales. La resolución espacial de las películas convencionales y de los sensores digitales está en el orden de 15 a 20 pares de líneas mm^{-1} . Las imágenes de Cone Beam sólo tienen una resolución espacial de 2 pares de líneas mm^{-1} .

Un problema significativo que puede afectar la calidad de la imagen y la certeza diagnóstica de las imágenes Cone Beam es el enmascaramiento causado por las

estructuras adyacentes de alta densidad como esmalte, postes metálicos y restauraciones. Si este artefacto está muy asociado con los dientes que deben ser evaluados, las imágenes resultantes pueden ser de mínimo valor diagnóstico.

Es esencial recordar que la tomografía computarizada tipo Cone Beam utiliza radiación ionizante lo cual no la exime de riesgo. Es esencial que la exposición a radiación del paciente se mantenga tan baja como sea posible y que los criterios de selección para el uso de esta técnica estén bien justificados.

Finalmente, como los tiempos de escaneado son de 15 a 20 segundos se requiere que el paciente permanezca absolutamente quieto lo cual no es posible lograr con todas las personas.

Marcas de equipos Cone Beam comercializadas.

Existen varios tipos de equipos con tecnología Cone Beam comercializados por empresas internacionales; dentro de ellas se cuenta:

- NewTom 3G (QR, SLR, Verona, Italia)
- Galileos 3D (Sirona, Bensheim, Alemania)
- Scanora 3D (Soredex, Tuusula, Finlandia)
- Next Generation i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA)
- 3D Accuitomo-XYZ (J. Morita, Osaka, Japón)

De los anteriormente mencionados, se describirá el 3D Accuitomo-XYZ, el cual será utilizado para este estudio.

3D Accuitomo-XYZ.

Desarrollado en conjunto por la Escuela de Odontología de la Universidad de Nihon y la empresa japonesa J. Morita Mfg. Corp., el Accuitomo utiliza la tecnología Cone Beam para obtener imágenes de la región que interesa con una alta resolución, mayor a dos pares de líneas por milímetro. Fue desarrollado para ayudar en el diagnóstico de lesiones apicales, trastornos temporomandibulares, impactación de dientes e implantología.

Es un equipo pequeño en tamaño (1620 mm de ancho x 1200 mm de profundidad x 2080 mm de altura; peso 400 kg) lo que permite ser utilizado en pequeñas oficinas o consultas.



Figura 19: Equipo Accuitomo, J. Morita (Manual de Accuitomo).

El haz de rayos X es recibido por un tubo intensificador de luz de alta sensibilidad y resolución. Como el haz pasa sólo a través de una región limitada del cuerpo, el resultado es una imagen tridimensional con alta resolución pero que se obtiene con una baja dosis de radiación. El tubo usualmente entrega entre 12 – 30 uSv, lo que es equivalente a 4 exposiciones radiográficas periapicales o una exposición panorámica simple y representa sólo 1/50 de la dosis para una tomografía computarizada convencional, y la resolución es mucho mayor, 2 líneas pares por mm mínimo, lo que es 8 veces mayor que un TC convencional (Andreasen y cols., 2007).

Las imágenes obtenidas poseen un tamaño de voxel de 0.125 mm por lado, isotrópico lo que implica que no se producen distorsiones de la imagen debido al grado del corte. El grosor del corte puede ser modificado a cualquier tamaño comprendido entre 0.125 y 2 mm.

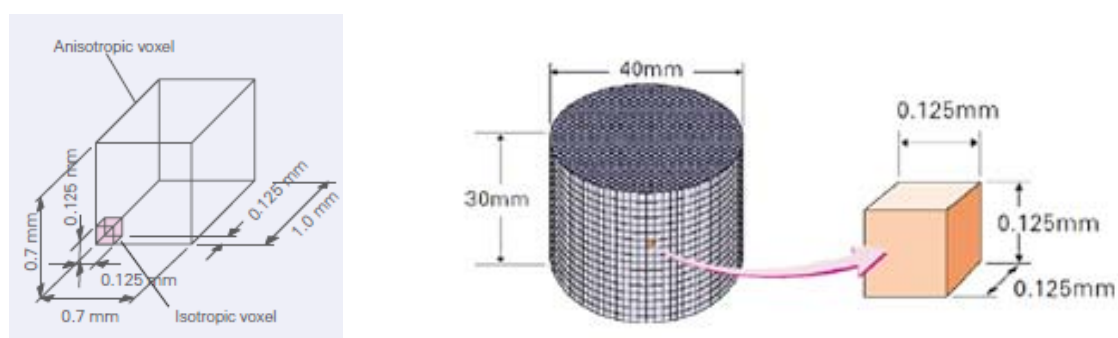


Figura 20: Tamaño de voxel utilizado en Cone Beam (Manual de Accuitomo)

Mecanismo de acción del Accuitomo.

El haz de rayos X de forma cónica irradia el intensificador de imágenes con una cámara por aproximadamente 18 segundos mientras el brazo en forma de C realiza una rotación de 360° alrededor de la región de interés. Las imágenes obtenidas sin refinar son transferidas al computador conectado al Accuitomo donde son digitalizadas y refinadas por un software especial, el i- Dixel el cual entrega la información en 2 y 3 dimensiones a través de la selección de los ángulos de corte en 1 a 2 minutos. La reconstrucción de imágenes se realiza en base a algoritmos lo que genera imágenes de alta resolución que pueden manipularse para observar la zona de interés en los 3 ejes, tal como se mencionó previamente.

Procedimiento de toma de imágenes.

El paciente se posiciona en el equipo, de pie o sentado. El área de imagen se posiciona en relación a la región de interés ajustándola a la posición del paciente, ayudándose de los rayos de luz generados. Posteriormente, se debe registrar la posición final.

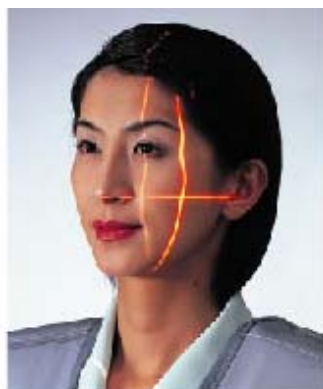


Figura 21: Rayos de luz para delimitar la zona de interés (Manual de Accuitomo).

Una vez posicionado el paciente, se debe alinear o centrar el área de interés en la pantalla. Para una posición más exacta, el equipo trae la opción de imágenes de prueba o “scout view” (vista previa). Después de reposicionar al paciente, se toman 2 imágenes coronales y sagitales para confirmar la posición.

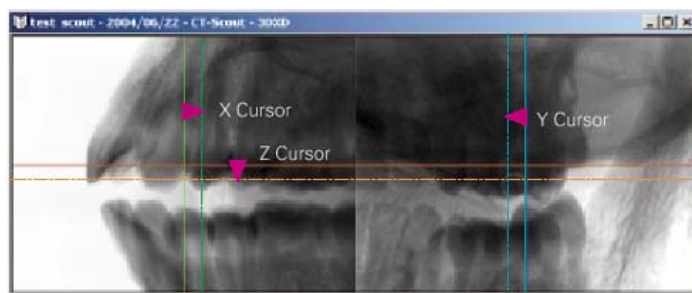


Figura 22: Imagen captada en el monitor del computador (Manual de Accuitomo).

Si la posición no es la correcta, puede ser ajustada en el computador ubicando el cursor en el centro de la región de interés en las 2 imágenes de prueba (scout view).

Al hacer funcionar el equipo, el paciente no debe moverse por el tiempo que dure la rotación del brazo, aproximadamente 20 segundos.

En relación a los parámetros de funcionamiento del equipo, el Accuitomo funciona con un voltaje de 60 a 80 kV y con un miliamperaje de 1 a 10 mA. El tamaño del punto focal es de 0.5 mm x 0.5 mm y el tamaño del área de imagen es de 40 mm de diámetro por 30 mm de altura. El tiempo de exposición es de aproximadamente 18 segundos.

Una vez realizada la exposición, los datos son transferidos al computador donde las imágenes son reconstruidas y se entregan al observador a través de los 3 planos (coronal, axial y sagital) o como reconstrucción tridimensional. El observador puede manipular la imagen en cuanto a calidad y posición a través del mismo programa computacional que le permite buscar y observar lo que necesita.

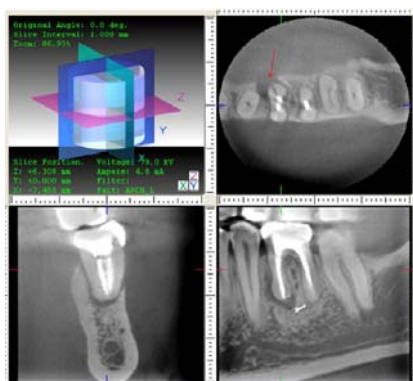


Figura 23: Imágenes obtenidas de la Tomografía Volumétrica 3D (Cone Beam). La flecha indica fractura (Bernardes y cols., 2009)

OBJETIVOS

Objetivo General:

Determinar *in vitro* la sensibilidad y especificidad del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y de radiografías periapicales en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales.

Objetivos Específicos:

1. Determinar *in vitro* la sensibilidad del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y las radiografías periapicales ortocéntrica y con deslizamiento mesial y distal en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales en dientes anteriores y posteriores.
2. Comparar la sensibilidad del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y las radiografías periapicales ortocéntrica y con deslizamiento mesial y distal en fracturas verticales en dientes anteriores y posteriores.
3. Determinar *in vitro* la especificidad del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y las radiografías periapicales ortocéntrica y con deslizamiento mesial y distal en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales en dientes anteriores y posteriores.
4. Comparar la especificidad del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y las radiografías periapicales ortocéntrica y con deslizamiento mesial y distal en fracturas verticales en dientes anteriores y posteriores.
5. Determinar la concordancia inter e intraexaminador en el diagnóstico de fracturas radiculares en el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam.
6. Determinar la concordancia inter e intraexaminador en el diagnóstico de fracturas radiculares en las radiografías periapicales ortocéntrica y con deslizamiento mesial y distal.

MATERIALES Y MÉTODO

I. Tipo de estudio.

Estudio descriptivo, *in vitro*, de sensibilidad y especificidad de pruebas diagnósticas, a doble ciego.

II. Universo y muestra.

Universo: Dientes humanos definitivos extraídos, anteriores y posteriores.

Muestra: 60 dientes humanos definitivos anteriores y posteriores extraídos por periodontitis, indicación ortodóncica o indicación protésica. Cada diente, luego de su extracción, fue almacenado en suero y posteriormente se procedió a eliminar los detritus. Posteriormente, se dividieron en 4 grupos de 15 dientes cada uno.

Cálculo del tamaño de la muestra:

Para el cálculo de la muestra se utilizó la siguiente fórmula para variables cualitativas en estudios descriptivos:

$$n = \frac{\left[Z_{1-\beta} \cdot \sqrt{\pi \cdot (1 - \pi)} + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{(\pi - \delta) \cdot (1 - \pi + \delta)} \right]^2}{\delta^2} \quad (1.1)$$

Donde:

- n : Es la de dientes a medir (tamaño de la muestra).
- δ : Es el error de estimación inferior de la sensibilidad de la prueba.
- π : Es la sensibilidad esperada de la prueba.
- α : Es el nivel de significancia utilizado en el estudio, también conocido como error tipo I, en otras palabras, la probabilidad de rechazar hipótesis que son verdaderas.
- β : Es el error tipo II, en otras palabras, la probabilidad de no rechazar hipótesis que son falsas.
- $Z_{1-\alpha}$: Es un valor teórico obtenido de la distribución normal estándar. (Percentil de la distribución que acumula el $(1-\alpha) \cdot 100\%$ de la población)
- $Z_{1-\beta}$: Es un valor teórico obtenido de la distribución normal estándar. (Percentil de la distribución que acumula el $(1-\beta) \cdot 100\%$ de la población)

El valor para el tamaño de la muestra fue de 57 dientes, valor que se aproximó para este estudio a 60 dientes.

III. Criterios de inclusión.

- Dientes anteriores y posteriores permanentes
- Extraídos por motivos periodontales, indicación ortodóncica o protésica
- Con raíz intacta, sin anomalías como fracturas, caries y reabsorción radicular
- Con ápice cerrado
- Con raíces separadas o fusionadas

IV. Unidad de estudio.

Dientes anteriores y posteriores divididos en dos grupos: con fractura radicular longitudinal y sin fractura radicular longitudinal.

V. Variable.

Presencia de fractura radicular vertical evaluada radiográfica y tomográficamente (variable nominal dicotómica)

Definición conceptual: Fractura dentaria que afecta a la raíz de un diente y, por lo tanto, involucra cemento, dentina y pulpa en sentido longitudinal.

Definición operacional: Línea radiolúcida observada en radiografías retroalveolares ortocéntricas y de deslizamiento mesial y distal o en cortes del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam que atraviesa la superficie radicular en sentido longitudinal.

VI. Plan de recolección de datos.

A todos los dientes seleccionados se les realizó apertura endodóntica a través de una fresa redonda de diamante de alta velocidad y se les eliminó con extirpadores el contenido de la cámara pulpar y del (los) conducto(s) radicular(es), los cuales además fueron ensanchados utilizando limas K y en el tercio coronal fresas Gates Glidden.

De los dientes que comprendían la muestra, se seleccionó aleatoriamente dientes para comprender el grupo prueba y dientes que comprendían el grupo control. Cada diente de cada grupo fue numerado con números ordinales y grabado su número en la raíz para posteriormente proceder a su identificación. El grupo prueba fue identificado con lápiz tinta azul y el grupo control con lápiz tinta verde. Se registró en una planilla el tipo de diente, su numeración y la presencia o no presencia de fractura radicular vertical.

Los dientes del grupo prueba fueron fracturados siguiendo el protocolo de Monaghan, el cual deposita un perno en el interior del conducto y procede a efectuar la fractura radicular vertical a través de un golpe hasta obtener sólo dos fragmentos radiculares (Monaghan y cols., 1993). Posteriormente, los fragmentos radiculares de cada diente fueron unidos nuevamente con un adhesivo en base a Poxipol (La Gotita®).

Posteriormente, un nuevo examinador procedió a montar aleatoriamente los 60 dientes en los alvéolos de una mandíbula seca, en grupos de 15 dientes. Se aplicó alginato alrededor de los dientes para semejar tejido blando. Posteriormente, se tomaron 3 radiografías periapicales de cada diente, con proyecciones ortocéntrica, deslizamiento mesial y deslizamiento distal, además de una tomografía computarizada Cone Beam de la mandíbula. En total, para los 60 dientes, se obtuvo 4 sets de radiografías y 4 Cone Beams.



Figuras 24 y 25: Dientes montados en alvéolos de mandíbula seca.

Las radiografías periapicales fueron obtenidas con una película periapical (Kodak Ultra-speed, Carestream Health Inc. Rochester, NY) usando un equipo de rayos X marca Trophy con parámetros de 60 kV y 7 mA. Las radiografías fueron obtenidas utilizando la técnica del paralelismo a través de posicionadores de película.

El tiempo de exposición para las radiografías periapicales fue de 0.504 segundos para los molares y 0.426 para premolares, caninos e incisivos.



Figura 26. Equipo radiográfico intraoral Trophy.



Figura 27. Toma de radiografías periapicales.

Las radiografías fueron procesadas en una reveladora automática (PerioMat Plus, Dürr Dental) y montadas en cartones individuales para cada diente para las tres proyecciones: deslizamiento mesial, ortocéntrica y deslizamiento distal.



Figura 28: Reveladora automática PerioMat Plus.

Para obtener las imágenes tomográficas, se procedió a montar la mandíbula junto con su cráneo seco en el posicionador del Accuitomo 3XYZ. Las imágenes 3D fueron obtenidas con los parámetros de 75 kV y 3 mA. Se obtuvieron dos imágenes previas por cada escáner para asegurar una posición óptima. El tiempo de exposición

fue de 17 segundos y la rotación del brazo fue de 360°. La reconstrucción volumétrica se llevó a cabo en el software del equipo (I-dixel, J. Morita, Kioto, Japón) con un tiempo aproximado de reconstrucción de 2 minutos. Después de la reconstrucción, las imágenes fueron grabadas en un DVD para su posterior evaluación.



Figuras 29 y 30: Equipo Accutomo 3XYZ y cráneo montado en él.

La evaluación individual de las radiografías y escáneres se llevó a cabo por 2 examinadores en forma independiente, ambos radiólogos por más de 10 años, de forma ciega, quienes registraron la presencia o ausencia de una línea de fractura en cada diente en planillas Excel diseñadas tanto para cada set de radiografías como para cada Cone Beam. Para las radiografías periapicales, los examinadores debían examinar y registrar las 3 proyecciones individualmente.

Las radiografías periapicales fueron analizadas en un negatoscopio, con control de la luz externa de la habitación. Las imágenes 3D fueron analizadas en el mismo software que presenta el equipo. Cada examinador fue capaz de alinear los tres planos en el punto de interés en cualquier plano.

Análisis estadístico.

El análisis de los datos se efectuó a través de:

- **Análisis de concordancia:** consiste en el análisis de la concordancia entre los dos observadores.
- **Análisis de sensibilidad y especificidad:** consiste en cuantificar la sensibilidad y especificidad de la Tomografía Cone Beam y las radiografías periapicales.
- **Comparación de tomografía y radiografía:** consiste en la cuantificación de índices de comparación entre la Tomografía Cone Beam y radiografías periapicales.

Para realizar el análisis es necesario tener en cuenta algunas definiciones:

Sensibilidad: es la proporción de verdaderos positivos identificados por la prueba del total de enfermos. Para el propósito de este estudio, es la proporción de verdaderos positivos identificados por la prueba, del total de dientes, con presencia de fractura radicular vertical.

Especificidad: es la proporción de verdaderos negativos identificados por la prueba del total de sanos. Para el propósito de este estudio, es la proporción de verdaderos negativos, del total de dientes, con ausencia de fractura radicular vertical.

Los **verdaderos positivos** corresponden a los resultados arrojados por la prueba en forma positiva y que realmente son positivos.

Los **falsos negativos** corresponden a los resultados arrojados por la prueba en forma negativa pero que en realidad son positivos.

Los **falsos positivos** son los resultados arrojados por la prueba de forma positiva pero que en realidad son negativos.

Los **verdaderos negativos** corresponden a los resultados arrojados por la prueba de forma negativo y que en realidad son negativos.

La sensibilidad y especificidad de las radiografías periapicales y de las imágenes 3D fueron determinadas independientemente para cada examinador y los datos obtenidos se registraron en tablas tetracóricas de 2x2, en las cuales se enfrentan los resultados de la prueba diagnóstica y el verdadero diagnóstico.

Resultado de la prueba	Verdadero diagnóstico	
	Enfermo	Sano
Positivo	Verdaderos Positivos (VP)	Falsos Positivos (FP)
Negativo	Falsos Negativos (FN)	Verdaderos Negativos (VN)

Tabla II. Tabla 2x2 de relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de una característica o enfermedad (Pita y Pértegas, 2003)

Para determinar el grado de concordancia inter e intraexaminador se utilizó el coeficiente kappa, el cual corresponde a la proporción de concordancias observadas sobre el total de observaciones, habiendo excluido las concordancias atribuibles al azar. El coeficiente kappa toma valores entre -1 y +1; mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia interexaminador. Un valor de $k=0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (Cerde y Villarroel, 2008).

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre (<i>Poor</i>)
0,01 - 0,20	Leve (<i>Slight</i>)
0,21 - 0,40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0,41 - 0,60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0,61 - 0,80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0,81 - 1,00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Tabla III: Valoración del coeficiente Kappa (Landis y Koch, 1977, citado por Cerda y Villarroel, 2008).

El Test de McNemar es un test no paramétrico para comparar proporciones que están relacionadas. El P-valor es la probabilidad que llevaría a no rechazar la hipótesis de igualdad de la sensibilidad en las dos pruebas a comparar. En la práctica, si $P\text{-valor} < 0.05$, entonces se rechaza la hipótesis nula; en caso contrario, no se rechaza dicha hipótesis.

Los programas computacionales utilizados para el análisis de los datos fueron Microsoft Excel 2007, R-Cran 2.13.1 (R Development Core Team) y Epidat 3.1.

RESULTADOS

Del total de dientes recolectados (tamaño muestral= 60), el grupo de dientes fracturados correspondió a 28 dientes y el grupo de dientes no fracturados correspondió a 32 dientes.

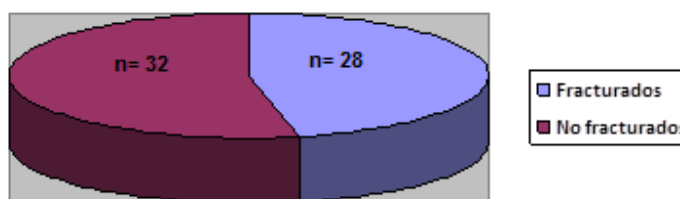


Gráfico 1: Proporción de dientes fracturados y no fracturados

Para el grupo de dientes fracturados, la distribución según el tipo de diente fue la siguiente: 6 incisivos, 4 caninos, 8 premolares y 10 molares y para el grupo de dientes no fracturados, la distribución fue: 10 incisivos, 5 caninos, 9 premolares y 8 molares.

1.1. Concordancia diagnóstico Tomografía Computarizada Cone Beam.

1.1.1. Intraexaminador.

El observador 1 diagnosticó correctamente el 81.7% de las veces, con una concordancia estadísticamente significativa (Kappa= 0.6341; P-valor= 0), por lo que los resultados entregados por este observador poseen una buena concordancia.

<i>Diagnóstico ConeBeam</i> <i>Observador 1</i>	<i>Fractura real</i>		<i>Total general</i>
	<i>No</i>	<i>Si</i>	
Sin fractura	25	4	29
Con fractura	7	24	31
<i>Total general</i>	32	28	60

Tabla III: Concordancia intraexaminador en Cone Beam, observador 1.

Por otra parte, el observador 2 diagnosticó correctamente el 51.7% de las veces, con una concordancia estadísticamente nula (Kappa= 0.0091; P-valor= 0.9409), por lo que los resultados entregados por este observador poseen una mala concordancia.

Diagnóstico ConeBeam Observador 2	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	22	19	41
Con fractura	10	9	19
Total general	32	28	60

Tabla IV: Concordancia intraexaminador en Cone Beam, observador 2.

Como primera conclusión, el observador 1 posee estadísticamente una mejor concordancia intraexaminador que el observador 2.

1.1.2. Interexaminador.

Según este análisis, los dos observadores coincidieron el 43.3% de las veces en su diagnóstico, con una concordancia estadísticamente nula (Kappa= 0.4939; P-valor= 0.3130) lo que significa que ambos examinadores poseen una mala concordancia.

Diagnóstico Observador 1	Diagnóstico Observador 2		Total general
	Sin fractura	Con fractura	
Sin fractura	18	23	41
Con fractura	11	8	19
Total general	29	31	60

Tabla V: Concordancia interexaminador en Cone Beam.

Para el análisis de las radiografías periapicales, se analizó cada angulación por separado (deslizamiento mesial, ortocéntrica y deslizamiento distal).

1.2. Concordancia diagnóstico Radiografía Periapical Mesial.

1.2.1. Intraexaminador.

El observador 1 diagnosticó correctamente el 86.7% de las veces a través de radiografías periapicales con angulación mesial, con una concordancia estadísticamente significativa (Kappa= 0.7273; P-valor= 0), por lo que estos resultados poseen una buena concordancia.

Diagnóstico Rx Mesial Observador 1	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	32	8	40
Con fractura	0	20	20
Total general	32	28	60

Tabla VI: Concordancia intraexaminador en radiografía periapical mesial, observador 1.

El observador 2 diagnosticó correctamente el 81.7% de las veces utilizando las radiografías periapicales con deslizamiento mesial, con una concordancia estadísticamente significativa (Kappa= 0.6275; P-valor= 0) por lo que sus resultados también poseen una buena concordancia.

Diagnóstico Rx Mesial Observador 2	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	29	8	37
Con fractura	3	20	23
Total general	32	28	60

Tabla VII: Concordancia intraexaminador en radiografía periapical mesial, observador 2.

Como conclusión, el observador 1 posee una mejor concordancia intraexaminador que el observador 2 para el análisis de las radiografías periapicales con deslizamiento mesial.

1.2.2. Interexaminador.

Los examinadores coincidieron el 81.7% de las veces en su diagnóstico, con una concordancia estadísticamente significativa (Kappa= 0.6024; P-valor= 0), por lo que mostraron un nivel moderado de concordancia.

Diagnóstico Rx Mesial Observador 1	Diagnóstico Rx Mesial Observador 2		Total general
	Sin fractura	Con fractura	
Sin fractura	33	7	40
Con fractura	4	16	20
Total general	37	23	60

Tabla VIII: Concordancia interexaminador en radiografía periapical mesial.

1.2. Concordancia diagnóstico Radiografía Periapical Ortocéntrica.

1.2.1. Intraexaminador.

Los resultados obtenidos por el observador 1 mostraron una buena concordancia ya que diagnosticó correctamente el 88.3% de las veces a través de este tipo de radiografía con una concordancia estadísticamente significativa (Kappa= 0.7651; P-valor= 0).

Diagnóstico Rx Ortocéntrica Observador 1	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	29	4	33
Con fractura	3	24	27
Total general	32	28	60

Tabla IX: Concordancia intraexaminador en radiografía periapical ortocéntrica, observador 1.

En tanto, el observador 2 diagnosticó correctamente el 81.7% de las veces, con una concordancia estadísticamente significativa (Kappa= 0.6275; P-valor= 0) lo que entrega resultados con buena concordancia.

Diagnóstico Rx Ortocéntrica Observador 2	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	29	8	37
Con fractura	3	20	23
Total general	32	28	60

Tabla X: Concordancia intraexaminador en radiografía periapical ortocéntrica, observador 2.

Como conclusión, el observador 1 posee estadísticamente una mejor concordancia intraexaminador que el observador 2.

1.2.3. Interexaminador.

Ambos observadores coincidieron el 80% de las veces en su diagnóstico, con un nivel moderado de concordancia, estadísticamente significativa (Kappa= 0.5904; P-valor= 0).

Diagnóstico Rx Ortocéntrica Observador 1	Diagnóstico Rx Ortocéntrica Observador 2		Total general
	Sin fractura	Con fractura	
Sin fractura	29	4	33
Con fractura	8	19	27
Total general	37	23	60

Tabla XI: Concordancia interexaminador en radiografía periapical ortocéntrica.

1.3. Concordancia diagnóstico Radiografía Periapical Distal.

1.3.1. Intraexaminador.

El observador 1 diagnosticó correctamente el 86.7% de las veces a través de este tipo de radiografía, con resultados con buena concordancia, estadísticamente significativa (Kappa= 0.7309; P-valor= 0).

Diagnóstico Rx Distal Observador 1	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	29	5	34
Con fractura	3	23	26
Total general	32	28	60

Tabla XII: Concordancia intraexaminador en radiografía periapical distal, observador 1.

El observador 2 diagnosticó correctamente el 81.7% de las veces, con una buena concordancia, estadísticamente significativa (Kappa= 0.6275; P-valor= 0).

Diagnóstico Rx Distal Observador 2	Fractura real		Total general
	No	Si	
Sin fractura	29	8	37
Con fractura	3	20	23
Total general	32	28	60

Tabla XIII: Concordancia intraexaminador en radiografía periapical distal, observador 2.

Como conclusión, el observador 1 posee estadísticamente una mejor concordancia intraexaminador que el observador 2.

1.3.2. Interexaminador.

Los observadores coincidieron el 78.3% de las veces en su diagnóstico, con un nivel moderado de concordancia, estadísticamente significativa (Kappa= 0.5528 ; P-valor= 0).

<i>Diagnóstico Rx Distal Observador 1</i>	<i>Diagnóstico Rx Distal Observador 2</i>		<i>Total general</i>
	<i>Sin fractura</i>	<i>Con fractura</i>	
Sin fractura	29	5	34
Con fractura	8	18	26
<i>Total general</i>	37	23	60

Tabla XIV: Concordancia interexaminador en radiografía periapical distal.

2.1. Análisis de sensibilidad y especificidad.

2.1.1. Tomografía Computarizada Cone Beam.

Al analizar la Tomografía Computarizada Cone Beam, se observó que la sensibilidad de la prueba fue de 85.7% (IC del 95%= [71% - 100%]), siendo la especificidad de esta prueba diagnóstica de 78.1% (IC del 95%= [62% - 94%]).

<i>Diagnóstico ConeBeam</i>	<i>Fractura real</i>		<i>Total</i>
	<i>Si</i>	<i>No</i>	
Con fractura	85.7%	21.9%	48.3%
Sin fractura	14.3%	78.1%	51.7%
<i>Total general</i>	100%	100%	100%

Tabla XV: Sensibilidad y especificidad Tomografía Computarizada Cone Beam.

2.1.2. Radiografía Periapical.

2.1.2.1. Radiografía Periapical Mesial.

La sensibilidad de la prueba fue de 71.4%, con un intervalo de confianza del 95% (53%-90%) y la especificidad de la prueba fue del 100%, con el mismo intervalo de confianza (98%-100%).

<i>Diagnóstico Rx Mesial</i>	<i>Fractura real</i>		<i>Total</i>
	<i>Si</i>	<i>No</i>	
Con fractura	71.4%	0.0%	33.3%
Sin fractura	28.6%	100.0%	66.7%
<i>Total general</i>	100%	100%	100%

Tabla XVI: Sensibilidad y especificidad radiografía periapical mesial.

2.1.2.2. Radiografía Periapical Ortocéntrica.

La sensibilidad de la prueba fue de 85.7% con un intervalo de confianza del 95% (71%- 100%) y la especificidad fue de 78.1% con el mismo intervalo de confianza (62%- 94%).

<i>Diagnóstico Rx Ortocéntrica</i>	<i>Fractura real</i>		<i>Total</i>
	<i>Si</i>	<i>No</i>	
Con fractura	85.7%	9.4%	45.0%
Sin fractura	14.3%	90.6%	55.0%
<i>Total general</i>	100%	100%	100%

Tabla XVII: Sensibilidad y especificidad radiografía periapical ortocéntrica.

2.1.2.3. Radiografía Periapical Distal.

La sensibilidad de la prueba fue de 82.1% con un intervalo de confianza del 95% (66%- 98%) y la especificidad fue del 90.6% con el mismo intervalo de confianza (79%- 100%).

<i>Diagnóstico Rx Distal</i>	<i>Fractura real</i>		<i>Total</i>
	<i>Si</i>	<i>No</i>	
Con fractura	82.1%	9.4%	43.3%
Sin fractura	17.9%	90.6%	56.7%
<i>Total general</i>	100%	100%	100%

Tabla XVIII: Sensibilidad y especificidad radiografía periapical distal.

El siguiente gráfico compara la sensibilidad y especificidad de la Tomografía Computarizada Cone Beam (TC Cone Beam) y la radiografía periapical con sus tres angulaciones, mesial (Rx M); ortocéntrica (Rx O) y distal (Rx D):

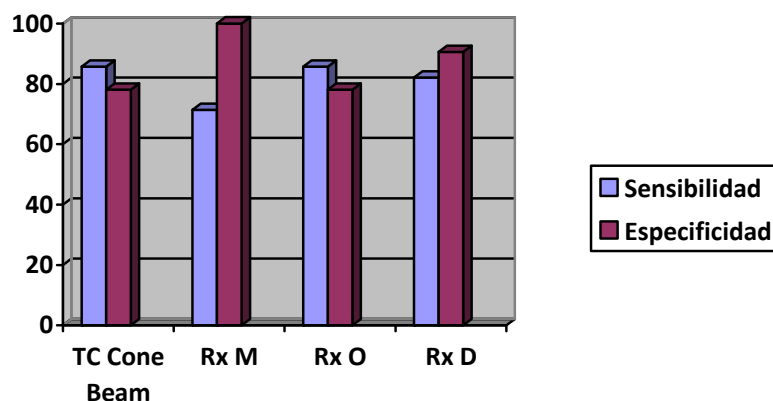


Gráfico 2: Comparación sensibilidad y especificidad entre las 4 pruebas diagnósticas.

3.1. Comparación de Tomografía Computarizada Cone Beam y Radiografía Periapical.

3.1.1. Evaluación de la Tomografía Computarizada Cone Beam.

Como se mencionó anteriormente, la sensibilidad y especificidad de la prueba fueron de 85.7% y 78.1% respectivamente y el porcentaje de coincidencia entre diagnóstico y la real presencia de fractura radicular vertical fue de 81.67%

La **Razón de Verosimilitud Positiva (RVP)** fue estadísticamente mayor que uno (3.92, IC del 95% = [2.00 – 7.67]), por lo que se estima que en dientes con fractura radicular vertical es 3.92 veces más probable detectar dicha fractura a través de la tomografía computarizada en vez de no diagnosticarla. Por otro lado, la **Razón de Verosimilitud Negativa (RVN)** fue estadísticamente menor que uno (5.56, IC del 95% = [0.07 – 0.46]), por lo que se estima que en dientes no fracturados, es 5.56 veces más probable no detectar dicha fractura a través de la tomografía en vez de diagnosticarla.

Según el **Valor Predictivo Positivo (VPP)** (77.4%), se estima que si a través de la tomografía se diagnostica presencia de fractura radicular vertical, la probabilidad de que realmente el diente posea dicha fractura es del 77.4%, mientras que, según el **Valor Predictivo Negativo (VPN)** (86.2%), se estima que si a través de la tomografía

se diagnostica que no hay presencia de fractura, la probabilidad de que realmente el diente no esté fracturado es del 86.2%.

3.1.2. Evaluación de la Radiografía Periapical.

3.1.2.1. Radiografía Periapical Mesial.

El porcentaje de coincidencia entre el diagnóstico y la real presencia de fractura vertical fue de 86.67%.

La **Razón de Verosimilitud Positiva** no pudo calcularse debido a que no se observaron falsos positivos; en cambio, la **Razón de Verosimilitud Negativa** es estadísticamente menor que uno (3.45, IC del 95%= [0.16 – 0.51]), por lo que se estima que en dientes no fracturados, es 3.45 veces más probable no detectar dicha fractura a través de la radiografía mesial en vez de diagnosticarla.

Según el **Valor Predictivo Positivo** (100%), se estima que si a través de la radiografía mesial se diagnostica presencia de fractura radicular vertical, la probabilidad de que realmente el diente posea dicha fractura es del 100% y según el **Valor Predictivo Negativo** (80%) se estima que si a través de la radiografía mesial se diagnostica que no hay presencia de fractura, la probabilidad de que realmente el diente no esté fracturado es del 80%.

3.1.2.2. Radiografía Periapical Ortocéntrica.

El porcentaje de coincidencia entre el diagnóstico y la real presencia de fractura radicular vertical fue de 81.67%.

La **Razón de Verosimilitud Positiva** fue estadísticamente mayor que uno (9.14, IC del 95%= [3.08 – 27.13]), por lo que se estima que en dientes con fractura radicular vertical, es 9.14 veces más probable detectar dicha fractura a través de la radiografía ortocéntrica en vez de no diagnosticarla, mientras que la **Razón de Verosimilitud Negativa** es estadísticamente menor que uno (6.25, IC del 95%= [0.06- 0.39]), por lo que se estima que en dientes no fracturados es 6.25 veces más probable no detectar dicha fractura a través de la radiografía ortocéntrica en vez de diagnosticarla.

Según el **Valor Predictivo Positivo** (77.4%), se estima que si a través de la radiografía ortocéntrica se diagnostica presencia de fractura vertical, la probabilidad de que realmente el diente posea dicha fractura es del 77.4%, mientras que según el **Valor Predictivo Negativo** (86.2%), se estima que si a través de este tipo de radiografía se

diagnostica que no hay presencia de fractura, la probabilidad de que realmente el diente no esté fracturado es del 86.2%.

3.1.2.3. Radiografía Periapical Distal.

El porcentaje de coincidencia entre el diagnóstico y la real presencia de fractura vertical fue de 81.67%.

La **Razón de Verosimilitud Positiva** fue estadísticamente mayor que uno (8.76, IC del 95%= [2.94- 26.09]), por lo que se estima que en dientes con fractura radicular vertical, es 8.76 veces más probable detectar dicha fractura a través de la radiografía distal en vez de no diagnosticarla, mientras que la **Razón de Verosimilitud Negativa** fue estadísticamente menor que uno (5, con IC del 95% = [0.09- 0.44]), por lo que se estima que en dientes no fracturados es 5 veces más probable no detectar dicha fractura a través de la radiografía distal en vez de diagnosticarla.

Según el **Valor Predictivo Positivo** (88.5%), se estima que si a través de la radiografía distal se diagnostica presencia de fractura vertical, la probabilidad de que realmente el diente posea dicha fractura es del 88.5%, mientras que según el **Valor Predictivo Negativo** (85.3%), se estima que si a través de la radiografía distal se diagnostica que no hay presencia de fractura, la probabilidad de que realmente el diente no esté fracturado es del 85.3%.

3.1.3. Comparación de Sensibilidad.

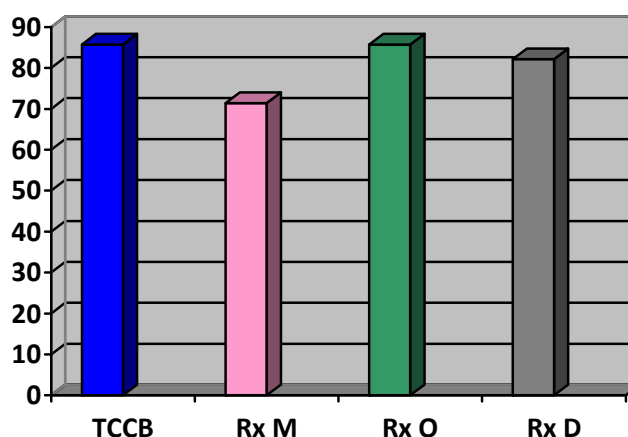


Gráfico 3: Comparación de Sensibilidad de las 4 pruebas diagnósticas.

Según los resultados del test de McNemar, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre la sensibilidad de la Tomografía y la sensibilidad de los tres tipos de radiografías periapicales (P-valor > 0.2).

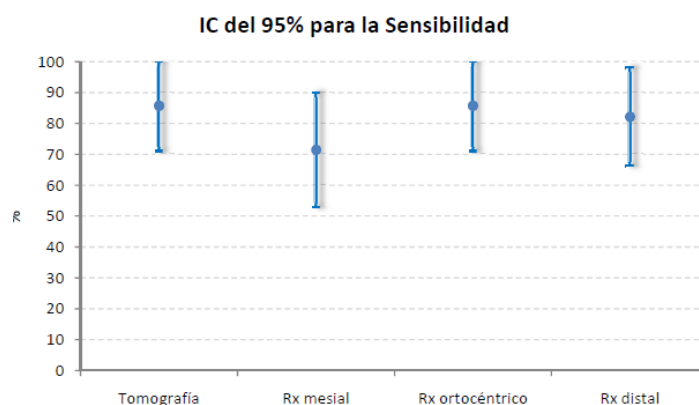


Gráfico 4: Gráfico del Test de McNemar para sensibilidad de las pruebas diagnósticas.

3.1.4. Comparación de Especificidad.

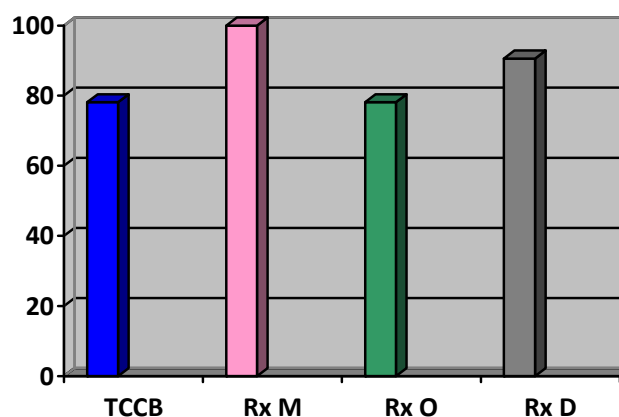


Gráfico 5: Comparación de Especificidad de las 4 pruebas diagnósticas.

Según los resultados del test de McNemar, no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre la especificidad de la tomografía y la especificidad de las radiografías periapicales ortocéntrica y distal (P-valor > 0.2); sin embargo, se aprecia una diferencia estadísticamente significativa entre la especificidad de la

tomografía y la especificidad de la radiografía periapical mesial (P-valor =0), siendo mayor la especificidad en la radiografía periapical mesial.

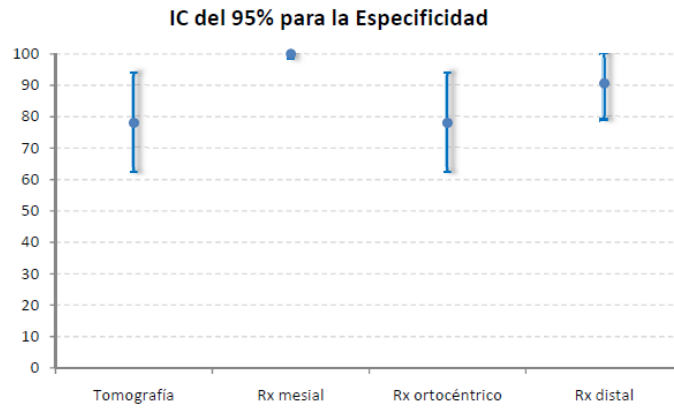


Gráfico 6: Gráfico del Test de McNemar para especificidad de las pruebas diagnósticas.

DISCUSIÓN

El presente estudio investigó la precisión diagnóstica de la Tomografía Computarizada Cone Beam y las radiografías periapicales convencionales (proyecciones ortocéntricas, deslizamiento mesial y deslizamiento distal) para detectar fracturas radiculares verticales en dientes humanos extraídos. La precisión diagnóstica se basó en el análisis de los datos de sensibilidad y especificidad de ambas pruebas diagnósticas. La sensibilidad es la proporción de verdaderos positivos identificados por la prueba del total de enfermos. Para el propósito de este estudio se definió como la capacidad de la prueba diagnóstica, ya sea, radiografía periapical en cualquiera de sus tres proyecciones o Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam, para detectar los dientes que efectivamente presentaban fractura radicular vertical. Por otro lado, la especificidad se define como la proporción de verdaderos negativos identificados por la prueba del total de sanos siendo definida para el propósito de este estudio, la capacidad de las pruebas diagnósticas para detectar efectivamente los dientes que no presentaban fractura radicular vertical.

La radiografía convencional se ha utilizado durante mucho tiempo como examen imagenológico complementario en el diagnóstico de lesiones que afecten al territorio maxilofacial, especialmente en caso de fracturas radiculares. Sin embargo, la detección radiográfica es altamente dependiente de la orientación de la fractura. La inhabilidad de las modalidades imagenológicas convencionales para visualizar adecuadamente las fracturas longitudinales, ha indicado la necesidad de desarrollar y estudiar sistemas diagnósticos imagenológicos alternativos que posean el potencial de mejorar la detección de las fracturas (Mora y cols., 2007).

La Tomografía Computarizada Cone Beam provee una fácil y rápida adquisición de imágenes. Numerosos estudios *in vitro* apoyan el uso de este examen para detectar fracturas radiculares verticales debido a la baja sensibilidad de las radiografías periapicales convencionales en la detección de este tipo de fracturas (Nair y cols., 2002; Hassan y cols., 2007; Mora y cols., 2007; Tsesis y cols., 2008; Varshosaz y cols., 2010). Nair y cols., (2002) investigaron la precisión diagnóstica de las radiografías convencionales y la imagenología tridimensional para la detección de fracturas de origen iatrogénico en dientes mandibulares tratados endodónticamente y encontraron que este último examen mejoraba la detección de este tipo de fracturas. Mora y cols., (2007) demostraron que este examen imagenológico mejora significativamente la detección de las fracturas longitudinales *in vitro* comparado con la radiografía periapical convencional.

En el presente estudio tanto la Tomografía Computarizada Cone Beam como la radiografía periapical ortocéntrica mostraron la mejor seguridad diagnóstica para evaluar las fracturas radiculares verticales, mostrando valores de sensibilidad de un 85.7% en ambas pruebas diagnósticas. En un estudio realizado por Hassan y cols., (2007), se mostró una mayor eficacia de la Tomografía Cone Beam en comparación con la radiografía periapical, mostrando una sensibilidad de 79.4% para la Tomografía Cone Beam, mientras que para la radiografía periapical mostró una sensibilidad de 37.1%. Otro estudio *in vitro*, realizado también por Hassan y cols., (2007), reportó una sensibilidad de 38% para este tipo de radiografías, mientras que en un estudio realizado por Kamburoglu y cols., (2009), la Tomografía Cone Beam mostró una sensibilidad de 92%, mientras que la radiografía periapical convencional mostró valores de 74%.

En estudios realizados *in vivo*, se obtuvieron valores de sensibilidad de 88% (Edlund y cols., 2011) y 100% (Youssefzadeh y cols., 1999) para la Tomografía Computarizada Cone Beam.

Las diferencias con el presente estudio en los valores de sensibilidad se pueden explicar por varias razones: en primer lugar, por la experiencia en el diagnóstico imagenológico de los examinadores de este estudio, ambos radiólogos con experiencia, a diferencia de los examinadores del estudio de Bassam que eran endodoncistas y estudiantes de pregrado por lo que los valores de sensibilidad tanto de la Tomografía Cone Beam como de la radiografía periapical son diferentes.

En segundo lugar, en el estudio de Hassan y cols., (2007), se utilizó sólo la proyección ortocéntrica para las radiografías periapicales, lo que disminuye la capacidad de los examinadores para detectar fracturas verticales. Una característica importante de este estudio es que se tomaron distintas proyecciones con las radiografías periapicales lo que aumenta la posibilidad diagnóstica de este tipo de examen imagenológico. Y en tercer lugar, la detección de las fracturas radiculares en las radiografías periapicales convencionales está principalmente influenciada por la dirección del haz de rayos X, el cual debe pasar a través de la línea de fractura (Ilgüy y cols., 2009), lo cual pudo haber pasado en la mayoría de los dientes de este estudio, en los cuales el rasgo de fractura estaba en el mismo sentido en que se tomó la radiografía con proyección ortocéntrica, es decir, en sentido vestíbulo lingual, lo cual facilitó la detección de la fractura.

En este estudio, el segundo lugar en sensibilidad fue para la radiografía periapical con deslizamiento distal con un 82.1% y en tercer lugar, la radiografía con deslizamiento mesial con un 74.1%. Sin embargo, no se apreciaron diferencias

estadísticamente significativas entre la sensibilidad de la Tomografía y la sensibilidad de los tres tipos de radiografías periapicales (Test de McNemar; P-valores > 0.2).

La mayor especificidad detectada en este estudio se obtuvo con la radiografía periapical con deslizamiento mesial con un 100%; en segundo lugar, aparece la radiografía periapical con deslizamiento distal con un 90.6% y en último lugar aparecen la Tomografía Cone beam y la radiografía periapical ortocéntrica, ambas con un 78.1%, resultados similares a los observados en estudios realizados por Hassan y cols., (2009) quienes reportaron los mayores valores de especificidad para las radiografías periapicales (95%) y menores valores para la Tomografía Cone Beam (92.5%); y Edlund y cols., (2011) quienes reportaron una especificidad de 75% para la Tomografía Cone Beam.

En el presente estudio, las proyecciones radiográficas periapicales presentaron los valores más altos en especificidad, entendiendo esta característica como la capacidad para detectar verdaderos negativos que para fines de este estudio corresponde a la capacidad de no detectar fractura radicular vertical en dientes que efectivamente no la poseen. Por esta razón, no se descarta a la radiografía periapical como examen imagenológico de gran utilidad en odontología, entendiendo que necesita de un conocimiento de la técnica radiográfica y de interpretación de la imagen por parte del clínico.

En este estudio, se reportó una diferencia estadísticamente significativa entre la especificidad de la Tomografía Cone Beam y la radiografía periapical mesial, siendo mayor la especificidad en la radiografía mesial (Test de McNemar; P-valor=0). No se encontró evidencia estadística que indicara que la especificidad de la tomografía, radiografía periapical ortocéntrica y distal difieran significativamente entre ellas (Test de McNemar; P-valor > 0.2).

Para poder visualizar de mejor manera el desempeño de la Tomografía Computarizada Cone Beam y las radiografías periapicales en sus distintas proyecciones, se confeccionó un ranking en base a los mayores valores cuantificados de la sensibilidad (Sn), especificidad (Ep), razón de verosimilitud positivo y negativo (RVP y RVN respectivamente) y los valores predictivos positivo y negativo (VPP y VPN respectivamente).

La radiografía periapical mesial posee el primer lugar en especificidad, razón de verosimilitud negativa y valor predictivo positivo, lo cual podría estar indicando que este tipo de radiografía posee una gran capacidad para detectar dientes no fracturados, y, por el contrario, si el resultado de la radiografía mesial da como resultado que el diente posee una fractura radicular vertical, existe una gran probabilidad de que el diente

posea realmente esa fractura. Basado en los resultados de este estudio y avalado por otros estudios analizados, la radiografía periapical con deslizamiento mesial es una prueba que tiende a ser muy específica.

La Tomografía y la radiografía periapical ortocéntrica ocupan el primer lugar en sensibilidad y valor predictivo negativo (VPN); además, la radiografía periapical ortocéntrica también logró el primer lugar en cuanto a razón de verosimilitud positiva (RVP), lo cual podría indicar que tanto radiografía periapical ortocéntrica como la tomografía poseen una gran capacidad para detectar dientes con fractura radicular vertical, en tanto que, si entregan como resultado que el diente no está fracturado, existe una gran probabilidad de que efectivamente no lo esté. Sin embargo, es mucho más probable que la tomografía entregue más resultados falsos positivos que la radiografía periapical ortocéntrica por la cantidad de artefactos que pudieran limitar la detección de las fracturas. Por los resultados obtenidos en este estudio y avalados por los estudios analizados, se concluye que la radiografía periapical ortocéntrica es una prueba que tiende a ser muy sensible.

Por otra parte, la radiografía periapical distal ocupa el segundo lugar en los indicadores de especificidad, valor predictivo negativo y razón de verosimilitud positiva, lo cual podría evidenciar que los resultados obtenidos por este tipo de proyección en la radiografía periapical distal son mucho más homogéneos. Además, esta proyección posee valores altos tanto en sensibilidad como en valor predictivo positivo y razón de verosimilitud negativa.

En relación a la concordancia intraexaminador, se determinó que el observador 1 posee estadísticamente una mejor concordancia que el observador 2, lo que pudiera deberse principalmente al mayor manejo del sistema tomográfico (años de experiencia) por parte del observador 1.

Con respecto a la concordancia interexaminador, en este estudio en general fue moderada, estadísticamente significativa (P -valor= 0).

Mediante los resultados expuestos anteriormente es posible afirmar que, en este estudio, el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y la radiografía periapical convencional en su proyección ortocéntrica poseen casi la misma precisión para detectar fracturas radiculares verticales, sin embargo, las otras proyecciones periapicales con deslizamiento son de ayuda diagnóstica para descartar la existencia de tales fracturas.

CONCLUSIONES

Mediante el análisis de los resultados y basándose en los objetivos planteados en este estudio *in vitro*, se puede concluir que:

- 1.- Tanto el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam (85.7%) como las radiografías periapicales ortocéntricas (85.7%) y con deslizamiento mesial (71.4%) y distal (82.1%) mostraron altos valores de sensibilidad para la detección *in vitro* de fracturas radicales verticales en dientes anteriores y posteriores.
- 2.- Los valores más altos de sensibilidad fueron obtenidos por el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y la radiografía periapical ortocéntrica, seguidos por las radiografías periapicales con deslizamiento distal y mesial; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.
- 3.- Tanto el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam (78.1%) como las radiografías periapicales ortocéntricas (78.1%) y con deslizamiento mesial (100%) y distal (90.6%) mostraron altos valores de especificidad para la detección *in vitro* de fracturas radicales verticales en dientes anteriores y posteriores.
- 4.- Los valores más altos de especificidad fueron obtenidos por las radiografías periapicales con deslizamiento mesial y distal, seguidos por el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y la radiografía periapical ortocéntrica; siendo las diferencias estadísticamente significativas sólo para la radiografía periapical con deslizamiento mesial.
- 5.- Para el Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam, hubo diferencias en la concordancia intraexaminador y la concordancia interexaminador fue mala ($Kappa=0.4939$).
- 6.- Para la radiografía periapical ortocéntrica y con deslizamiento mesial y distal, la concordancia intraexaminador fue buena en ambos observadores, mientras que la concordancia interexaminador fue moderada ($Kappa=0.5904$).

SUGERENCIAS

Como sugerencia para futuros estudios, para poder comparar la sensibilidad y especificidad en las distintas pruebas diagnósticas, se recomienda aumentar el tamaño de la muestra con el objetivo de poder aumentar la potencia del Test de McNemar y así poder cuantificar si existen diferencias entre las 4 pruebas bajo estudio con respecto a la sensibilidad y especificidad de cada una.

Se sugiere además, realizar este estudio *in vivo*, con pacientes en los cuales se sospeche de fractura radicular, clasificándolos según las características clínicas de los dientes con sospecha, por ejemplo, dientes coronados, con postes de fibra, con tratamiento de endodoncia y/o con traumatismo dentoalveolar, en los cuales se indique la toma de una Tomografía Computarizada Cone Beam y posteriormente se les realice Cirugía Exploratoria, utilizándose esta última como gold estándar para detectar la presencia de fractura radicular vertical.

En los casos dientes con tratamiento de endodoncia sería interesante comparar la precisión diagnóstica de las radiografías periapicales y del Sistema Cone Beam en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales, ya que el material de relleno del conducto radicular, al ser radiopaco, podría interferir en la pesquisa de estas lesiones.

RESUMEN

Introducción. Las fracturas radiculares verticales son lesiones cuyo diagnóstico es eminentemente clínico; sin embargo, se utilizan técnicas imagenológicas para asistir su diagnóstico. Las limitaciones de la imagenología convencional han llevado al desarrollo del sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam que produce imágenes tridimensionales del sitio de interés. **Objetivo.** Determinar *in vitro* la sensibilidad y especificidad del Sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y de radiografías periapicales en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales. **Materiales y método.** Se indujeron fracturas verticales en 28 de 60 dientes permanentes humanos extraídos, reubicándose los fragmentos. Los 32 dientes restantes sin fractura radicular formaron el grupo control. Todos los dientes fueron ubicados en una mandíbula seca en cuatro grupos. Se obtuvieron radiografías periapicales ortocéntricas y con deslizamiento mesial y distal, además de imágenes Cone Beam (3D Accuitomo; J Morita MFG). Dos radiólogos analizaron las imágenes buscando fractura radicular vertical. Se calculó la sensibilidad y especificidad para cada técnica imagenológica. **Resultados.** La Tomografía Computarizada Cone Beam obtuvo valores de sensibilidad de 85.7% y de especificidad de 78.1%; siendo los valores de sensibilidad y especificidad para la radiografía periapical mesial 71.4% y 100%; para la radiografía ortocéntrica 85.7% y 78.1% y para la radiografía periapical distal 82.1% y 90.6% respectivamente. **Conclusiones.** El sistema de Tomografía Computarizada Cone Beam y la radiografía periapical ortocéntrica mostraron los valores más altos de sensibilidad y la radiografía periapical con deslizamiento mostró los valores más altos de especificidad en el diagnóstico de fracturas radiculares verticales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreasen J.O., Andreasen F.M., Andersson L. (2007): Root fractures. En: Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth. Editado por Andreasen J.O., Andreasen F.M., Andersson L. 4ta Edición, Editorial Blackwell, Iowa, Estados Unidos, pp 337-371.

Bernardes R.A., Gomes de Moraes I., Húngaro M.A., Azevedo B. Rivamar de Azevedo J., Monteiro C. (2009): Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fractures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 108: 270-277.

Bornstein M., Wölner-Hanssen A., Sendi P., von Arx T. (2009): Comparison of intraoral radiography and limited cone beam computed tomography for the assessment of root fractured permanent teeth. Dent Traumatol, 25:571-577.

Cerda J., Villarroel L. (2008): Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Rev Chil Pediatr, 79: 54-58.

Cohen S., Blanco L., Berman L. (2003): Vertical root fractures. Clinical and radiographic diagnosis. J Am Dent Assoc, 134; 434-441.

Cohen S., Hargreaves K. (2008): Diagnóstico. En: Vías de la pulpa. Editado por Cohen S., Hargreaves K. 9na Edición, Editorial Elsevier, Madrid, España, pp 2-39.

Edlund M., Nair M.K., Nair U.P. (2011): Detection of vertical tooth fractures by using Cone-beam computed tomography: a clinical study. J Endod, 37:768-772.

Flores M.T., Andersson L., Andreasen J.O., Bakland L.K., Malmgren B., Barnett F., Bourguignon C., Diangelis A., Hicks L., Sigurdsson A., Trope M., Tsukiboshi M., Von Arx T. (2006): Guidelines for the management of traumatic dental injuries I. Fractures and luxations of permanent teeth. Endodontic Topics, 14: 102-118.

Hassan B., Metska M.E., Ozok A.R., van der Stelt P., Wesselin P.R. (2009): Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod*, 35: 719-722.

Hassan B., Metska M.E., Ozok A.R., van der Stelt P., Wesselin P.R. (2010): Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod*, 36: 126- 129.

Iikubo M., Kobayashi K., Mishima A., Shimoda S., Daimaruya T., Igarashi C., Imanaka M., Yuasa M., Sakamoto M., Sasano T (2009): Accuracy of intraoral radiography, multidetector helical CT, and limited cone-beam CT for the detection of horizontal tooth root fracture. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 108: 70-74.

Ilgüy D., Ilgüy M., Fisekcioglu E., Bayirli G. (2009): Detection of jaw and root fractures using cone beam computed tomography: a case report. *Dentomaxillofac Radiol*, 38: 169-173.

Kawai K., Masaka N. (2002): Vertical root fracture treated by bonding fragments and rotational replantation. *Dent Traumatol*, 18: 42-45.

Kawamura-Hagiya Y., Yoshioka T., Suda H. (2008): Logistic regression equation to screen for vertical root fractures using periapical radiographs. *Dentomaxillofac Radiol*, 37: 28-33.

Kamburoglu K., Iker Cebeci A.R., Gröndahl H.G. (2009): Effectiveness of limited cone-beam computed tomography in the detection of horizontal root fracture. *Dent Traumatol*, 25:256-260.

Kositbowornchai S., Nuansakul R., Sikram S., Sinhawattana S., Saengmontri S. (2001): Root fracture detection: a comparison of direct digital radiography with conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol*, 30: 106- 109.

Majorana A., Pasini S., Bardellini E., Keller E. (2002): Clinical and epidemiological study of traumatic root fractures. *Dent Traumatol*, 18: 77-80.

Mc Donald R., Avery D., Dean J. (2004): Management of trauma to the teeth and supporting tissues. En: Dentistry for the child and adolescent. Editado por Mc Donald R., Avery D., Dean J. 8va Edición, Editorial Mosby, St Louis, Estados Unidos, pp 453 - 503.

Monaghan P., Bjalcáliev J., Kaminski E., Lautenschlager E. (1993): A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth. J Endod, 19: 512-15.

Mora M.A., Mol A., Tyndall D.A., Rivera E.M. (2007): Effect of the number of basis images on the detection of longitudinal tooth fractures using local computed tomography. Dentomaxillofac Radiol, 36: 382-386.

Mora M.A., Mol A., Tyndall D.A., Rivera E.M. (2007): In vitro assessment of local computed tomography for the detection of longitudinal tooth fractures. Oral Surg Oral med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 103: 825-9.

Morita J Mgf Corp. 3D Accuitomo. Kyoto, Japón. www.jmorita-mgf.com.

Nair M.K., Nair U.P., Gröndahl H-G., Webber R.L. (2002): Accuracy of tuned aperture computed tomography in the diagnosis of radicular fractures in non-restored maxillary anterior teeth – an in vitro study. Dentomaxillofac Radiol, 31: 299-304.

Patel S. (2009): New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. Int Endod J, 42: 463-75.

Pita Fernández S., Pértegas Díaz S. (2003): Pruebas diagnósticas: Sensibilidad y especificidad. Cad Aten Primaria, 10: 120-124.

Pitts D., Natkin E. (1983): Diagnosis and treatment of vertical root fractures. J Endod, 9: 338-346.

Sugaya T., Kawanami N., Noguchi H., Kato H., Masaka N. (2001): Periodontal healing after bonding treatment of vertical root fracture. Dent Traumatol, 17: 174-179.

Tesis I., Kamburoglu K., Katz A., Tamse A., Kaffe I., Kfir A. (2008): Comparison of digital with conventional radiography in detection of vertical root fractures in

endodontically treated maxillary premolars: an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 106: 124-8.

Tsurumachi T., Honda K. (2007): A new cone beam computerized tomography system for use in endodontic surgery. *Int Endod J*, 40: 224-32.

Urzúa R. (2005): Técnicas radiográficas intraorales. Manejo imagenológico computarizado de los maxilares. En: *Técnicas radiográficas dentales y máxilofaciales. Aplicaciones*. 1° Edición, Editorial Amolca, Caracas, Venezuela, pp 11-308.

Varshosaz M., Tavakoli M., Mostafavi M., Baghban A. (2010): Comparison of conventional radiography with cone beam computed tomography for detection of vertical root fractures: an in vitro study. *J Oral Science*, 52: 593-7.

Yousseffzadeh S., Gahleitner A., Dorffner R., Bernhart T., Kainberger F. (1999): Dental vertical root fractures: value of CT in detection. *Radiol*, 210:545-549.

Zöller J., Neugebauer J. (2008): Fundamentals of Cone-beam volumetric imaging technology. En: *Cone-beam volumetric imaging in dental, oral and maxilofacial medicine. Fundamentals, diagnostics and treatment planning*. 1° Edición, Editorial Quintessence, Londres, Reino Unido, pp 3-35.

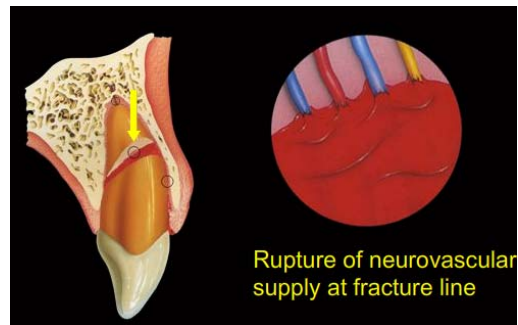


Figura 1: Corte de suministro vascular en la línea de fractura (Andreasen y cols., 2007)

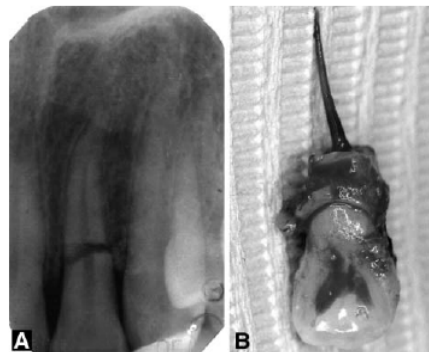


Figura 2: A. Imagen radiográfica de fractura horizontal en tercio medio radicular.
B. Se observa claramente la fractura después de la exodoncia (Majorana y cols., 2002).

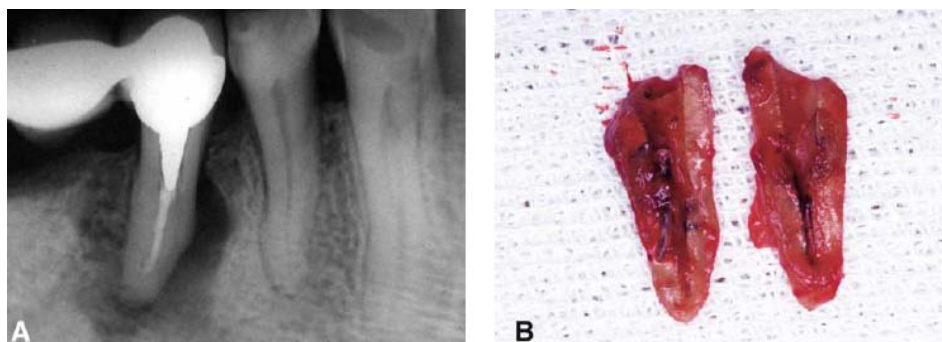


Figura 3: A. Imagen radiográfica de un premolar coronado con halo periradicular.
B. Fragmentos radiculares post exodoncia (Cohen y cols., 2003).

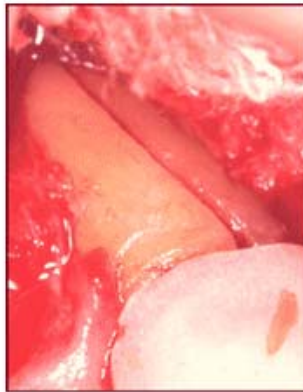


Figura 4: Cirugía exploratoria. Vista vestibular de fractura radicular vertical diente 2.3.



Figura 5: Imagen obtenida al tener una distancia foco-objeto máxima (Urzúa, 2005).

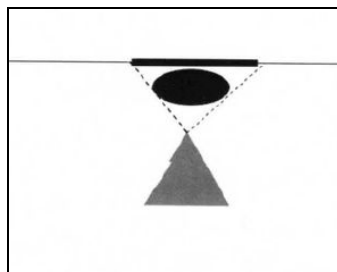


Figura 6: Imagen obtenida al tener una distancia foco-objeto pequeña (Urzúa, 2005).

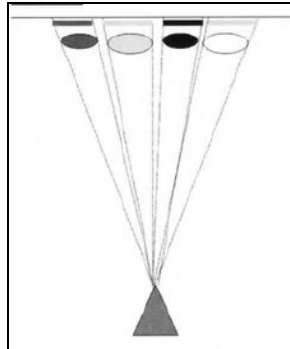


Figura 7: Haz de rayos X dirigido perpendicular al eje mesiodistal del objeto a radiografiar, lo que produce imágenes sin distorsión lateral (Urzúa, 2005).

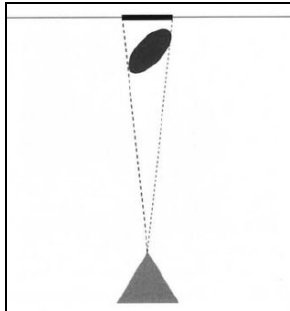


Figura 8: Imagen en escorzo, película y objeto no paralelos. Rayo central dirigido perpendicular a la placa radiográfica o plano de proyección (Urzúa, 2005).

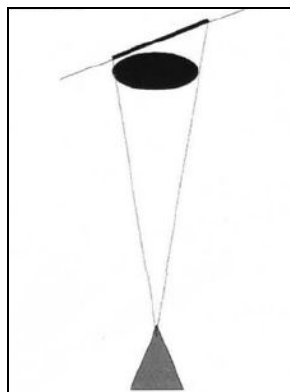


Figura 9: Película no paralela al eje mayor del objeto a radiografiar (Urzúa, 2005).

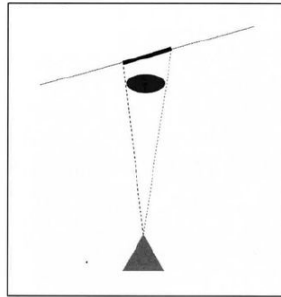


Figura 10: Película no paralela al eje mesiodistal del objeto a radiografiar. Distorsión lateral (Urzúa, 2005).

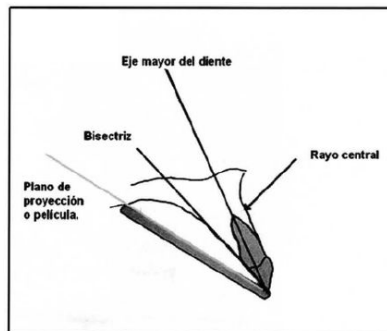


Figura 11: Ley de Cieszynski (Urzúa, 2005).

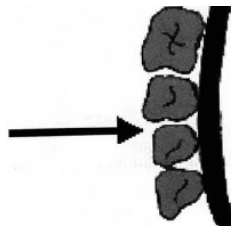


Figura 12: Rayo central perpendicular a los dientes a radiografiar (Urzúa, 2005).

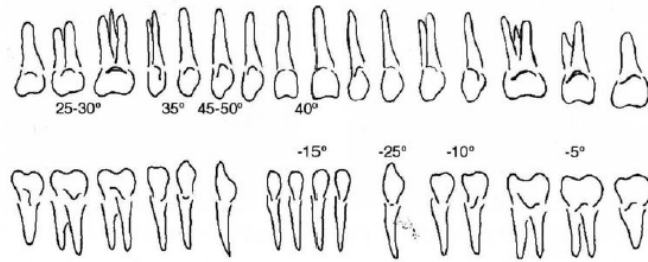


Figura 13: Angulaciones verticales promedio para radiografías con la técnica periapical (Urzúa, 2005).

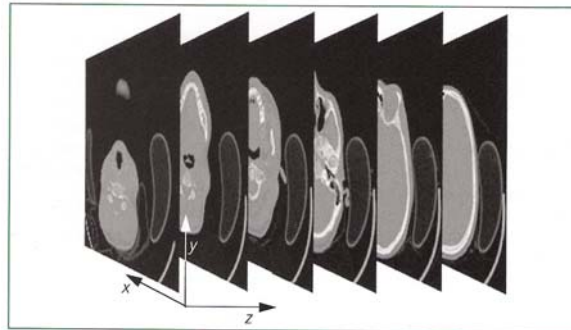


Figura 14: Imagen de Tomografía Computarizada (Zöller y Neugebauer, 2008).



Figura 15: Modelo de equipo de Tomografía Computarizada (Zöller, 2008).

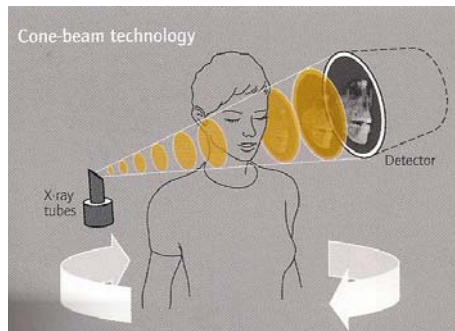


Figura 16: Tecnología Cone Beam (Zöller y Neugebauer, 2008).



Figura 17: Diferentes modelos de Cone Beam: a) i-CAT; b) Accuitomo; c) Galileos (Zöller y Neugebauer, 2008).

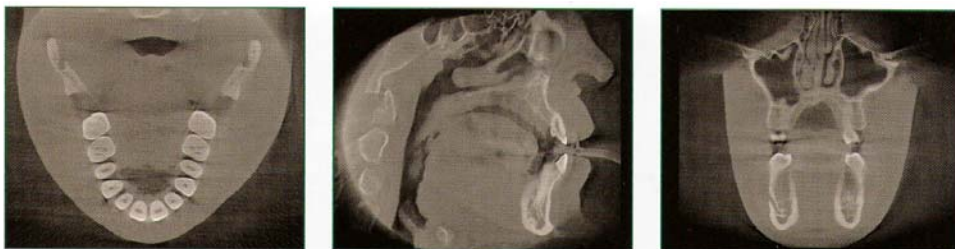


Figura 18: Visualización 2D del volumen de datos del Cone Beam en los tres principales planos ortogonales. De izquierda a derecha: plano axial, plano sagital y plano coronal (Zöller, 2008).



Figura 19: Equipo Accuitomo, J. Morita (Manual de Accuitomo).

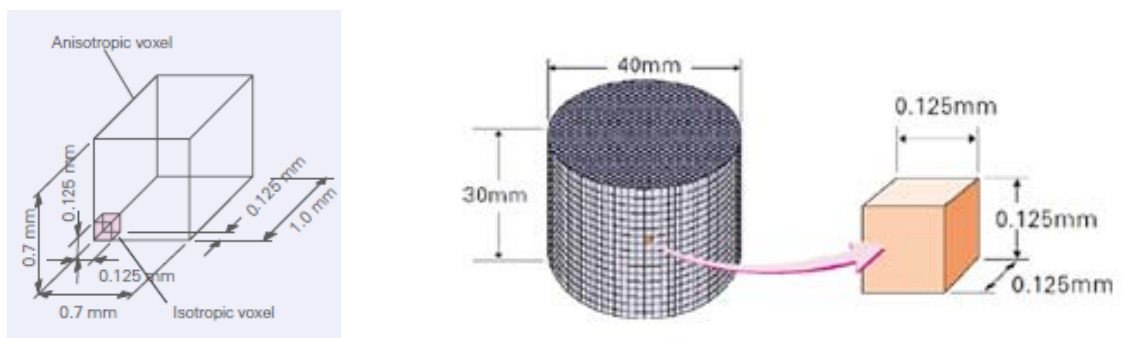


Figura 20: Tamaño de voxel utilizado en Cone Beam (Manual de Accuitomo)

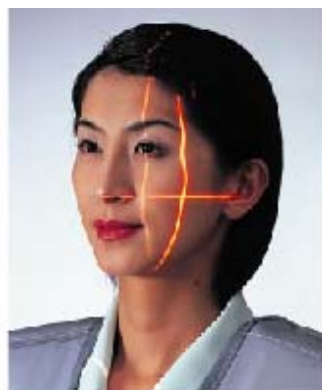


Figura 21: Rayos de luz para delimitar la zona de interés (Manual de Accuitomo).

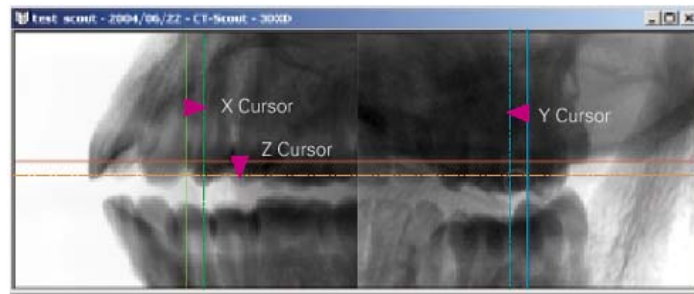


Figura 22: Imagen captada en el monitor del computador (Manual de Accuitomo).

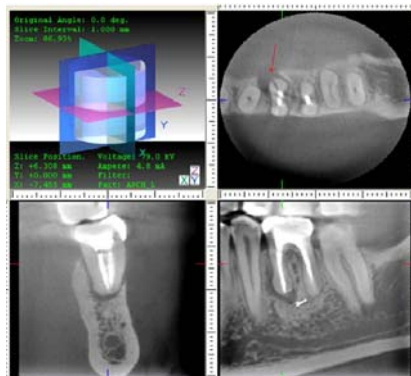


Figura 23: Imágenes obtenidas de la Tomografía Volumétrica 3D (Cone Beam). La flecha indica fractura (Bernardes y cols., 2009)



Figuras 24 y 25: Dientes montados en alvéolos de mandíbula seca.



Figura 26. Equipo radiográfico intraoral Trophy. periapicales.

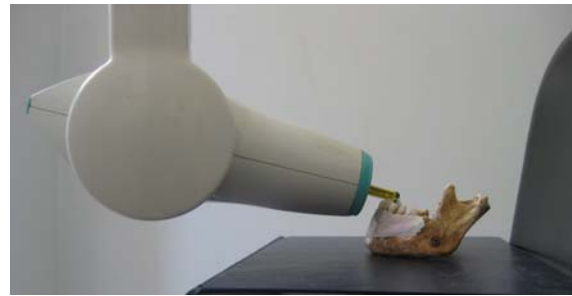


Figura 27. Toma de radiografías



Figura 28: Reveladora automática PerioMat Plus.



Figuras 29 y 30: Equipo Accutomo 3XYZ y cráneo montado en él.