

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
POSTGRADO DE ENDODONCIA

**LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA EN
ENDODONCIA**

Trabajo especial de grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por la Odontólogo Adriana
León Goitía, para optar al Título
de especialista en Endodoncia.

Caracas, Noviembre 2007

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
POSTGRADO DE ENDODONCIA

**LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA EN
ENDODONCIA**

Autor: Od. Adriana León Goitía
Tutor: Od. Aurora Lasala de F.

Caracas, Noviembre 2007

Aprobado en nombre de la
Universidad Central de Venezuela
por el siguiente jurado examinador:

(Coordinador) Nombre

C.I.

Firma

Nombre y apellido

C.I.

Firma

Nombre y apellido

C.I.

Firma

Observaciones:-----

Caracas, Noviembre 2007

DEDICATORIA

A Dios por su infinito amor y guía.

A mi Esposo Heider, por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis Padres Beatriz y Alfonso, por su amor, soporte y dedicación.

A mis Abuelos Juan, Beatriz y Hercilia, por sus consejos y por ser ejemplos de vida

A mi hermosa Familia, mil gracias por sus oraciones.

AGRADECIMIENTOS

A mi Tutora y Profesora Aurora Lasala, Especialista en Endodoncia, por su dedicación y apoyo incondicional durante mi formación profesional, y por su ayuda en la culminación de este trabajo.

Al Profesor Yapul Saldivia y a la Doctora Adalza Hernández, por su orientación y tiempo dedicado durante la realización del presente trabajo.

Al Profesor Miguel Aznar y a la Profesora y Madrina de la promoción Maytte Marcano, por su preocupación y colaboración en la culminación de este trabajo.

A todos los Profesores del Postgrado que de una u otra forma colaboraron igualmente en mi desarrollo profesional.

Al Personal que labora en la Comisión de Estudios de Postgrado, en especial a la Sra. Zaida, Sra. Mirella, y al Sr. Luis, por su apoyo durante mi paso por esta casa de estudios.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	4
1. Historia de los rayos X y su aplicación en la odontología.....	4
2. Limitaciones en el uso de la radiografía convencional en endodoncia.....	7
2.1. Radiografía convencional.....	7
2.2. Radiografía digital.....	11
3. Principios básicos de la tomografía.....	13
4. Tomografía convencional.....	17
4.1. Tomografía Lineal.....	18
4.1.1. Desventajas de la tomografía lineal.....	19
4.2. Tomografía Multidireccional.....	20
5. Tomografía computarizada.....	21
5.1. Componentes del sistema.....	23
5.1.1. Conjunto de grúa.....	23
5.1.2. Ordenador.....	27
5.1.3. Consola de control.....	27
5.2. Características de la imagen.....	29

5.3. Reconstrucción de la imagen.....	31
5.4. Evolución de los Equipos tomográficos.....	31
5.4.1. Tomógrafos de la 1ra generación.....	32
5.4.2. Tomógrafos de 2da generación.....	33
5.4.3. Tomógrafos de 3ra generación.....	34
5.4.4. Tomógrafos de 4ta generación.....	35
5.5. Ventajas derivadas del uso de la tomografía computarizada.....	38
6. Aplicaciones de la tomografía computarizada.....	40
6.1. Aplicaciones de la TC en la medicina.....	40
6.2. Aplicaciones de la TC en la odontología.....	42
6.2.1. Tomógrafos dentales.....	44
6.2.1.1. TC Dental.....	44
6.2.1.2. CBCT.....	46
6.2.1.3. TACT.....	54
6.2.1.4. Micro-TC.....	57
7. Aplicaciones de la tomografía computarizada en endodoncia.....	60
7.1. Visualización de la anatomía.....	62
7.2. Diagnóstico de lesiones periapicales.....	71
7.3. Diagnóstico de fracturas.....	85
7.4. Diagnóstico de defectos óseos mandibulares linguales.....	92

7.5. Evaluación de procedimientos endodónticos.....	96
7.5.1. Instrumentación.....	96
7.5.2. Repetición de tratamientos y cirugía.....	101
8. Ventajas y desventajas de la tomografía computarizada en la endodoncia.....	106
III. DISCUSIÓN.....	110
IV. CONCLUSIONES.....	115
V. BLIBLIOGRAFÍA.....	117

LISTA DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Tomografía convencional. <i>Tomado de Bushong, 1993</i>	13
Gráfico 2. Funcionamiento del equipo. <i>Tomado de Bushong, 1993</i>	15
Gráfico 3. Movimientos tomográficos. <i>Tomado de White y Pharoah, 2002</i>	18
Gráfico 4. Obtención de la imagen TC, <i>Tomado de White y Pharoah, 2002</i>	22
Gráfico 5. Tubo de Rx y Matriz de detectores. <i>Cortesía de la Dra. Adalza Hernández, 2007</i>	25
Gráfico 6. Consola de control. <i>Cortesía de la Dra. Adalza Hernández, 2007</i>	29
Gráfico 7. Componentes de la imagen. <i>Tomado de Bushong, 1993</i>	30
Gráfico 8. Tomógrafos de la 1ra generación.....	32
Gráfico 9. Tomógrafos de la 2ra generación.....	33
Gráfico 10. Tomógrafos de la 3ra generación.....	34
Gráfico 11. Tomógrafos de la 4ta generación.....	36
Gráfico 12. Movimientos helicoidal y espiral de equipos tomográficos de última generación.....	37
Gráfico 13. Equipos tomográficos dentales.....	44
Gráfico 14. TC con haz de rayo en forma de cono, en contraste con el haz en forma de abanico <i>Tomado de Bushong, 1993</i>	47
Gráfico 15. Uso de la tomografía en ortodoncia. <i>Tomado de Scarfe, 2006</i>	51

Gráfico 16. Reconstrucción de imágenes para colocación de implantes <i>Tomado de Yamamoto y Col., 2003.....</i>	52
Gráfico 17. Radiografías periapicales del caso. <i>Tomado de Gopikrishna y Col., 2006.....</i>	68
Gráfico 18. Cortes tomográficos a nivel de tercios coronal, medio y apical. <i>Tomado de Gopikrishna y Col., 2006.....</i>	69
Gráfico 19. Corte longitudinal del 1er molar maxilar izquierdo. <i>Tomado de Gopikrishna y Col., 2006.....</i>	69
Gráfico 20. Imagen bidimensional proporcionada por una Rx periapical. <i>Tomado de Cotti y Campisi, 2004.....</i>	73
Gráfico 21. Corte tomográfico donde se muestra la relación de la lesión con el piso de fosas nasales. <i>Tomado de Cotti y Campisi, 2004.....</i>	73
Gráfico 22. Evaluación del estado periapical comúnmente llevada a cabo con el uso de radiografía periapicales. <i>Tomado de Lofthag-Hansen y col., 2007.....</i>	75
Gráfico 23. Radiografía periapical y corte tomográfico del caso. <i>Tomado de Cotti y col., 1999.....</i>	77
Gráfico 24. Lesión no detectada radiográficamente. <i>Tomado de Lofthag-Hansen y col. 2007.....</i>	79
Gráfico 25. Lesión visible en corte tomográfico. <i>Tomado de Lofthag-Hansen y col. 2007.....</i>	79
Gráfico 26. Lesión observada en los tres planos perpendiculares. <i>Tomado de Lofthag-Hansen y col. 2007.....</i>	80
Gráfico 27. Ausencia de lesión apical, Rx periapical y panorámica del caso. <i>Nakata y col., 2006.....</i>	82
Gráfico 28. Imágenes tomográficas, se observa lesión apical relacionada al molar. <i>Tomado de Nakata y col., 2006.....</i>	83
Gráfico 29. Fotos clínicas del caso. <i>Tomado de Cohenca y col. 2007.....</i>	86

Gráfico 30. Radiografías periapicales que evidencia el desplazamiento del incisivo central izquierdo. <i>Tomado de Cohenca y col. 2007</i>	87
Gráfico 31. Reconstrucción 3D y Cortes tomográficos mostrando la fractura de la cortical vestibular producto del traumatismo. <i>Tomado de Cohenca y col. 2007</i>	88
Gráfico 32. Fractura no evidenciada radiográficamente y posteriormente visualizada en las imágenes tomográficas. <i>Tomado de Hannig y col., 2005</i>	91
Gráfico 33. Radiografía panorámica del caso. <i>Tomado de Katz y col., 2001</i>	94
Gráfico 34. Corte tomográfico que muestra la apertura característica del defecto hacia la cortical lingual. <i>Tomado de Katz y col., 2001</i>	95
Gráfico 35. Lesión no visible en Rx periapicales. Corte tomográfico con evidencia de la lesión. Acceso palatino del caso. <i>Tomado de Huuonen y col., 2006</i>	103

RESUMEN

El descubrimiento de los rayos X en 1895 y su aplicación posterior en odontología, se tradujo en un importante avance en el área endodóntica, al convertirse en una valiosa herramienta de valoración diagnóstica. Sin embargo, al ser claramente reconocidas las limitaciones de la información obtenida a partir del uso de las radiografías convencionales, se ha intentado incorporar nuevas técnicas imagenológicas que permitan superar dichas limitaciones. Los primeros equipos tomográficos no fueron empleados de una manera exitosa en el área de la endodoncia ya que trajeron consigo desventajas relativas a la dosis efectiva de radiación recibida, resolución y costos. No obstante, ésta técnica ha ido evolucionando, lo que ha permitido su incorporación progresiva en el diagnóstico, evaluación de tratamientos e investigación endodóntica. Aún cuando la información tridimensional derivada de la evaluación tomográfica ha sido de ayuda incalculable en diversos aspectos de la endodoncia, en la actualidad los procedimientos tomográficos no son empleados de rutina, ya que aún es necesario superar algunas de sus desventajas.

I. INTRODUCCIÓN

El diagnóstico es una de las fases más importantes en el tratamiento de enfermedades, no sólo para el ámbito médico sino también para el área de salud bucal. A través de los años ha habido una constante búsqueda de mejoras en lo que respecta a las herramientas diagnósticas que permitan una mayor exactitud y precisión en la determinación de la presencia de diversas patologías. El descubrimiento de los rayos X en 1895 y su posterior aplicación en el área de la salud significó un cambio radical que trajo consigo avances importantes.

La radiología se convirtió en una valiosa herramienta de valoración diagnóstica del paciente odontológico y existen guías para la selección de los procedimientos radiográficos apropiados para pacientes en los que se sospecha la presencia de enfermedades dentales y/o maxilofaciales.

La radiografía es una herramienta diagnóstica de valor incalculable, sin embargo, sus limitaciones deben ser reconocidas con el fin de que las mismas puedan ser utilizadas de una manera efectiva.

En la terapia endodóntica, la cantidad y calidad de información obtenida de la evaluación radiográfica es de gran importancia, ya que ésta afecta el diagnóstico, el plan de tratamiento y la seguridad del pronóstico. En la práctica diaria hay algunos casos en los que la radiografía intrabucal convencional y/o la radiografía panorámica, por si solas, no proveen de suficiente información acerca de las condiciones patológicas, estructuras anatómicas y su relación con otros componentes anatómicos.

Aunque las combinaciones de proyecciones en diferentes planos y las radiografías panorámicas pueden ser adecuadas en un gran número de situaciones clínicas, la evaluación radiográfica podría en ocasiones ser facilitada por imágenes multiplanares proporcionadas por la tomografía.

La tomografía ha surgido como instrumento útil que ha conducido a superar las limitaciones de las técnicas radiográficas convencionalmente empleadas en odontología, proporcionando varias ventajas en relación a ésta última.

Sin embargo, estos avances se van introduciendo muy lentamente en el campo de la endodoncia pero han demostrado

gran precisión convirtiéndose en una herramienta prometedora y que requiere de una revisión exhaustiva que conduzca a la obtención de su máximo beneficio en dicho campo.

A continuación se presentará una revisión de las limitaciones derivadas del uso de la radiografía convencional en endodoncia, la evolución de la tomografía desde sus sistemas convencionales hasta los computarizados y su aplicabilidad en odontología y más específicamente, su futuro prometedor en el diagnóstico, tratamiento y en el pronóstico del tratamiento endodóntico.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1. HISTORIA DE LOS RAYOS X Y SU APLICACIÓN EN LA ODONTOLOGÍA

La historia de la radiología se inicia con el descubrimiento de los rayos X el 8 de noviembre de 1895 por el médico alemán Wilhelm Conrad Roentgen. Éste descubrimiento revolucionó las capacidades diagnósticas de las áreas médica y dental, por lo que cambió para siempre la práctica de la medicina y de la odontología. ^{(1), (2)}

Roentgen experimentó con la producción de rayos catódicos (chorros de electrones), utilizó un tubo vacío, una corriente eléctrica y pantallas especiales (cubiertas de material fluorescente) cuando se exponía a la radiación. Posteriormente sustituyó las pantallas fluorescentes con una lámina fotográfica. Él procedió a tomar la primera radiografía del cuerpo humano exponiendo durante 15 minutos la mano de su esposa a radiaciones en una placa radiográfica. ⁽¹⁾

Roentgen denominó a su descubrimiento rayos X, ya que desconocía la naturaleza y propiedades de estos rayos. Al momento de su descubrimiento no se sabía nada acerca de los

peligros ocultos que se generaban por el uso de estos rayos penetrantes. ⁽¹⁾

Luego del descubrimiento de los rayos X, Otto Walkhoff, odontólogo alemán, tomó la primera radiografía dental, colocándose una placa fotográfica de vidrio unida a un papel negro y hule en su boca y se aplicó él mismo una exposición de 25 minutos de rayos X. ^{(1), (2)}

No obstante es Edmund Kells, odontólogo de Nueva Orleáns, quien tiene el crédito del primer uso práctico de las radiografías en odontología en 1896. La dedicación de Kells al desarrollo de los rayos X en la odontología le costó sus dedos, después la mano, y por último el brazo. ^{(1), (2), (3)}

Sin embargo, una radiografía convencional de tórax o abdomen visualiza todas las estructuras contenidas en esas porciones del cuerpo con aproximadamente la misma claridad, pero dichas estructuras aparecen superpuestas lo que suele dificultar la visualización de la estructura que interesa. En esos casos es necesario el empleo de otras técnicas. ^{(4), (5)}

Es así como el desarrollo de la radiología continuó luego de esos primeros descubrimientos y continúa su evolución incluso en la actualidad con las nuevas tecnologías disponibles. ⁽¹⁾

En este sentido, la técnica tomográfica se inicia en 1917, fecha en la que el alemán Radón, J., determinó que un objeto tridimensional podía ser reconstruido, si se ensamblaba un conjunto infinito de proyecciones de ese objeto mediante el empleo de cálculos algorítmicos. ⁽⁶⁾

La primera tomografía computarizada se realizó en 1970 en el laboratorio central de investigación de EMI Ltd., por el Ingeniero Godfrey Hounsfield y el Dr. James Ambrose en Inglaterra. ^{(6), (7)}

Posteriormente, en 1972, Hounsfield anunció la invención de una técnica de imagen revolucionaria con la que se obtuvo una imagen transversal axial de la cabeza mediante la colimación estrecha de un haz de rayos X en movimiento. La imagen producida con esta técnica no era similar a ninguna otra técnica radiológica. La tomografía computarizada ha recibido muchos nombres desde 1972, cada uno de los cuales se ha referido a por lo menos uno de sus aspectos: tomografía axial computarizada,

tomografía de reconstrucción computarizada, barrido tomográfico computarizado, tomografía axial y tomografía transaxial computarizada. El nombre más utilizado es tomografía computarizada. ⁽⁴⁾

2. LIMITACIONES EN EL USO DE LA RADIOGRAFÍA CONVENCIONAL EN ENDODONCIA

La radiografía es una herramienta diagnóstica de valor incalculable, sin embargo, sus limitaciones deben ser reconocidas con el fin de que las mismas puedan ser utilizadas de una manera efectiva. ⁽⁸⁾

2.1. Radiografías convencionales

Las técnicas imagenológicas convencionales incluyen radiografías periapicales, oclusales y panorámicas, las cuales son utilizadas con el fin de investigar y mostrar las condiciones patológicas presentes en los maxilares, especialmente si éstas son infecciones de origen endodóntico ⁽⁹⁾, ⁽¹⁰⁾. Aunque las radiografías periapicales y panorámicas proporcionan detalles de las estructuras en dirección mesio-distal, no es posible la observación de dichos detalles en la dirección vestíbulo-lingual. ⁽¹⁰⁾, ⁽¹¹⁾

La información que pueda ser obtenida a partir de la evaluación radiográfica es muy importante en endodoncia, e influye en el diagnóstico, el plan de tratamiento y en el pronóstico. Sin embargo, la radiografía intrabucal convencional y/o la radiografía panorámica, en ciertos casos, no proveen de la información necesaria. ^{(12), (13)}

Ingle, J., y col., señalan que la radiografía tiene sus limitaciones en el área clínica al ofrecer solo datos sugerentes, por lo que no debe emplearse como herramienta única en la evaluación de casos clínicos, ya que es necesario correlacionar la información que la misma nos proporciona, con otros datos subjetivos y objetivos. ⁽²⁾

Así mismo, las proyecciones en dos dimensiones de estructuras con tres dimensiones, en ocasiones no proveen de una representación adecuada de la zona de interés por lo que puede producirse una pérdida de precisión. Igualmente, las radiografías son interpretadas visualmente, lo que es un proceso de naturaleza subjetiva. ^{(11), (14), (15), (16)}

En el mismo orden de ideas, Fava, L y Giorgi, M., establecen que aún en las técnicas donde se altera la angulación vertical u

horizontal, la aplicación práctica dependerá de la experiencia del operador ya que las radiografías tomadas con errores en su angulación, podrán resultar en imágenes distorsionadas, llevando a interpretaciones incorrectas. ⁽¹⁷⁾

Es así como Huumonen, S., y Ørstavik, D., destacan que variaciones en la angulación pueden producir incrementos, disminución o la desaparición de una lesión periapical. Dichos autores afirman que una disminución de la angulación vertical produce una elongación del diente y puede incrementar el tamaño de un área radiolúcida apical, mientras que un aumento de dicha angulación origina un acortamiento del diente y puede disminuir el tamaño de una radiolucidez apical. ⁽¹⁸⁾

Por otro lado, Cotti, E., y col. (2003), señalan que las radiografías no demuestran de una manera confiable la presencia y el tamaño de las lesiones en hueso. ^{(9), (19)}

Es así como las lesiones óseas son visibles radiográficamente una vez que se ha reabsorbido una cantidad de hueso considerable lo que varía con la posición la raíz y el grosor del hueso cortical que circunda a la misma, por lo que una lesión inflamatoria periapical debe estar bien desarrollada y muy

extensa antes de que se produzca una zona radiolúcida evidente a nivel radiográfico. ^{(2), (7), (16), (19)}

Igualmente, las radiografías no permiten un diagnóstico diferencial entre las lesiones quísticas y no quísticas. Cotti, E., y col., destacan que la posibilidad de distinguir entre un quiste verdadero y un granuloma podría ser de ayuda en la predicción de los resultados de los tratamientos. ^{(2), (9), (19), (20)}

Otra de las limitaciones que presentan las radiografías radica en la superposición de una variedad de estructuras anatómicas que pueden confundirse con enfermedades endodónticas, ^{(16), (20)}. Un ejemplo clásico de una zona radiolúcida cercana a la región apical es el agujero mentoniano a nivel de la región premolar, la cual se puede identificar con claridad con la toma de radiografías anguladas. ⁽¹⁶⁾

Por su parte, Trope M., y col., y Kassebaum, D., y col., afirman que con el uso de radiografías convencionales, todas las estructuras del paciente se superponen en la imagen radiográfica, por lo que se idearon varias técnicas radiográficas con el propósito de mostrar áreas individuales del cuerpo

diferenciadas de otras estructuras anatómicas circundantes, como la tomografía. ^{(20), (21)}

2.2. Radiografía digital

Una imagen digital es la que se obtiene de la transformación de una imagen analógica convencional al sistema de números binarios, permitiendo procesar los datos digitales adecuadamente y mostrarlos de forma que parezcan una imagen convencional. ⁽⁴⁾

Aunque algunos autores refieren que esta técnica conduce a la obtención de imágenes con menor calidad y una menor eficacia diagnóstica, cuando se compara con las radiografías convencionales ^{(22), (23)}; recientes mejoras en estos sistemas, conducen a la obtención de muchos beneficios potenciales derivados de su aplicación en la endodoncia. ⁽²⁴⁾

Entre dichos beneficios se encuentran: la obtención de imágenes que se pueden observar en el monitor de una computadora de una manera instantánea, la posibilidad de realizar mejoras de la imagen obtenida sin exposición adicional a la radiación, la reducción del tiempo entre la exposición y la interpretación de las mismas, y la posibilidad de almacenamiento

digital de las imágenes para posterior documentación. De esta manera las mejoras obtenidas en las técnicas digitales han conllevado a la obtención de imágenes con una calidad muy similar a la obtenida con películas convencionales. ⁽²⁴⁾

Es así como en los últimos 10 años, las radiografías digitales se han convertido en una herramienta extremadamente valiosa como una alternativa a la radiografía convencional, con una reducción significativa de exposición a la radiación, de un 50 a 80% y con posibilidades de sistemas de mejoramiento del color y métodos densitométricos y de sustracción. ^{(2), (7), (22), (23)}

Sin embargo, Ørstavik, D., y Pitt Ford, T., señalan que se puede obtener una mayor cantidad de información mediante el uso de equipos más sofisticados como los empleados en técnicas de resonancia magnética y tomografía computarizada. ⁽²²⁾

Aunque la mayoría de dichas técnicas no son empleadas de forma rutinaria por los odontólogos, los mismos tienen la responsabilidad de adquirir conocimientos básicos sobre sus principios de funcionamiento y sus aplicaciones clínicas. ⁽⁴⁾

3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA TOMOGRAFÍA

El equipo esencial para la tomografía incluye un tubo de rayos X y una película radiográfica, que se encuentran conectados de forma rígida y son capaces de rotar alrededor de un punto fijo. El tubo de rayos X y la película se encuentran situados en lados opuestos del punto de apoyo, que está situado dentro del punto de interés o punto focal. Conforme comienza la exposición, el tubo y la película se mueven simultáneamente en direcciones opuestas a través de un enlace mecánico. (4), (5), (25)

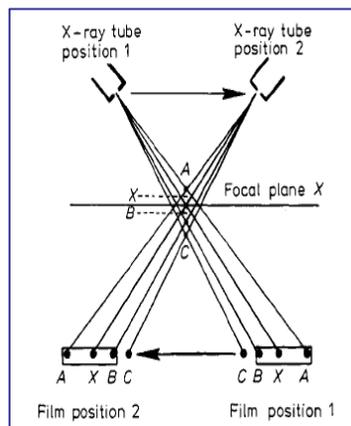


Gráfico 1. Tomografía convencional. Tomado de Bushong, 1993.

El fulcro es el punto de giro imaginario sobre el que se mueven el tubo y la película. El punto de apoyo se encuentra ubicado en el plano focal y solo los objetos anatómicos situados en ese plano serán visualizados y enfocados. Cuanto más

alejada esté una estructura del plano del objeto, más borrosa aparecerá su imagen. ⁽⁵⁾

Con el movimiento coordinado del tubo y la película, la imagen de un objeto situado en el punto de apoyo y dentro del plano focal, permanecerá en una posición fija sobre la radiografía a lo largo del recorrido del tubo y la película, de modo que se visualizará con claridad. Por otro lado, las imágenes de los objetos situados por encima o por debajo del plano focal, experimentarán cambios constantes de la posición de la radiografía, lo que hará que aparezcan borrosas hasta el punto de no poderlas reconocer como resultado de la falta de nitidez por el movimiento. ^{(4), (5), (18), (26)}

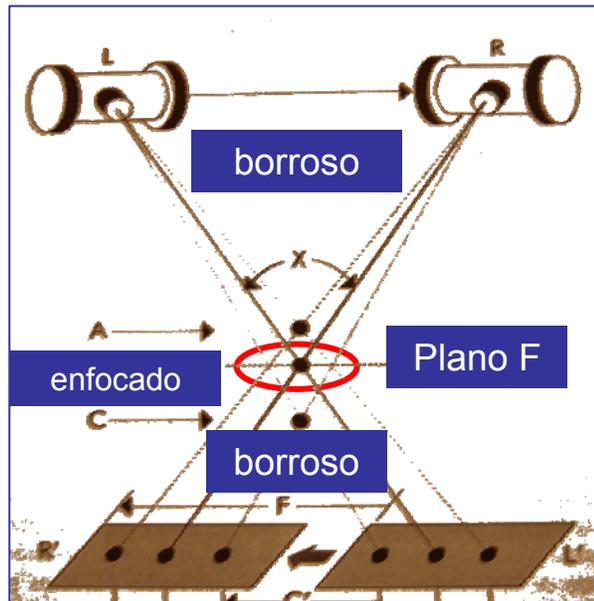


Gráfico 2. Funcionamiento del equipo. Tomado de Bushong, 1993.

Otro elemento importante a definir es el ángulo tomográfico, el cual es el ángulo de movimiento que determina el espesor del corte que no aparecerá borroso. Los objetos situados dentro de un volumen de tejido entre dos planos paralelos, estarán enfocados. Ese espesor de tejido visualizado se denomina capa tomográfica y su anchura se describe numéricamente por el espesor del corte. Cuanto mayor sea el ángulo tomográfico, más fino será el corte. ⁽⁵⁾

Frederiksen, N., citado por White y Pharoah, señala que el objetivo de la tomografía consiste en causar borrosidad de las

imágenes de estructuras que no estén localizadas en el plano focal. ⁽⁴⁾

La tomografía es una técnica radiográfica en la que se realiza un corte delgado radiográfico (2 a 4 mm. de grosor) de una estructura específica. La estructura puede cortarse a lo largo de cualquier eje deseado; si se seleccionan dos ejes en ángulo recto entre sí, podrá obtenerse una vista tridimensional. ⁽²⁷⁾

Por su parte, Eleta y col., citados por Martínez, J., señalan que la tomografía es un procedimiento radiológico en el que se registra una sola capa o estrato del organismo, sin la superposición de las restantes, a diferencia de lo que ocurre en las radiografías convencionales o planas. ⁽²⁸⁾

En 1962, la Comisión Internacional sobre las unidades y medidas radiológicas (International Commission on Radiologic Units and Measurements), adoptó el término de tomografía para referirse a todas las técnicas radiográficas en las que se obtienen secciones del cuerpo. ⁽²¹⁾

Las radiografías del área de la cabeza se pueden efectuar con diferentes equipos, aún cuando el principio de la técnica

empleada es similar. Estos sistemas se pueden agrupar en tres tipos:

- a) Tomógrafos convencionales de movimiento lineal.
- b) Tomógrafos convencionales de movimientos complejos.
- c) Tomógrafos computarizados. ⁽²⁸⁾

4. TOMOGRAFÍA CONVENCIONAL

La tomografía convencional con película es una técnica radiográfica especial, diseñada para visualizar con mayor claridad los objetos situados en un plano de interés, lo que se consigue provocando la borrosidad de la imagen de las estructuras situadas por encima y por debajo del plano de estudio. ^{(4), (18)}

Hay cinco tipos básicos de movimientos tomográficos: lineal, circular, elíptico, hipocicloidal y espiral. ^{(4), (5)}

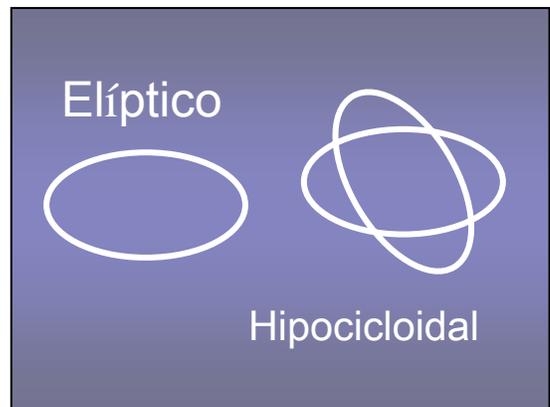
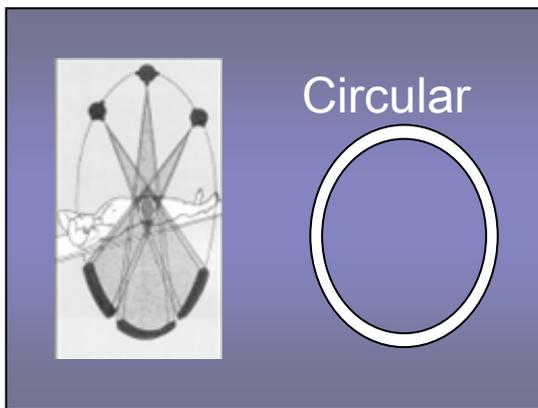
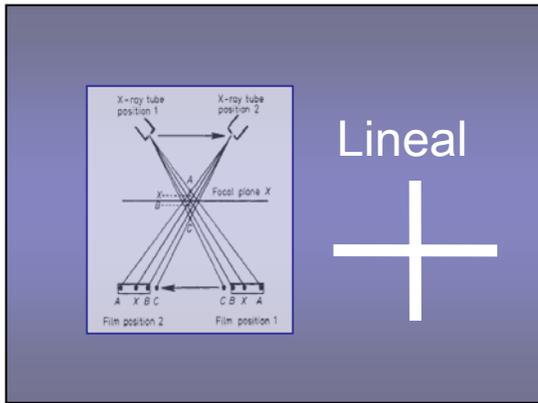


Gráfico 3. Movimientos tomográficos. Tomado de White y Pharoah, 2002.

4.1. Tomografía Lineal

La tomografía lineal es el examen tomográfico más simple; durante el mismo, el tubo radiográfico esta conectado mecánicamente el receptor de imagen y se mueve en una dirección mientras que el receptor de imagen lo hace en la opuesta, y el eje del sistema permanece estacionario. ^{(5), (21)}

Las imágenes tomográficas lineales con frecuencia muestran líneas rectas, que representan bordes de objetos lineales orientados a lo largo del patrón de movimiento del tubo. ⁽²¹⁾

En esta técnica, el grosor de la capa de interés viene determinado por los grados del ángulo tomográfico, y es inversamente proporcional al ángulo tomográfico. Así, a mayor ángulo tomográfico, más delgado es el corte. ⁽²¹⁾

4.1.1. Desventajas de la tomografía lineal

Con el movimiento lineal, las tomografías aparecen frecuentemente rayadas y con una densidad no uniforme, debido a que la distancia desde el tubo hasta el paciente y la angulación del haz del rayo, cambian durante la exposición con un movimiento lineal. ⁽⁴⁾

Otro de los inconvenientes de la tomografía lineal es que la sección enfocada no es muy definida y el grado de borrosidad varía en las distintas partes de la radiografía. ⁽⁵⁾

Aunque esto quizás resulte aceptable para algunas aplicaciones, cuando se necesitan tomografías con una densidad

uniforme más nítida, es necesario un movimiento multidireccional. ⁽⁴⁾

Sin embargo, Cotti, E., y Campisi, G., señalan que antes de que sistemas tomográficos más avanzados (como el tomógrafo computarizado dental) fuesen utilizados para el estudio de la anatomía y patología de los huesos maxilares, la tomografía lineal convencional, era aplicada a los tejidos bucales y dentales. ⁽⁷⁾

4.2. Tomografía Multidireccional

En la actualidad se puede obtener una tomografía si el tubo de rayos X y la película se mueven sincrónicamente en cualquier dirección o pauta direccional. Se emplean cuatro movimientos multidireccionales; circular, elíptico, hipocicloidal y espiral, de los cuales con los dos últimos movimientos se conseguirá una imagen tomográfica más nítida. El movimiento circular es el más pobre de los cuatro, pero aún así es considerablemente mejor que la tomografía lineal para obtener imágenes nítidas de cortes finos. ⁽⁵⁾

Gröndahl, H., y Huuonen, S., señalan que la tomografía en espiral en la que el tubo de rayos X y la película se mueven en un patrón de movimiento en forma de espiral, es una técnica muy efectiva para la producción de imágenes de estructuras anatómicas complejas, como lo es la región facial. ⁽²⁶⁾

El principal inconveniente de este tipo de tomografía es que las unidades pueden ser bastante costosas. ⁽⁵⁾

5. TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC)

La innovación de la tomografía computarizada radica en que no almacena las imágenes de modo convencional. En un equipo de TC no existe un receptor de imagen del tipo película, tubo intensificador de imagen o placa estimulable. ⁽⁵⁾

Un escáner de TC consiste en un tubo radiográfico que emite un haz de rayos X con forma de abanico finamente colimado, dirigido a una serie de detectores de centelleo o cámaras de ionización ^{(4), (29)}. Dependiendo de la geometría del escáner, tanto el tubo radiográfico como los detectores pueden rotar sincrónicamente alrededor del paciente, o los detectores pueden

formar un anillo continuo alrededor del paciente y el tubo de rayos X puede moverse en círculos dentro del anillo detector. ⁽⁴⁾

La imagen de TC es reconstruida por el ordenador, que manipula matemáticamente los datos de transmisión obtenidos desde múltiples proyecciones. Los datos obtenidos de esas proyecciones contienen toda la información necesaria para construir una imagen. ^{(4), (7)}

La reconstrucción de la sección de la anatomía estudiada se realiza mediante ecuaciones matemáticas adaptadas al ordenador, que reciben el nombre de algoritmos. ⁽⁵⁾

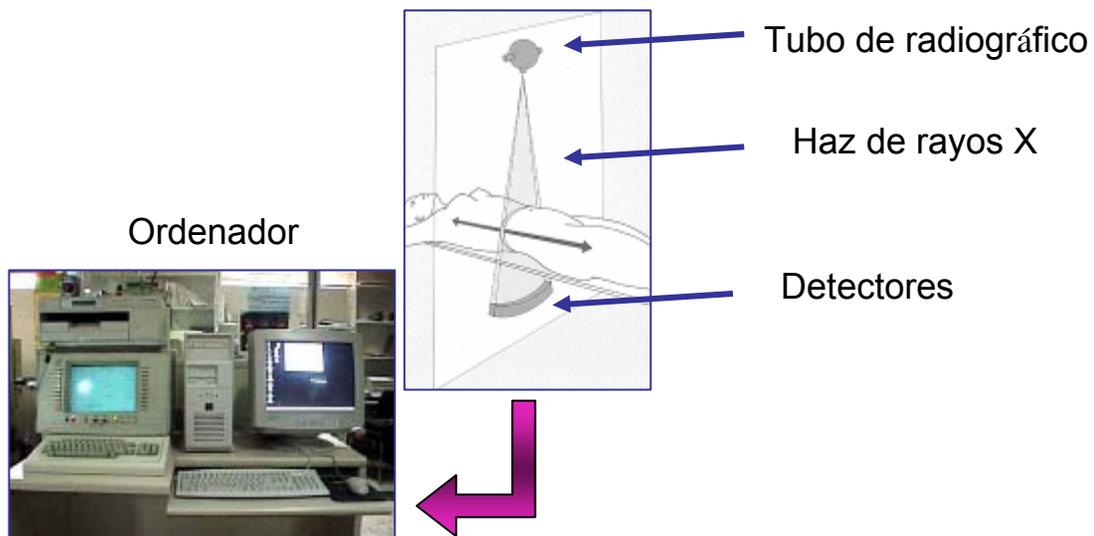


Gráfico 4. Obtención de la imagen TC. Tomado de White y Pharoah, 2002

5.1. Componentes del sistema

Los tomógrafos computarizados están compuestos por tres partes:

- Conjunto de Grúa.
- Ordenador.
- Consola de Control. ⁽⁵⁾

5.1.1. Conjunto de Grúa

Éste está formado por el tubo de rayos X, la matriz de detectores, el generador de alta tensión, la camilla del paciente y los elementos mecánicos de soporte de los componentes anteriores. Estos subsistemas se controlan desde la consola y envían datos al ordenador para generar y analizar la imagen. ⁽⁵⁾

Tubo de rayos X: es el elemento que genera la radiación y requiere de un generador de alta tensión que es quien le proporciona la energía al tubo de rayos X. ⁽⁵⁾

Matriz de detectores: los primeros equipos utilizaban un solo detector; los equipos más modernos emplean hasta dos mil

cuatrocientos detectores, que pueden ser de centelleo o de gas.

(30)

Los primeros detectores de centelleo, eran bastante grandes y cada tubo fotomultiplicador necesitaba alimentación independiente. ⁽⁵⁾

El número de detectores varía de un equipo a otro, pero las cifras habituales son de uno a ocho detectores por centímetro o de uno a cinco por grado. La concentración de detectores es una característica importante de estos equipos ya que afecta la resolución espacial conseguida. El 90% de los rayos que alcanzan los detectores son absorbidos y contribuyen con la señal de salida. Sin embargo, la eficacia total de intercepción es de alrededor del 45%, por lo que aproximadamente el 55% de la radiación generada contribuye a elevar la dosis que recibe el paciente sin contribuir con la formación de la imagen. ⁽⁵⁾



Gráfico 5. Tubo de Rx y Matriz de detectores. *Cortesía de la Dra. Adalza Hernández, 2007.*

Por otro lado, los detectores de gas, también utilizados en la TC, consisten en una cámara metálica sellada herméticamente que está llena bajo presión de un gas inerte de número atómico elevado que puede ser xenón o la mezcla de xenón y kriptón. ⁽⁵⁾

La radiación atraviesa al gas ionizando los átomos a su paso, lo que constituye una corriente eléctrica que es amplificada y medida. Su densidad será proporcional a la cantidad de radiación que la ha provocado. ⁽⁵⁾

La eficacia intrínseca y la eficacia total de los detectores de gas conducen a que los niveles de radiación absorbida por el

paciente sea aproximadamente la misma, a la generada por los detectores de centelleo. ⁽⁵⁾

Colimación: la colimación reduce la dosis que recibe el paciente al disminuir el área de tejido irradiada y mejora el contraste de la imagen al disminuir la radiación dispersa. ⁽⁵⁾

En TC suele haber dos colimadores: el colimador prepaciente, que se coloca en la carcasa del tubo y sirve para delimitar la zona del paciente que intercepta el haz útil, por lo que delimita el grosor del corte y la dosis que recibe el paciente; y el colimador predetector o postpaciente, que restringe el haz de rayos X que alcanza el detector y reduce la radiación dispersa que incide en el detector. ⁽⁵⁾

Generador de alta tensión: todos estos equipos son trifásicos, lo que permite utilizar rotores de tubos de rayos X de alta velocidad y proporciona los picos de potencia característicos de los sistemas de rayos X pulsantes. ⁽⁵⁾

Camilla de soporte: es una de las partes más importantes del tomógrafo, además de soportar al paciente durante el estudio, debe estar fabricado con un material de número atómico bajo,

para que no interfiera en la transmisión del haz rayo X. Las camillas más modernas están fabricadas de fibra de carbono. ⁽³⁰⁾

5.1.2. Ordenador.

Dependiendo del formato de la imagen puede ser necesario resolver simultáneamente hasta 30.000 ecuaciones, por lo que se requiere de un ordenador muy potente. El precio del ordenador supone aproximadamente la tercera parte del costo del equipo de TC completo. ⁽⁵⁾

El corazón del ordenador utilizado, está formado por el microprocesador y la memoria primaria. Estos determinan el tiempo que transcurre desde que termina la adquisición de la imagen, hasta que aparece en pantalla, es decir, el tiempo de reconstrucción de la imagen. ⁽⁵⁾

5.1.3. Consola de control.

Los equipos pequeños y de bajo volumen de trabajo tienen una sola consola, sin embargo los equipos más grandes y de mayor volumen de trabajo poseen dos consolas, una para el operador técnico y otra para el médico. ⁽⁵⁾

a) Consola del operador: permite seleccionar la técnica apropiada, controlar el movimiento de la grúa, la posición de la camilla y la reconstrucción y transferencia de la imagen. Por lo general poseen dos monitores de televisión, el primero proporciona los datos del paciente y el segundo permite ver la imagen. ⁽⁵⁾

Normalmente es posible ajustar el grosor de la sección de tejido examinado, los cuales suelen ser de 3 a 10mm., y algunos equipos permiten grosores de hasta 1mm. ⁽⁵⁾

b) Consola del médico: recibe la imagen enviada del operador y la muestra, para posibilitar el diagnóstico, permitiéndole al médico manipular la imagen para obtener la máxima información. Se pueden realizar ajustes de brillo y contraste, ampliación y visualización de zonas de interés y la utilización de paquetes de software específicos. ⁽⁵⁾



Gráfico 6. Consola de control. *Cortesía de la Dra. Adalza Hernández, 2007.*

5.2. Características de la imagen

La imagen obtenida en TC es diferente a la obtenida en radiografía convencional. En la radiografía, la imagen es resultado de la acción directa de los rayos X sobre el receptor de imagen. En la TC, los rayos X crean una imagen electrónica que se almacena y visualiza como una matriz de intensidades. ⁽⁵⁾

La imagen obtenida en la tomografía computarizada está constituida por un conjunto de celdas, cada una con un número que se visualiza en un monitor como niveles de brillo o densidad. Cada una de estas celdas de información es un píxel (Picture element o elemento de imagen), y la unidad contenida en cada píxel es un número TC o unidad Hounsfield. El tamaño del píxel esta determinado por el programa informático utilizado para reconstruir la imagen. ^{(4), (5)}

El volumen de tejido registrado y mostrado como una matriz de bloques individuales es llamado vóxel (volume element o elemento de volumen), y está definido por el tamaño del píxel multiplicado por el grosor de la sección registrada por el barrido o el ancho del haz del rayo, controlados a su vez por los colimadores pre y postpaciente. (2), (12)

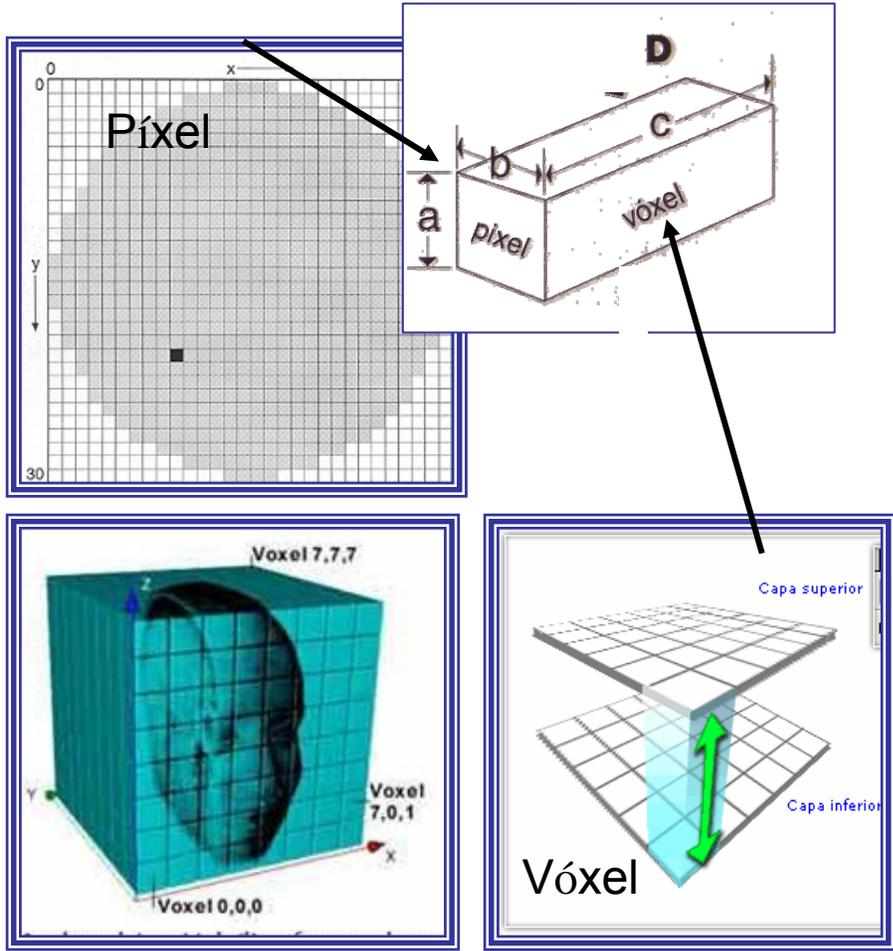


Gráfico 7. Componentes de la imagen. Tomado de Bushong, 1993.

Cada píxel aparece en el monitor de video como un nivel de brillo, y en la imagen fotográfica como un nivel de densidad óptica. Estos niveles corresponden a un rango de números de TC entre - 1000 y + 1000 para cada píxel. En esta escala - 1000 corresponde al aire y + 1000 al hueso denso; el número de TC cero corresponde al agua. Ese número es proporcional al grado en el que el material presente dentro del vóxel ha atenuado el haz de rayos X; esto representa las características de absorción o coeficiente de atenuación lineal de ese volumen particular de tejido dentro del paciente. ^{(4), (5)}

5.3. Reconstrucción de la imagen

Las proyecciones obtenidas por cada detector durante un barrido de TC se almacenan en la memoria del ordenador. La imagen se reconstruye a partir de estas proyecciones mediante un proceso que se denomina filtrado de las proyecciones. En este caso, el filtro es un procedimiento matemático y no un dispositivo de aluminio u otro material. ⁽⁵⁾

5.4. Evolución de los equipos tomográficos

Los tomógrafos computarizados han sido clasificados por generaciones en base a los avances tecnológicos en lo que

respecta al tubo y al sistema detector. Existen cuatro generaciones conocidas, sin embargo, los equipos más nuevos se clasifican de acuerdo al movimiento del tubo y el detector. ⁽³⁰⁾

5.4.1. Tomógrafos de la 1ra generación

Los primeros equipos fabricados por la EMI, empleaban movimientos de rotación-traslación. Los mismos estaban provistos de dos detectores y el haz colimado de rayos X, de tal manera que durante cada barrido se podían obtener dos cortes o imágenes contiguas. Su principal inconveniente fue el tiempo, ya que era casi de cinco minutos para completar un examen completo. ⁽⁵⁾

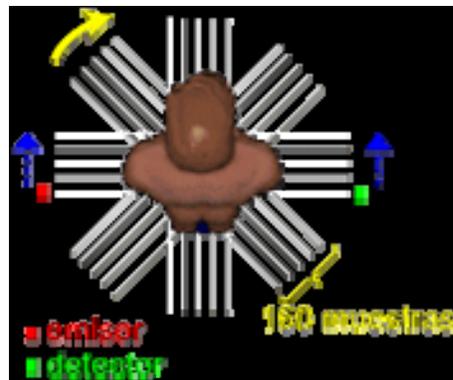


Gráfico 8. Tomógrafos de la 1ra generación.

5.4.2. Tomógrafos de 2da generación

La segunda generación realizaba igualmente movimientos de rotación-traslación, sin embargo, utilizaba un conjunto de detectores que interceptaban un haz en abanico en vez de un haz tipo lápiz. Con este haz, se producía un aumento de la radiación dispersa lo que afectaba la calidad de la imagen, aunque la principal ventaja de estos equipos era su velocidad, ya que al tener entre cinco y treinta detectores de radiación se conseguían tiempos de barridos mucho menores (20seg.) en comparación con los de la primera generación. ^{(5), (30)}

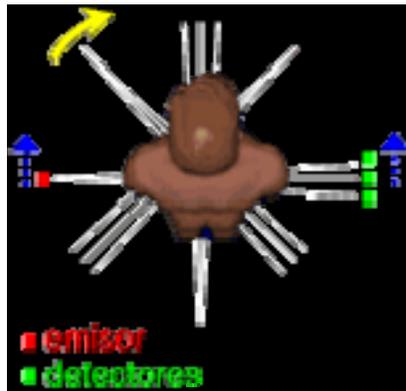


Gráfico 9. Tomógrafos de la 2ra generación

5.4.3. Tomógrafos de 3ra generación

En la tercera generación de escáneres, tanto el tubo de rayos X como la matriz de detectores rotan en torno al paciente y se consiguen tiempos de examen de solo un segundo. El haz de radiación cubre por completo al paciente durante todo el examen, y la matriz curvilínea permite que la distancia entre la fuente y el detector sea siempre constante, lo que facilita la reconstrucción de las imágenes y permite una mejor colimación ya que se le agregó la colimación predetector o postpaciente, lo que reduce la radiación dispersa. El problema que presentó esta generación de equipos fue la aparición ocasional de artefactos en anillos por falla de algún detector. ^{(5), (30)}



Gráfico 10. Tomógrafos de la 3ra generación

5.4.4. Tomógrafos de 4ta generación

La cuarta generación de equipos, introdujo el movimiento de rotación únicamente. En este caso solo gira el generador de rayos X y los detectores permanecen fijos. La detección de la radiación se consigue con un conjunto de al menos 1000 detectores colocados en forma de circunferencia. El haz tiene forma de abanico y el tiempo del examen es de 1 segundo. Se logran explorar secciones anatómicas de grosor variable gracias a la colimación prepaciente automática. El problema de los aparatos de cuarta generación radica en que la dosis que recibe el paciente es mayor que la recibida con otros tipos de escáner. Por otro lado, el costo de los equipos es más elevado debido al mayor número de detectores incorporados y a los componentes electrónicos asociados. ⁽⁵⁾

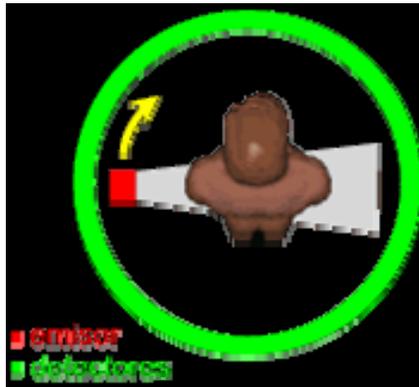


Gráfico 11. Tomógrafos de la 4ta generación.

Los equipos más novedosos utilizan movimientos helicoidales cuya diferencia con respecto a los tomógrafos computarizados convencionales radica en que el tiempo de barrido total se puede completar cuando el paciente toma un simple respiro. ⁽³¹⁾

El escáner espiral o helicoidal proporciona una mejor reconstrucción de las imágenes multiplanares, hay disminución del tiempo del examen (de 5min. a 12seg.) y una menor dosis de radiación (hasta un 75% menos); cuando se compara con los equipos de TC convencionales. ⁽⁴⁾

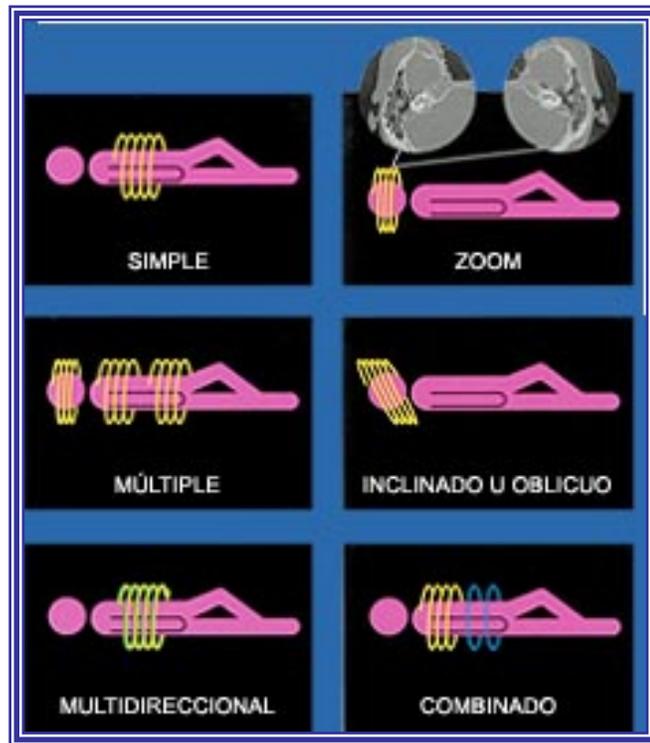


Gráfico 12. Movimientos helicoidal y espiral de equipos tomográficos de última generación.

Las imágenes de TC multiplanares han hecho una contribución significativa al diagnóstico. Sin embargo, esas imágenes siguen siendo bidimensionales y requieren de un cierto grado de integración mental por parte del observador para interpretarlas. Tales limitaciones han conducido al desarrollo de programas informáticos que formatean los datos obtenidos en los barridos de TC axiales, y los transforman en imágenes tridimensionales. ⁽⁴⁾

La tomografía computarizada tridimensional (TC 3D) exige que cada vóxel, considerado como un paralelepípedo rectangular, sea alterado dimensionalmente en múltiples voxeles cúbicos. Este proceso, llamado interpolación, crea conjuntos de voxeles cúbicos que ocupan el mismo volumen que el vóxel original. La creación de esos nuevos voxeles cúbicos permite reconstruir la imagen en cualquier plano sin pérdida de la resolución. ⁽⁴⁾

Una vez construidas, las imágenes de TC 3D pueden ser manipuladas nuevamente mediante rotación alrededor de cualquier eje, para visualizar la estructura desde múltiples ángulos. Además, se pueden eliminar porciones externas de la imagen para visualizar la anatomía más profunda. ⁽⁴⁾

5.5. Ventajas derivadas del uso de la tomografía computarizada

La tomografía computarizada proporciona varias ventajas en comparación con la radiografía convencional y la tomografía con película:

a) La TC elimina por completo la superposición de imágenes de las estructuras más superficiales o más profundas en el área bajo estudio en el paciente. ^{(4), (15), (26), (29)}

b) Con la TC se puede distinguir entre tejidos cuyas densidades físicas difieren en menos del 1%, mientras que en la radiografía convencional es necesario que las densidades físicas de los tejidos difieran en un 10% para poder ser distinguidas. ^{(4), (29)}

c) Los datos obtenidos de un solo procedimiento de TC consisten en múltiples barridos, que se pueden visualizar como imágenes en los planos axiales, coronarias o sagitales, dependiendo del área diagnóstica, proporcionando imágenes multiplanares ^{(3), (4), (26)}. Así mismo, dichos datos son almacenados digitalmente, lo que permite gran flexibilidad en el procesamiento, análisis y almacenaje de la información. ⁽²⁹⁾

Aunque, los beneficios derivados de la tomografía computarizada son bien conocidos, dichos beneficios vienen acompañados de riesgos. ^{(4), (9)}

Los riesgos individuales asociados a la radiación derivada del TC son bastante menores, comparados con los beneficios que puede proveer en cuanto a la exactitud del diagnóstico y tratamiento. Sin embargo, se debe evitar la exposición innecesaria a la radiación durante el procedimiento. Esto es de particular importancia cuando se trata de niños, en los que los riesgos de la exposición a la radiación son mayores que en los adultos, debido a que ellos tienen una división celular más rápida, además de tener una mayor expectativa de vida. ⁽³²⁾

Por otro lado, esta técnica resultaba costosa y estos aparatos no se encontraban disponibles para su empleo en el consultorio odontológico. ^{(15), (33)}

6. APLICACIONES DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA.

6.1. Aplicaciones de la TC en la medicina

La tomografía computarizada ha sido ampliamente utilizada en medicina en el área de cabeza, para la detección de lesión cerebral, fracturas craneales, tumores cerebrales, evaluación de aneurismas, deformaciones craneales e imágenes tridimensionales de estructuras cerebrales y craneales, entre otras aplicaciones. ⁽³⁴⁾

En el campo de la traumatología, hasta finales de los años 70, la evaluación de fracturas faciales era realizada con el uso de radiografías convencionales, pero con el advenimiento de la tomografía computarizada, cambió substancialmente la clasificación diagnóstica de dichas fracturas y su manejo terapéutico. La TC reveló la presencia de fracturas que con técnicas radiográficas convencionales se encontraban ocultas o fuera del área de la fractura principal. ⁽³⁵⁾

Por otro lado, Moss, J y col., reportan el uso combinado de TC y un escáner de láser para el estudio de los cambios de la estructura ósea y su relación con los tejidos blandos, posterior a una cirugía facial. Las imágenes en tercera dimensión obtenidas, son usadas para la planificación de cirugías y para proporcionar al paciente imágenes que simulan su apariencia facial posterior a la cirugía. ⁽³⁶⁾

Igualmente, se ha empleado ampliamente en medicina la fusión de la TC con Positron Emisión Tomography (PET) con lo que se logra medir la actividad metabólica del cuerpo. Estas imágenes no sólo son importantes en el diagnóstico de malignidad, sino que también contribuyen enormemente con la

evaluación de la efectividad de la terapia del cáncer y la detección de recurrencias posteriores al tratamiento. ⁽³⁷⁾

Sin embargo, Nakata, K y col., señalan que los tomógrafos utilizados en medicina, exponen al paciente a altas dosis de radiación en comparación a las dosis a las que son expuestos en radiografías intraorales o panorámicas; por lo que puntualizaron que su aplicación podía ser limitada en odontología. ^{(12), (15)}

6.2. Aplicaciones de la TC en la odontología

Los tomógrafos convencionales y los tomógrafos computarizados empleados en el campo médico no han sido aplicados de una manera exitosa en el diagnóstico de las lesiones dentales. ⁽³⁸⁾

Se ha señalado que la resolución de las imágenes que producen esos equipos es muy baja para la necesaria en aplicaciones dentales, y la dosis de radiación del paciente es bastante elevada, por lo que no son prácticos para ser aplicados en el área diagnóstica del ejercicio odontológico. ^{(12), (26), (39)}

Por otro lado, como se señaló anteriormente, esos equipos son costosos, puede generar altas dosis de radiación y no es fácil su disponibilidad en el consultorio odontológico. ^{(7), (10), (15), (40), (41)}

A pesar de esto, las imágenes en 3D de estructuras dentales son una herramienta valiosa en odontología, como por ejemplo en los tratamientos endodónticos, planificación de implantes y evaluación de defectos periodontales. ^{(39), (42)}

Es así como el uso de tomógrafos computarizados compactos especiales para su empleo en odontología, ha recibido considerable atención recientemente como una técnica nueva en el diagnóstico imagenológico en odontología. ⁽¹²⁾

En los últimos años se han desarrollado muchas técnicas tomográficas en el campo dental: TC dental, tomografía computarizada de haz de cono (CBCT), sistemas de tomografía computarizada de apertura sintonizada (TACT) y micro TC. ⁽⁷⁾



Gráfico 13. Equipos tomográficos dentales.

6.2.1. Tomógrafos dentales

6.2.1.1. TC Dental

El tomógrafo computarizado de uso dental (dental CT), fue introducido en 1987. Con el empleo de este equipo se obtienen barridos axiales de los maxilares usando la resolución más alta posible para lograr reconstrucciones multiplanares. ⁽⁷⁾

Con este sistema, mientras más lenta es la rotación del tubo de rayos X, más detallada es la información obtenida del barrido tomográfico. ⁽⁷⁾

En cuanto al protocolo estándar para la obtención de una TC dental para el diagnóstico de condiciones patológicas, se puede mencionar que: el tipo de barrido es incremental; 1,5mm. de espesor de la capa tomográfica; campo de visión 120mm. para el maxilar inferior y 100mm. para el maxilar superior; tiempo de barrido 2 segundos; 12Kv; 25 a 100mA. ⁽⁷⁾

Una vez que se completa la evaluación, las capas axiales son transferidas a la estación de trabajo para realizar la reconstrucción multiplanar; esto es logrado mediante un software dental. ⁽⁷⁾

La mayor preocupación derivada de estos TC dentales, era la alta dosis de radiación requerida en promedio para la realización del examen. En los últimos años, se han establecido métodos para la reducción de dichas dosis, entre los cuales se mencionan algunos a continuación:

a) Reducción del tamaño del tubo lo que conlleva a la disminución de la dosis de radiación.

b) Uso de capas tomográficas de espesores de 1,5mm. en lugar de 1mm.

c) Limitar el área de estudio seleccionando entre el maxilar superior o inferior excluyendo los barridos oclusales.

d) El uso de equipos tomográficos con movimientos espirales para generar capas transversales y hacer imágenes seriadas en 3D, conducen a la reducción del tiempo del examen. ⁽⁷⁾

6.2.1.2. Tomógrafo computarizado de haz de cono (CBCT)

A diferencia de los TC convencionales, los cuales eran grandes y costosos, el CBCT se adapta a las necesidades del consultorio dental donde el costo y las dosis de radiación son importantes. ⁽⁸⁾

Esta técnica es introducida en un esfuerzo por superar las desventajas derivadas de los TC convencionales en lo que respecta a altos costos, tamaño de los equipos y dosis de radiación generadas, y ha sido desarrollada específicamente para ser aplicada al área dental. ^{(26), (33), (40), (43)}

Este es un tomógrafo computarizado de alta resolución que usa un sensor 2D y un pequeño rayo en forma de cono (en lugar de un haz en forma de abanico). El mismo reconstruye imágenes

en cualquier dirección a través de un software que se ejecuta en una computadora personal; éste equipo ha sido desarrollado para ser aplicado en el área dental. (8), (18), (40)

Ésta técnica implica un escáner único de 360° en el que la fuente de radiación y el área de detección se mueven de una manera sincronizada alrededor de la cabeza del paciente, la cuál se encuentra estabilizada en un soporte de cabeza (8), (15), (26), (33), (43). De esta manera se obtienen imágenes base, las cuáles a través de algoritmos sofisticados proporcionados por un software, generan datos volumétricos en tercera dimensión que proporcionan imágenes de reconstrucción preliminares, en los tres planos ortogonales (axial, sagital y coronal). (8), (15), (26)

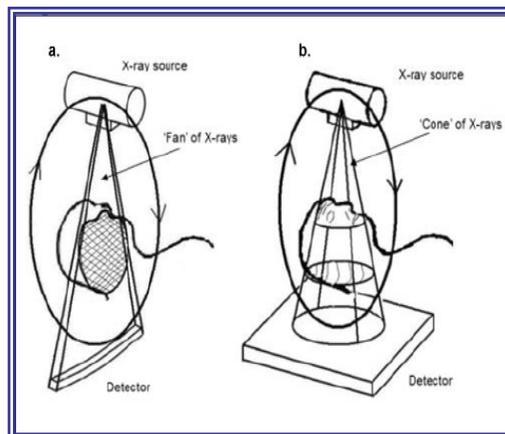


Gráfico 14. TC con haz de rayo en forma de cono, en contraste con el haz en forma de abanico. Tomado de Bushong, 1997.

El CBCT se caracteriza por la obtención de datos realmente volumétricos, obtenidos simultáneamente durante una rotación de la fuente de rayos X alrededor de un objeto estacionario; de esta manera ésta técnica proporciona una rápida adquisición de datos volumétricos con una disminución de la dosis de radiación. A partir de estos datos primarios se obtienen las imágenes axiales. (33)

Se pueden seleccionar diferentes espesores (0,125-2,0mm.) así como también diferentes distancias entre las capas dependiendo de la evaluación diagnóstica a realizar. (26)

Gröndahl, H., y Huuonen, S., señalan que regularmente se utilizan capas de 1mm. de espesor en intervalos de 1mm. De igual manera destacan que inicialmente se puede requerir de algún entrenamiento para entender las imágenes debido a que ellas representan finas capas, que se han originado de la suma de todas las estructuras presentes entre el tubo de rayos x y los detectores. (26)

Por otro lado, Araki, K., y col., señalan que el tiempo aproximado para obtener quinientas doce imágenes axiales con este sistema, es de cinco minutos, pero que el mismo puede

disminuir incrementando la velocidad de procesamiento de la computadora. ⁽⁴³⁾

Aunque el principio de esta técnica ha sido estudiado al menos durante dos décadas, sólo recientemente, con el desarrollo de tubos de rayos X menos costosos, de sensores de alta calidad y de computadores personales de gran poder; es que ha sido posible que estos sistemas se encuentren disponibles en el mercado. Entre ellos se pueden mencionar el Newton QR DVT 9000 (Verona, Italia) introducido en abril del 2001; y posteriormente otros sistemas como el CB MercuRay (Japón), 3D Accuitomo (J. Morita, Japón) y el i-CAT (Xoran Technologies) ^{(8), (29)}

Por su parte, Arai, Y., col., en 1999 ya habían desarrollado el Orto CT que es un tipo de CBCT empleado para el diagnóstico de tejidos duros dentales. Éste utiliza un sensor con la menor resolución de contraste posible y emplea rayos en forma de cono, aplicados sobre un campo de evaluación pequeño; por lo que la dosis de radiación recibida (85kV. y 10mA.) es casi la misma que la de una radiografía panorámica y mucho menor a la dosis recibida en una tomografía convencional de los maxilares. Éste equipo demostró tener un alto poder de resolución debido al

tamaño de sus voxeles y a que los mismos tienen forma cúbica, en comparación con los de los tomógrafos computarizados convencionales los cuales usan voxeles de mayor tamaño y en forma de paralelepípedo; características que los hacen insuficientes para un adecuado diagnóstico en odontología. ⁽⁴⁰⁾

Cohenca, N., y col., señalan que el Newton 3G puede generar 360 imágenes en intervalos de 1° en treinta y seis segundos, con una resolución de las imágenes obtenidas de 512 x 512 pixeles y 12 bite por píxel. El tamaño del píxel varía entre 0,25 y 0,42mm. dependiendo de la selección del usuario y el espesor de la capa puede ser fijado entre 0,1 y 5mm. ⁽²⁹⁾

Igualmente, en el año 2001 Honda, K., y col., se refieren al Orto CT destacando la disminución de las dosis de radiación, la cual se aproxima al 1% de la generada por un TC de movimiento en espiral. Por otro lado el tamaño del equipo no excede al de un panorámico, y señalan que casos clínicos como quistes, fracturas radicales, y dientes retenidos, pueden ser diagnosticados con gran precisión con el empleo de este equipo. ⁽⁴⁴⁾

En el mismo orden de ideas se puede mencionar que en ortodoncia el uso de imágenes de TC de rayo en cono (Cone-

beam CT), es muy útil en la evaluación del crecimiento y desarrollo craneofacial, y es comunmente utilizado en ciertas regiones, en especial en la costa oeste de los Estados Unidos. ⁽⁸⁾

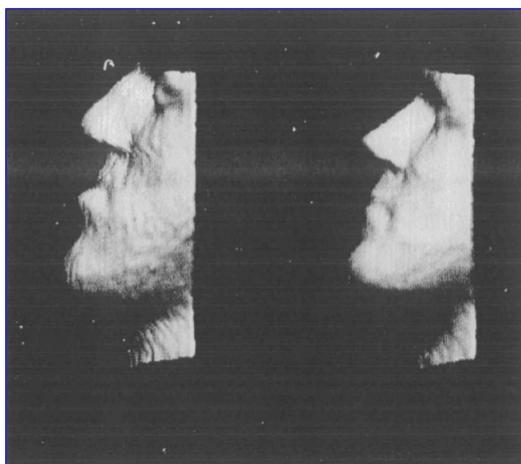


Gráfico 15. Uso de la tomografía en ortodoncia. *Tomado de Scarfe, 2006.*

Igualmente en la planificación de la colocación de implantes bucales se requiere de mucha precisión para evitar complicaciones relativas a su relación con estructuras anatómicas críticas y la TC es empleada para tal fin ^{(33), (45)}. Sin embargo, Fortín, T., y col., señalan que la principal desventaja de la aplicación de estos tomógrafos radicaba en las altas dosis de radiación recibidas por el paciente, las cuales se redujeron notablemente con la introducción de la CBCT, llegando a ser aproximadamente una sexta parte de la empleada con los TC convencionales. ⁽³³⁾

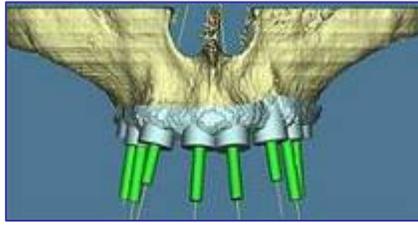


Gráfico 16. Reconstrucción de imágenes para colocación de implantes.

Tomado de Yamamoto y col., 2003.

El uso de estos equipos proporciona claras ventajas en comparación con los TC convencionales:

a) Limitación del rayo X: la mayoría de estas unidades puede ser ajustada a pequeñas regiones para diagnósticos específicos.

(7), (8), (43)

b) Precisión de la imagen: ya que la resolución en voxeles que proporciona este equipo es igual en sus tres dimensiones (voxeles isotrópicos), lo que genera una alta resolución que va de 0,4mm. a niveles tan bajos como 0,125mm. Los TC convencionales presentaban voxeles rectangulares de 0,625mm. y profundidades de 1 a 2mm. que resultaban en una baja resolución de la imagen ^{(8), (40), (43)}. En vista de que para el estudio de lesiones apicales se requiere de una alta resolución, los datos obtenidos de la TC convencional no proporcionaban una adecuada calidad diagnóstica. ⁽⁴⁰⁾

c) Tiempo de barrido rápido: requiere solamente de diez a setenta segundos para obtener todas las imágenes base, en una rotación simple. ^{(8), (40), (43)}

d) Reducción de la dosis: la dosis efectiva de radiación se reduce significativamente por encima del 98% cuando se compara con los sistemas TC convencionales ^{(7), (8), (40)}. En cuanto a este punto, Gröndahl, H., y Huumonen, S., señalan que las dosis de radiación generadas con el empleo de esta técnica son similares a las producidas por dos o tres radiografías intraorales; sin embargo, la diferencia en cuanto a la información obtenida es considerablemente mayor. ⁽²⁶⁾

e) Reducción de artefactos en las imágenes: con los programas fabricados para suprimir estos artefactos e incrementar el número de proyecciones, las imágenes pueden resultar en un nivel bajo de artefactos metálicos, en especial secundario a los diseños de reconstrucción para las vistas de los dientes y maxilares. ^{(8), (43)}

Scarfe, W., y col., señalan que el desarrollo y rápida comercialización de esta tecnología dedicada a la imagenología de la región maxilofacial, incrementará el acceso a los

odontólogos a evaluaciones en 3D en la práctica clínica dental. Las imágenes obtenidas a partir del CBCT proporcionan al clínico una resolución submilimétrica de alta calidad diagnóstica en cortos períodos de barrido y una dosis de radiación quince veces menor a la de los TC convencionales. ⁽⁸⁾

Por su parte, Gröndahl, H., y Huuonen, S., señalan que el desarrollo de CBCT, es sin duda un paso significativo que representa mejoras en el diagnóstico pre y postoperatorio tanto en la endodoncia como en muchas otras áreas de la odontología, ya sea como complemento o reemplazo de la radiografía convencional. ⁽²⁶⁾

6.2.1.3. Tomografía computarizada de apertura sincronizada (TACT)

El TACT, es un sistema en el cual múltiples imágenes adquiridas mediante diferentes ángulos de proyecciones son superpuestas en la computadora y mediante la tomosíntesis, son reconstruidas imágenes en 3D. Cada imagen inicial es llamada imagen base. Se requieren de ocho o más imágenes bases para reconstruir un corte de TACT. ^{(7), (18), (38), (41), (46)}

A partir de esta técnica se genera información tridimensional de una serie de proyecciones convencionales, como las radiografías periapicales, mediante el empleo de un software especial para reconstruir en volumen 3D. Estos pueden ser examinados de manera interactiva, mediante visiones en secuencia de las capas, en espesores que pueden ser libremente seleccionados posteriores a la exposición. ^{(26), (42)}

Las imágenes bases se obtienen a partir de proyecciones circulares que varían en veinte grados en relación a la proyección central, tomada con la técnica paralela. ⁽²¹⁾

La TACT le puede permitir al clínico obtener imágenes de un objeto deseado y aislar un área o profundidad específica enfocándose en la información contenida en una capa determinada. ⁽¹¹⁾

Entre las ventajas más significativa de la TACT tenemos que:

- a) Se requiere de equipos que no son costosos
- b) Las dosis de radiación son relativamente bajas
- c) La obtención de la imagen es muy simple

- d) La resolución es tan buena como la de una radiografía en 2D
- e) Los movimientos del paciente pueden ser tolerados. ⁽⁴²⁾

Huumonen, S., y Ørstavik, D., coinciden con Morant, R., y col., en señalar que un sistema de utilidad clínica podría consistir en un equipo radiográfico estándar, un dispositivo de adquisición de imagen digital (sensor), y un software necesario para la reconstrucción de las imágenes adquiridas. ^{(18), (46)}

Es justamente por el hecho de que se utiliza un sensor para la obtención de sus imágenes bases, que se requiere de menos dosis de radiación cuando se compara con las radiografías con película. ⁽³⁸⁾

Harase, Y., y col., señalan que cuando el receptor debe ser colocado en la boca del paciente, el mismo ha reportado incomodidad durante el procedimiento. En contraste con la TACT extraoral en la cual las imágenes bases pueden ser obtenidas colocando el receptor externo a la boca del paciente. ⁽³⁸⁾

El sistema de TACT ha sido de gran utilidad en el área dental, como es el caso de la detección de caries oclusales y

proximales, dientes retenidos, visualización más precisa de conductos radiculares y la evaluación de imágenes previa colocación de implantes. ^{(18), (38)}

Shi, X-Q., y col., señalan que la aplicación de ésta técnica tomográfica ha mejorado de una forma significativa la precisión en la detección de caries recurrentes. ⁽⁴⁷⁾

La mayoría de los estudios llevados a cabo con esta técnica han sido *in Vitro* ^{(11), (38), (46), (47)}. No obstante, Yamamoto, K., y col., reportan una investigación *in vivo* en pacientes con dientes retenidos ⁽⁴¹⁾. *Sin embargo, la TACT no esta, al menos aún, comercialmente disponible para su aplicación en el área dental.* ⁽²⁶⁾

6.2.1.4. Micro-Tomografía computarizada (Micro-TC)

La micro-TC es una técnica que emplea, ya sea un rayo en forma de cono o en forma de abanico, para obtener verdaderas imágenes en 3D de estructuras pequeñas con voxeles cúbicos (isotrópicos), logrando visualizar detalles microscópicos. ^{(3), (7), (14), (39)}

Nielsen, R., y col., en 1995 son los primeros en reportar la aplicabilidad del micro-TC en el área investigativa y experimental de la endodoncia ya que hasta esa fecha, los tomógrafos disponibles proporcionaban imágenes cuyos píxeles eran de 1mm., por lo que no proveían de una adecuada representación de estructuras pequeñas. Estos autores señalan que con el micro-TC, se pueden obtener voxeles cuyo tamaño viene determinado por el píxel, lo que conlleva a la obtención de imágenes con mucha mejor resolución que la generada por los equipos convencionales. Es así como de dichas unidades se pueden obtener imágenes con voxeles de 127 μ m/lado lo que permite un análisis extremadamente detallado del área examinada. ⁽⁴⁹⁾

La aplicación de esta técnica en el área de la endodoncia ha sido reportada por numerosos autores, quienes coinciden en que la mayor de sus ventajas radica en el hecho de que éste es un método no invasivo que permite la recolección de datos de dientes intactos que estarán disponibles para posteriores estudios, ya que las metodologías empleadas previamente para llevar a cabo estudios morfológicos y evaluar el espacio pulpar, el área superficial, la anatomía, instrumentación, obturación, etc,

requerían de la destrucción del diente. (3), (14), (18), (48), (49), (50), (51), (52)

Por otro lado, un gran número de capas tomográficas se encuentran disponibles para ser estudiadas. Mannocci, F., y col, destacan en su estudio en el que emplearon el micro-TC, que contaron con cuarenta capas tomográficas que pudieron observar por cada milímetro de raíz, mientras que en estudios previos era posible obtener una sola sección por milímetro. (52)

Se han mencionado de igual forma las desventajas de la técnica, ya que hasta el momento, la reconstrucción de las capas obtenidas requiere de una cantidad de tiempo considerable; Peters, O., y col., señalan que por ejemplo, para obtener las imágenes y la reconstrucción de un molar superior se requieren por lo menos tres horas, utilizando los sistemas más modernos que se encuentran disponibles. No obstante, recientes mejoras podrían sin duda, incrementar el uso de la micro-TC como método no destructivo para la evaluación de la geometría de los conductos radiculares. (3), (52), (53)

En la actualidad, la micro-TC es una técnica que se ha restringido al área investigativa de la endodoncia y que no puede

ser empleada para la obtención de imágenes *in vivo* ya que no esta disponible para su uso clínico, sino que es exclusiva para el estudio de pequeñas muestras, al requerir del empleo de elevadas dosis de radiación; sin embargo, se han comenzado a probar sistemas experimentales que emplean dosis mucho más bajas ^{(3), (7), (42), (49)}. Igualmente el costo de los equipos es otra de las consideraciones que inhibe el uso universal de esta metodología. ^{(3), (51), (52)}

7. APLICACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA EN ENDODONCIA

En las pasadas décadas se han descrito numerosos cambios en el mundo de la endodoncia. Nuevas tecnologías, instrumentos y materiales han resultado en un mejor diagnóstico y una terapia endodóntica mucho más predecible ⁽²⁹⁾. Tradicionalmente en la endodoncia, los cambios en la estructura del hueso que rodea el ápice radicular son estudiados mediante el uso de radiografías o de manera experimental mediante secciones histológicas ⁽¹⁴⁾. Como se mencionó anteriormente, las radiografías son proyecciones en dos dimensiones de estructuras en tres dimensiones; la mayoría de las veces ellas no proporcionan suficiente información del tamaño de la lesión, de su relación

espacial con estructuras anatómicas, y se ha establecido que se requiere de la pérdida de una cantidad considerable de hueso antes de que la lesión sea claramente visible. ^{(7), (15)}

Sistemas diagnósticos más avanzados como la tomografía computarizada, la resonancia magnética nuclear y la ecotomografía ultrasónica en tiempo real, han sido aplicados en endodoncia en los últimos diez a quince años como una manera de apoyar esos métodos imagenológicos tradicionales, y en cierto modo superando algunas de las limitaciones de esas técnicas obteniendo información más específica que pueda ser utilizada tanto para fines diagnósticos como para protocolos de investigación. ^{(7), (29)}

Nair, M., y Nair, U., destacan la utilidad de la aplicación de equipos que proporcionan imágenes en 3D como el TACT en endodoncia. Entre sus ventajas señalan que las dosis utilizadas son relativamente bajas, la adquisición de la imagen es sencilla, no requiere de equipos costosos, su resolución es tan buena como la obtenida en radiografías convencionales y se puede tolerar el movimiento del paciente. ⁽⁴²⁾

7.1. Visualización de la anatomía

Las variaciones de la morfología de los conductos radiculares, en especial en los dientes multirradiculares, son un reto constante para el logro de un diagnóstico y de un tratamiento endodóntico exitoso. Aún cuando ya se ha mencionado que el éxito del tratamiento depende de una adecuada limpieza, conformación y obturación del sistema de conductos radiculares ⁽⁵⁴⁾, es también indispensable un completo conocimiento por parte del operador de la anatomía de los mismos, ya que la falta de preparación de un conducto conlleva al fracaso endodóntico. ^{(54), (55), (56)}

Históricamente se han descrito numerosas técnicas para la visualización de la anatomía tridimensional del sistema de conductos radiculares de dientes humanos ⁽⁵⁵⁾. Sin embargo, el entendimiento del espacio pulpar se ha limitado al análisis del mismo luego de la destrucción del espécimen estudiado o al análisis de radiografías bidimensionales ⁽⁴⁹⁾. Las radiografías convencionales se han utilizado tradicionalmente en varias etapas del tratamiento, pero éstas no nos permiten visualizar las complejidades anatómicas ⁽⁵⁴⁾. Así mismo, la clarificación es otra de las técnicas que ha sido considerada de gran valor en el

estudio de la anatomía del sistema de conductos radicular. Ésta proporciona una vista tridimensional del mismo y su relación con la cámara pulpar. Igualmente es considerada de gran utilidad como herramienta de enseñanza e investigación, sin embargo, tiene poca o ninguna aplicabilidad clínica debido a que es un estudio destructivo. ⁽⁵⁴⁾

Es así como debido a la composición del diente cuyos tejidos poseen distintas densidades radiográficas se ha podido llevar a cabo su estudio mediante el empleo de tomografía computarizada ⁽⁴⁹⁾, el uso de la misma supera las desventajas de las radiografías convencionales mediante la producción de imágenes en tercera dimensión. Se reconoce entonces que, éstas técnicas han surgido como una poderosa herramienta en la evaluación de la morfología de los conductos radiculares. ⁽⁵⁶⁾

Ya en 1990, Tachibana, H., y col., confirman la aplicabilidad de la TC en la endodoncia. Ellos señalan en base a su estudio *in vivo* que fue posible visualizar el número y localización de las raíces, configuración de los conductos y su amplitud bucolingual y mesiodistal, al igual que la presencia o ausencia de material de obturación en los mismos, entre otros hallazgos. Sin embargo, la resolución espacial disponible en ese entonces (0,6mm.),

producía imágenes que no eran lo suficientemente precisas como para permitir un detallado análisis estructural. ⁽⁵⁷⁾

Posteriormente, en 1995, se comienza a investigar acerca del empleo del micro-TC con el que se logra mejorar la resolución de las imágenes obtenidas con las técnicas tomográficas convencionales. Los datos obtenidos a partir de esta técnica ofrecen ventajas significativas en la capacidad de reconstruir con óptimo detalle los tejidos del diente, antes, durante y después de ser estudiados. Igualmente, otra de sus ventajas radica en el hecho de que los datos obtenidos se encuentran disponibles para una re-evaluación posterior, debido a que los especímenes estudiados no son destruidos como se mencionó anteriormente que ocurría con estudios de alta resolución. ⁽⁴⁹⁾

En este sentido en 1995, Nielsen, R., y col., afirman que la micro-TC es una nueva e innovadora herramienta de investigación en el campo de la endodoncia. Los mismos demostraron la capacidad de la técnica, no sólo para evaluar relaciones morfológicas de una manera no destructiva, sino también como una herramienta de enseñanza en el campo de la educación. ⁽⁴⁹⁾

Bjørndal, L., y col., en 1999, realizaron un estudio en el que emplearon micro-TC para evaluar la macromorfología externa e interna de molares superiores. Ellos destacan que fue posible la obtención de dichos datos a partir de un análisis global en 3D de la macromorfología interna y externa de la raíz utilizando una resolución de 100µm entre capas tomográficas. Los resultados del estudio mostraron una fuerte correlación entre los conductos radiculares y la macroestructura del complejo radicular. ⁽⁵⁸⁾

Igualmente, Rhodes, J., y col., en el mismo año demuestran que la micro-TC es una técnica no invasiva de evaluación tridimensional que mostró una complejidad del sistema de conductos radiculares no detectable mediante el empleo de radiografías en 2D. De igual manera coinciden con Nielsen, R., y col., al señalar que la micro-TC es un instrumento de gran utilidad en campo de la investigación endodóntica. ⁽³⁾

En los últimos años, se han llevado a cabo estudios a partir de la aplicación tanto de la tomografía computarizada, como de la micro tomografía computarizada, con el fin de evaluar la anatomía de los sistemas de conductos en 3D, dadas sus propiedades de alta resolución y a que no son métodos invasivos. ⁽⁵⁹⁾

Oi, T., y col., en el 2004, luego de evaluar los cambios morfológicos de las cavidades pulpares en premolares agrupados en base a edades (décadas de los veinte, cuarenta y sesenta), mediante el empleo de micro-TC, concluyeron que la amplitud mesiodistal y bucolingual de la cavidad pulpar y de los conductos disminuye con la edad y que el período en el que dicha observación se hace más marcada es durante las décadas de los veinte a los cuarenta. ⁽⁶⁰⁾

En el 2005, Mannocci, F., y col., por su parte, investigaron acerca de la prevalencia de los istmos en los 5mm. apicales de la raíz mesial de los conductos de molares inferiores utilizando la micro-TC. Ellos determinaron que los tres milímetros finales del ápice presentaron más istmos de los esperados, lo que tiene una importante implicación clínica en el fracaso del tratamiento endodóntico. Así mismo destacan que el empleo de la micro-TC les permitió observar cuarenta secciones por cada milímetro de raíz, lo que se traduce en otra de las ventajas derivadas de dicha técnica. Sin embargo acotaron que la misma es costosa y que consume mucho tiempo por lo que en su estudio solo pudieron examinar veinte raíces. ⁽⁵²⁾

En el 2006, fueron publicados una serie de estudios anatómicos en los que se empleó la micro tomografía computarizada como herramienta de investigación. Entre ellos, Lee, J., y col., se interesaron en el estudio de la curvatura radicular de primeros molares superiores debido a su implicación en el acceso al conducto y el riesgo de fractura del instrumento durante la preparación. Ellos confirmaron lo que ya se conocía por experiencia clínica; las curvaturas del conducto son más pronunciadas en los conductos mesiovestibulares (MV), moderadas en los distovestibulares (DV) y menos pronunciadas en los conductos palatinos (P). Así mismo, la curvatura se incrementa en el tercio apical, particularmente en los conductos MV y DV, y cuando hay presencia de conductos accesorios. ⁽⁶¹⁾

Gopikrishna, V., y col., reportaron un caso poco común de un primer molar superior con una sola raíz y un conducto. Una mujer de 48 años, se quejaba de dolor en la región posterosuperior izquierda. La evaluación del primer molar superior izquierdo demostró la presencia de un trayecto fistuloso en palatino. El diente presentó sensibilidad a la percusión vertical y respondió negativamente a las pruebas térmicas y a la eléctrica. La radiografía mostró una radiolucidez a nivel apical y resorción radicular; igualmente se visualizó una anatomía inusual para un

molar superior al presentar una raíz y un conducto. Se diagnosticó periodontitis apical aguda y se planificó el tratamiento endodóntico. Los autores señalaron que se sospechó la presencia de un conducto omitido, pero finalmente se encontró solo un conducto. Ante las dudas referentes al caso, no consideraron confiable una radiografía convencional. ⁽⁵⁶⁾

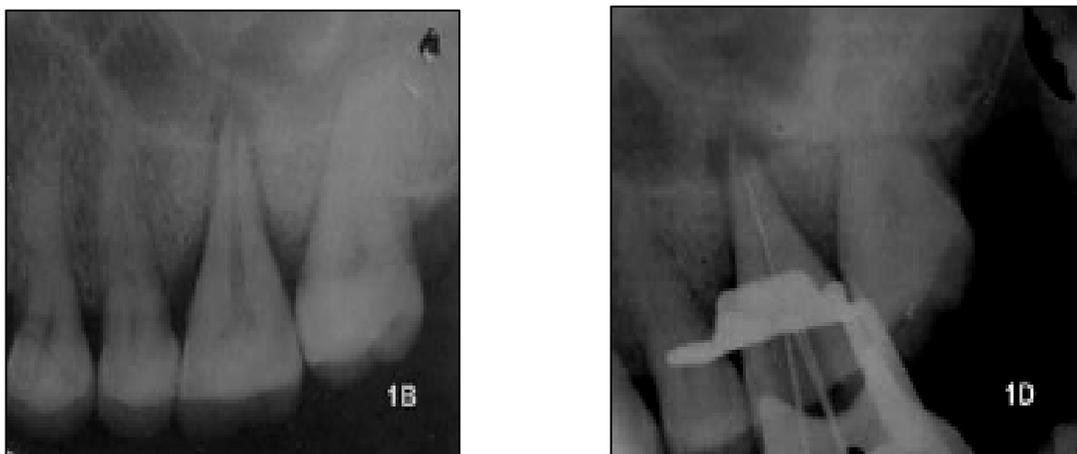


Gráfico 17. Radiografías periapicales del caso. *Tomado de Gopikrishna y col., 2006.*

Por tal motivo se planificó la realización de una TC con el fin de investigar la morfología tridimensional del diente. Las imágenes obtenidas revelaron que el primer molar superior izquierdo presentaba un solo conducto. Finalmente, se decidió culminar el tratamiento endodóntico. ⁽⁵⁶⁾

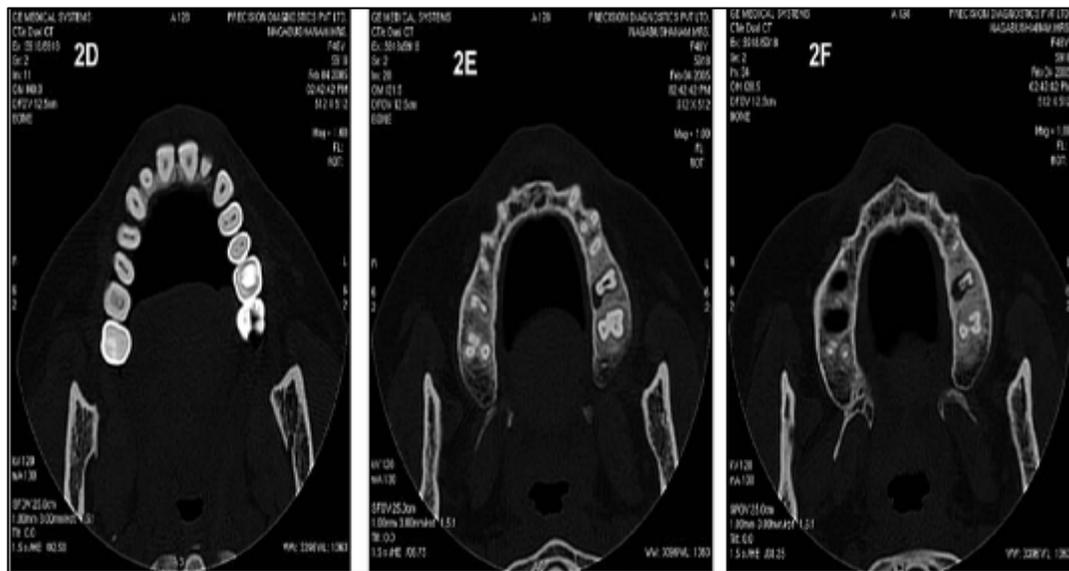


Grafico18. Cortes tomográficos a nivel de tercios coronal, medio y apical.

Tomado de Gopikrishna y col., 2006.

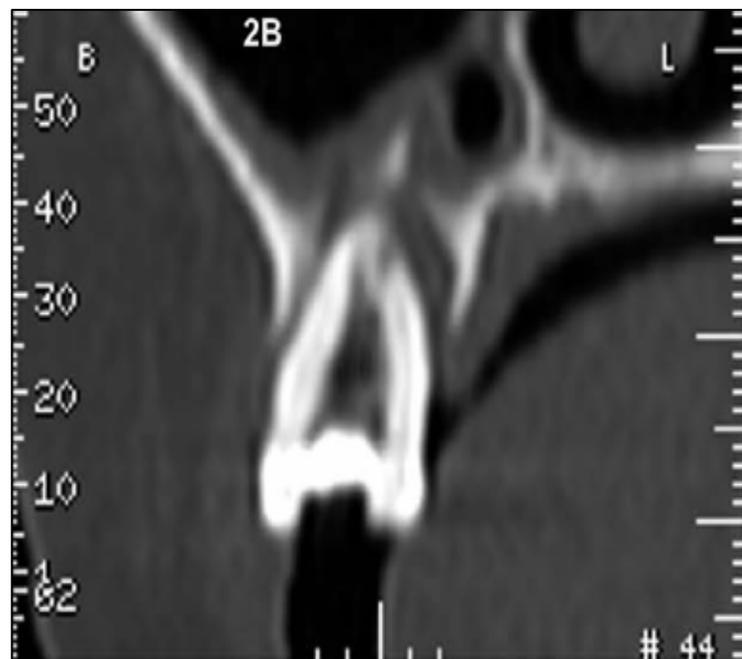


Gráfico 19. Corte longitudinal del 1er molar maxilar izquierdo. *Tomado de*

Gopikrishna y col., 2006.

Aunque los conductos adicionales son más una regla que una excepción, el odontólogo debe estar consciente del hecho de que en ciertos casos existe la posibilidad de la existencia de una menor cantidad de conductos de los normalmente presentes en la morfología radicular. La TC es una herramienta analítica objetiva para la investigación de la morfología de los conductos. ⁽⁵⁶⁾

Los conductos en C son otra de las variantes anatómicas del sistema de conductos radiculares, en especial en segundos molares inferiores. La prevalencia de los mismos es mucho más alta en la población asiática que en otras razas. Se han publicado numerosos estudios acerca de la configuración variable de estos sistemas de conductos. ⁽⁶²⁾

Es así como Min, Y., y col., investigaron la morfología del piso de la cámara pulpar de segundos molares inferiores con sistemas de conductos en forma de C mediante el uso de micro tomografía computarizada. Los resultados sugirieron que la mayoría de estos dientes con raíces en forma de C, también presentaron pisos pulpares en forma de C y que una nueva clasificación de la anatomía del piso pulpar podría ser de gran utilidad en la localización de los mismos. ⁽⁵⁹⁾

Por su parte, Gao, Y., y col., realizaron otro estudio para investigar la morfología del sistema de conductos en C mediante reconstrucciones en 3D con micro-TC. Adicionalmente midieron el espesor mínimo de cada pared del conducto en cada porción. Ellos determinaron tres tipos de sistemas de conductos en C basados en los hallazgos de los conductos reconstruidos. Igualmente reconocieron las zonas de peligro que pudieron ser identificadas en el tercio medio del tipo III, y en la porción apical del tipo II y III. Dichos hallazgos resultan importantes en la prevención de errores de procedimientos que pudiesen ocurrir durante la limpieza y conformación, o la preparación de espacios para pernos. ⁽⁶²⁾

7.2. Diagnóstico de lesiones periapicales

La TC nos permite apreciar claramente los procesos alveolares con los dientes, la base del maxilar superior con sus vasos y conductos, el seno maxilar, el piso de fosas nasales y el conducto incisivo ya sea en condiciones normales o patológicas. ⁽⁷⁾

De estas estructuras, el proceso alveolar es el área de mayor interés en el campo de la endodoncia ya que a ese nivel es

donde ocurren la mayoría de los cambios patológicos que involucran las raíces de los dientes, la posible presencia de cuerpos extraños y las reacciones inflamatorias del hueso, ya sean osteolíticas o condensantes. A partir de las reconstrucciones obtenidas de la TC dental, son fácilmente visualizados los procesos alveolares dentales. De igual manera, se logran visualizar las raíces de los dientes y el espacio del ligamento periodontal permitiendo identificar si una condición patológica esta presente. ⁽⁷⁾

La TC ofrece una muy buena visualización de estructuras como el seno maxilar y del piso de las fosas nasales, así como la extensión de su relación con las raíces de los dientes, lo cual es de gran importancia para el estudio del origen y dimensiones de las lesiones endodónticas. ⁽⁷⁾

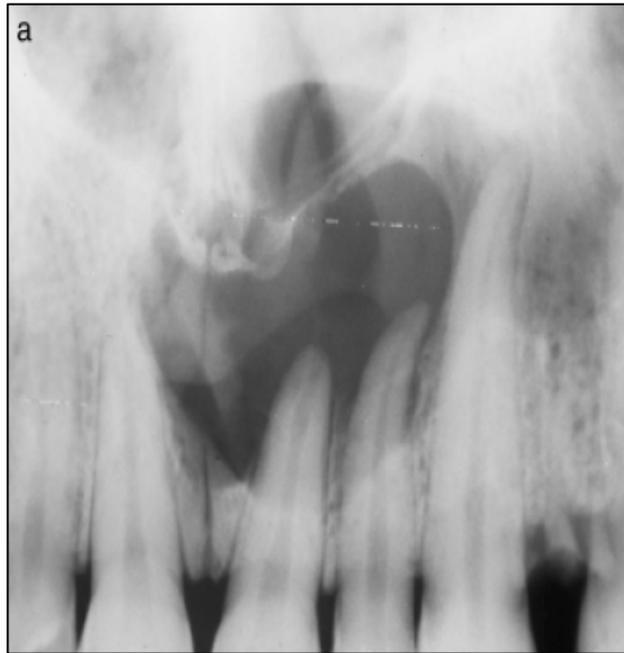


Gráfico 20. Imagen bidimensional proporcionada por una Rx periapical.

Tomado de Cotti y Campisi, 2004.



Gráfico 21. Corte tomográfico donde se muestra la relación de la lesión con el piso de fosas nasales. *Tomado de Cotti y Campisi, 2004.*

Las lesiones periapicales de origen endodóntico que pueden encontrarse en el hueso maxilar o en el mandibular, pueden clasificarse en: quistes y granulomas, dependiendo de su naturaleza y de sus hallazgos histopatológicos. ⁽⁷⁾

En la práctica diaria, los cambios en la mineralización de las estructuras óseas adyacentes al sitio de la inflamación, constituyen la base de los procedimientos diagnósticos radiográficos para la detección y monitoreo de lesiones apicales crónicas. ⁽¹⁸⁾

La radiografía periapical es el método comunmente utilizado para establecer la presencia de una lesión periapical. Sin embargo, muchas veces es necesaria la obtención de información adicional como la extensión de la lesión, el número de raíces y conductos del diente afectado, y las raíces que están involucradas. ⁽¹⁵⁾

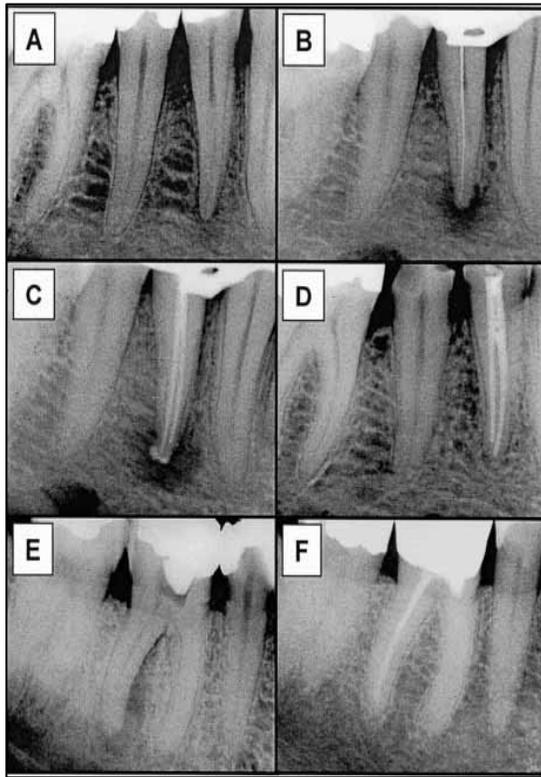


Gráfico 22. Evaluación del estado periapical comunmente llevada a cabo con el uso de radiografía periapicales. *Tomado de Lofthag-Hansen y col., 2007.*

Las radiografías están limitadas a la visualización de tejido duro y no de tejido blando; por lo tanto, ellas no pueden guiar al clínico hacia un diagnóstico de las características del tejido blando de la lesión y a la diferenciación entre un quiste y un granuloma ⁽⁷⁾. De igual manera, no permiten una evaluación objetiva de la cicatrización o expansión de una lesión y muchas veces la misma se dificulta por la superposición de estructuras anatómicas. ⁽¹⁹⁾

La información tridimensional necesaria puede ser obtenida de una tomografía computarizada, la cual provee de elementos de utilidad diagnóstica no evidenciados en radiografías periapicales ⁽¹⁵⁾. Es así como en casos clínicos más complejos que involucran lesiones de gran tamaño o problemas en el diagnóstico diferencial o seguimiento, la TC puede ser de gran ayuda. ⁽¹⁹⁾

Cotti, E., y col., reportaron un caso en el que con el uso de radiografías periapicales y panorámica no lograron determinar la extensión de una lesión a nivel del maxilar superior por lo que requirieron de la TC para determinar las dimensiones exactas de la misma y las zonas involucradas. Luego de la evaluación de la TC se decidió llevar a cabo sólo los tratamientos de conductos en los incisivos central y lateral izquierdo, y no se realizó la cirugía contemplada inicialmente como parte del plan de tratamiento. Un año después se observó evidencia de cicatrización y el caso continuó asintomático. ⁽¹⁹⁾



Gráfico 23. Radiografía periapical y corte tomográfico del caso. Tomado de Cotti y col., 1999.

Por su parte, Trope, M y col., luego de evaluar mediante el empleo de TC lesiones periapicales en cadáveres, concluyeron que las cavidades quísticas pueden ser diferenciadas de los granulomas basados en la densidad mostrada en su apariencia tomográfica. Ellos señalan que los quistes pueden aparecer como áreas marcadamente más oscuras cuando se comparan con los granulomas o con el tejido fibroso de una cicatriz apical. ⁽²⁰⁾

Basándose en los resultados obtenidos en el estudio de Trope y col.; Simon, J., y col., se propusieron en su estudio comparar el diagnóstico de lesiones periapicales mediante la valoración de la

escala de grises obtenida de imágenes tridimensionales de CBCT y las compararon con los reportes de las biopsias de dichas lesiones. Ellos encontraron que el escáner CBCT puede proporcionar un diagnóstico más preciso, y que puede ser un método más rápido para establecer un diagnóstico diferencial entre una lesión sólida y una lesión o cavidad llena de fluido. El CBCT no diferencia entre la presencia de un quiste y un granuloma, sino entre una lesión de tejido blando sólido y una de tejido suave pero de un área menos densa como una cavidad con fluido en su interior (quiste). Finalmente señalaron que el CBCT puede ser clínicamente más preciso y más útil que la biopsia, ya que esta última puede resultar en la toma de una muestra distorsionada y no completa de la lesión, restándole precisión en el diagnóstico. ⁽⁶³⁾

Por su parte, Lofthag-Hansen,S. y col., consideraron interesante evaluar las imágenes obtenidas a partir de CBCT. Ellos señalan que cuando se usan técnicas tomográficas adecuadas es posible visualizar cada raíz por separado. Destacan un caso en el que las lesiones a nivel de un primer y segundo molar maxilar, no fueron detectadas mediante la radiografía convencional pero fueron claramente visibles en las imágenes tomográficas. La lesión a nivel del segundo molar

superior es vista en tres planos perpendiculares. Igualmente en una visión sagital, es posible visualizar el adelgazamiento de la membrana mucosa a lo largo del piso de seno. ⁽¹⁵⁾



Gráfico 24. Lesión no detectada radiográficamente. *Tomado de Lofthag-Hansen y col. 2007.*



Gráfico 25. Lesión visible en corte tomográfico. *Tomado de Lofthag-Hansen y col. 2007.*

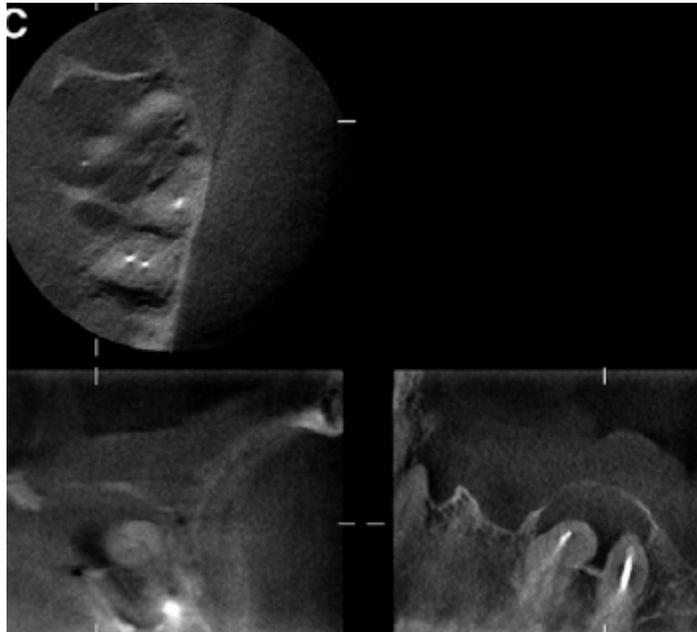


Gráfico 26. Lesión observada en los tres planos perpendiculares. *Tomado de Lofthag-Hansen y col. 2007.*

Ellos concluyeron que en ciertos casos, como por ejemplo, cuando no hay patología detectable radiográficamente, aún cuando la clínica indique lo contrario, o cuando se ha planteado una cirugía endodóntica en dientes multirradiculares, debería considerarse una evaluación adicional que implique el empleo de técnicas tridimensionales como la TC. ⁽¹⁵⁾

Nakata, K., y col., reportan un caso en el que se evaluó la efectividad de un nuevo equipo tomográfico dental, el 3DX, en la evaluación y diagnóstico de la presencia y expansión de una lesión apical de un diente multirradicular. ⁽¹²⁾

Señalan que una paciente de 50 años de edad, de sexo femenino, se quejaba de dolor severo a nivel molar en el lado derecho del maxilar superior, y manifestó ligera sensibilidad al calor; sin embargo, ella no pudo especificar el diente causal del dolor. Presentó adicionalmente molestia moderada a la percusión vertical en el área molar y premolar y dolor a la palpación en la región perirradicular vestibular de dichos dientes. Las radiografías periapical y panorámica no mostraron alteración aparente en los dientes, y no se pudo determinar la relación de las raíces de estos dientes con el seno maxilar por este medio. Aunque se sospechó de muchas causas fue muy difícil diagnosticar la procedencia de la sintomatología clínica presente. Se decide entonces examinar el caso mediante el uso de TC. ⁽¹²⁾

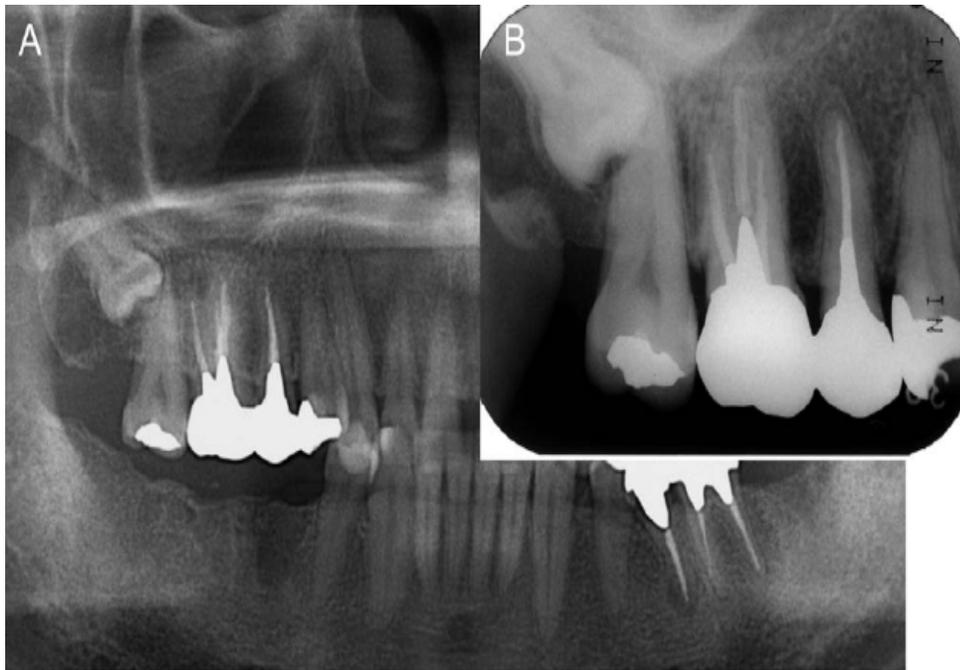


Gráfico 27. Ausencia de lesión apical, Rx periapical y panorámica del caso.

Nakata y col., 2006.

En este caso, las imágenes revelaron la presencia y expansión de una lesión periapical con una ligera resorción ósea solo en la raíz distovestibular del primer molar superior derecho. El tamaño de la lesión fue de aproximadamente 4mm. de diámetro. El mismo pudo ser medido a través del software exclusivo del tomógrafo utilizado (3DX). Adicionalmente se determinó que la lesión se encontraba muy cercana al seno maxilar. No se observó ninguna lesión relacionada a las raíces mesiovestibular o palatina. A la luz de estos resultados, el tratamiento fue llevado a cabo. Y tres años después se confirma

la presencia de una adecuada cicatrización sin complicaciones.

(12)



Gráfico 28. Imágenes tomográficas, se observa lesión apical relacionada al molar. Tomado de Nakata y col., 2006.

Es importante conocer con precisión la condición patológica presente, las estructuras anatómicas involucradas y su relación en cuanto a la posición entre ambas, para llevar a cabo el mejor tratamiento endodóntico posible, y se requiere de la radiografía para este fin. Las técnicas actualmente disponibles para la práctica clínica de rutina son excelentes, en cuanto a objetividad y seguridad, y son muy útiles en el diagnóstico clínico. Sin embargo, estas radiografías son imágenes en 2D y reflejan poca información de las estructuras bucales y linguales. Una serie de

imágenes bases obtenidas de un barrido con el 3DX, pueden ser reconstruidas fácilmente proporcionando imágenes de calidad diagnóstica adecuada sin necesidad de otra exposición a radiación. ⁽¹²⁾

Nakata, K., y col., enfatizan que el desarrollo de estos novedosos tomógrafos dentales, ha hecho posible la utilización adecuada de las propiedades de los tomógrafos médicos pero en el campo de la odontología. ⁽¹²⁾

Finalmente, Cotti, E., y Campisi, G., señalan la importancia de la aplicación de la TC en el diagnóstico diferencial de lesiones periapicales y otras condiciones patológicas de los maxilares como los quistes periodontales laterales, keratoquiste odontogénico, quistes dentígeros, quistes de desarrollo, quistes traumáticos de hueso, algunas formas de ameloblastoma y displasias cementarias. Destacan que la TC ha sido empleada con éxito como herramienta de ayuda en el diagnóstico diferencial de dichas lesiones. ⁽⁷⁾

7.3. Diagnóstico de fracturas

La incidencia de trauma dental como resultado de caídas, accidentes en bicicletas u otras actividades deportivas es elevada en niños y adolescentes. La mayoría de dichas lesiones traumáticas involucran sólo a la dentición en un 50% de los casos, y a la dentición y tejidos blandos adyacentes en un 36%; motivo por el cual los traumatismos dentales se presentan como un reto para el clínico en lo que respecta a su diagnóstico, plan de tratamiento y pronóstico. ⁽²⁹⁾

Desafortunadamente, las radiografías intraorales proveen de escasa sensibilidad en la detección de mínimos desplazamientos dentales, radiculares y fracturas alveolares. La aplicación de CBCT ha mejorado significativamente la posibilidad de diagnosticar, de una manera precisa lesiones traumáticas, superando la mayoría de las limitaciones derivadas de las radiografías convencionales. ⁽²⁹⁾

Cohenca, N., y col., reportan un caso en el que un traumatismo producto de un evento deportivo, ocasionó daños en el incisivo central superior izquierdo de un paciente que acudió a consulta con laceración de tejidos blandos y ligera movilidad y

sensibilidad a la percusión. Radiográficamente se observó ligero desplazamiento del diente involucrado. ⁽²⁹⁾



Gráfico 29. Fotos clínicas del caso. *Tomado de Cohenca y col. 2007.*



Gráfico 30. Radiografías periapicales que evidencia el desplazamiento del incisivo central izquierdo. *Tomado de Cohenca y col. 2007.*

Sin embargo, la evaluación tomográfica determinó la presencia de una severa luxación lateral con fractura alveolar de la cortical vestibular. Igualmente se determinó que el incisivo central derecho no había sufrido desplazamiento a consecuencia del traumatismo. Una vez diagnosticado el caso se llevó a cabo el plan de tratamiento y once meses después la evaluación radiográfica evidenció cicatrización en la zona. ⁽²⁹⁾

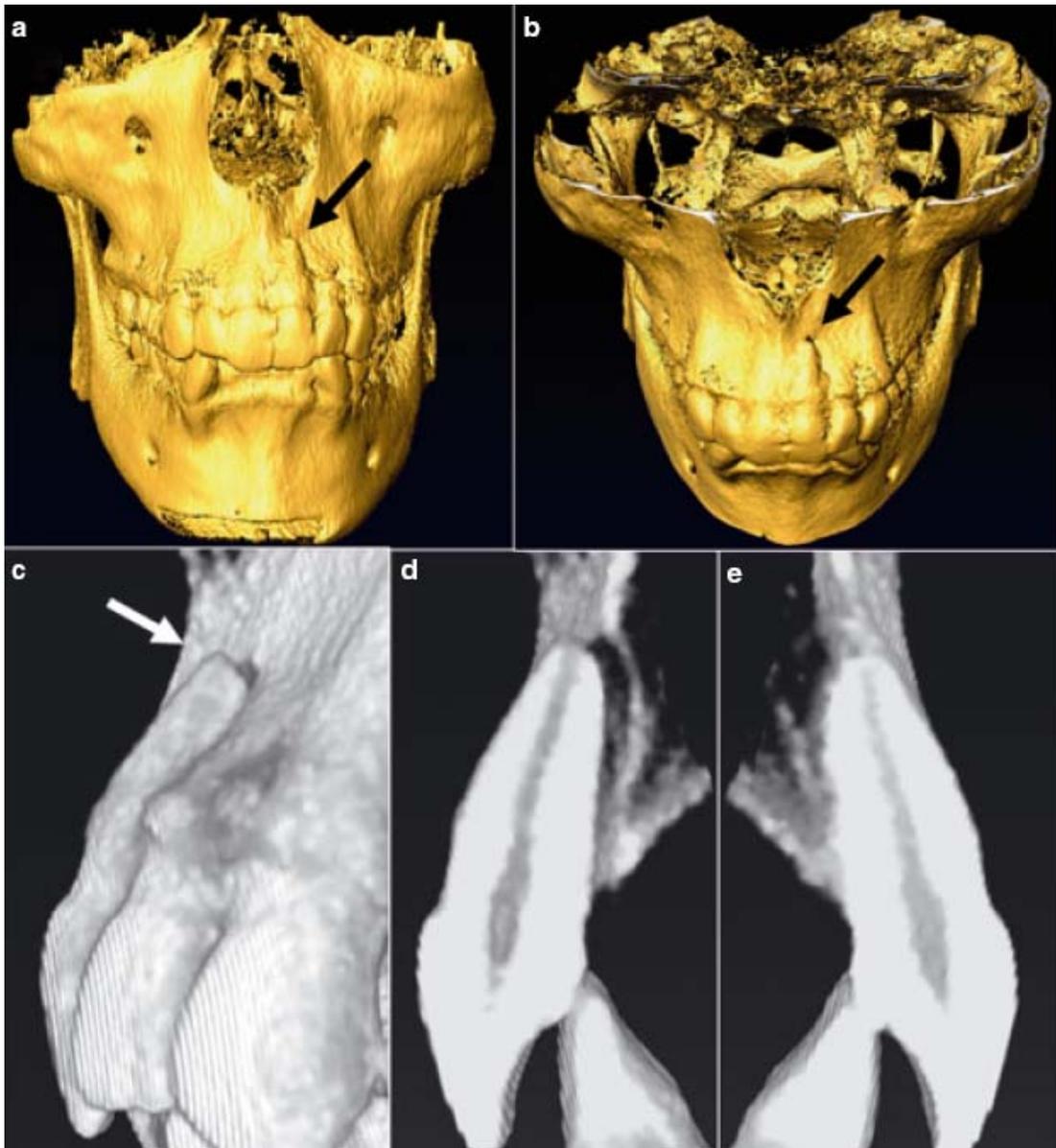


Gráfico 31. Reconstrucción 3D y Cortes tomográficos mostrando la fractura de la cortical vestibular producto del traumatismo. *Tomado de Cohenca y col. 2007.*

Por otro lado, Mora, M., y col., destacan que las fracturas longitudinales no desplazadas, como es el caso de las fisuras y

de las fracturas verticales de la raíz, son igualmente un reto en la práctica clínica debido a las dificultades que se presentan en su diagnóstico, ya que las manifestaciones de su sintomatología son variables o no específicas. Los autores señalan que la evidencia radiográfica generalmente se encuentra ausente cuando la orientación del rayo no es paralela al plano de la fractura y la superposición de otras estructuras puede también limitar su detección. ⁽⁶⁴⁾

Similarmente, Hannig, C., y col., reseñan que una fractura radicular vertical no puede ser verificada y visualizada mediante el uso de radiografías convencionales, a excepción de algunos casos. Observaciones radiográficas tales como imágenes radiolúcidas laterales o periapicales, son inespecíficas. Así mismo destacan que la fractura vertical conlleva de una manera inevitable a la extracción del diente afectado, por lo que es de vital importancia el establecimiento de un diagnóstico adecuado. ⁽⁶⁵⁾

La incapacidad de visualizar estas fracturas verticales de una manera precisa y no invasiva mediante el uso de técnicas imagenológicas convencionales, enfatizan la importancia del

desarrollo de modalidades de imagenología que faciliten el análisis de fracturas verticales. ⁽⁶⁵⁾

Mora, M., y col., en su estudio, comparan la precisión de la TC local en la detección de este tipo de fracturas con respecto a las radiografías convencionales periapicales. Basados en sus resultados concluyen que la TC local mejora significativamente la detección de fracturas longitudinales *in Vitro* cuando se comparó con las radiografías convencionales. ⁽⁶⁴⁾

Hannig, C., y col., señalan que en teoría, los sistemas tomográficos permiten la detección de fracturas verticales. Sin embargo, la resolución del tomógrafo computarizado utilizado en medicina para el diagnóstico clínico, no es suficiente para la detección de las fracturas radicales en todos los casos. En contraste a los sistemas tomográficos convencionales, ellos emplearon un prototipo de un TC de panel plano de detección de volumen (FD-VCT) el cual proporcionó una resolución tridimensional superior a los sistemas convencionales. ⁽⁶⁵⁾

En su estudio piloto *ex vivo*, evaluaron la visualización de fracturas verticales comparando el uso de radiografías convencionales y este sistema tomográfico nuevo de panel plano

de detección de volumen. En ninguno de los casos estudiados se logró detectar la línea de fractura mediante las radiografías periapicales (lo cual se esperaba en todos los casos debido a los signos y síntomas presentes). En las fotos de los dientes recién extraídos y limpiados se observó la presencia de las fracturas. En todos los casos, las fracturas radiculares fueron detectables tridimensionalmente y pudieron ser visualizadas de una manera precisa con FD-VCT. ⁽⁶⁵⁾

Entre uno de los casos estudiados se muestra un segundo molar inferior con apicectomía previa. El diente extraído muestra la fractura de la raíz mesial. No obstante, radiográficamente esta línea de fractura no fue evidente; y se demostró luego de la obtención de imágenes del FD-VCT. ⁽⁶⁵⁾

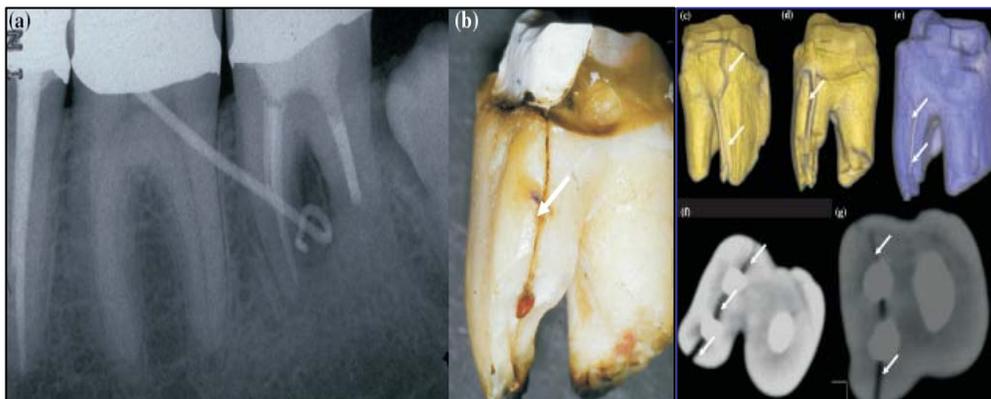


Gráfico 32. Fractura no evidenciada radiográficamente y posteriormente visualizada en las imágenes tomográficas. Tomado de Hannig y col., 2005.

Un segundo caso en ese mismo estudio, muestra a un canino superior con una fisura que no fue visible mediante la radiografía convencional, y que pudo ser visualizada mediante una sección longitudinal de las imágenes obtenidas de FD-VCT. ⁽⁶⁵⁾

Finalmente, Cohenca, N., y col., en el 2007 concluyen que hasta el presente no serán reemplazadas las radiografías tradicionales por la CBCT ya que la calidad de sus imágenes 3D es aún inferior a la resolución de las imágenes radiográficas y el equipo es aún costoso. ⁽²⁹⁾

7.4. Diagnóstico de defectos óseos mandibulares linguales

Los defectos óseos mandibulares linguales también conocidos como quistes de Stafne, fueron reportados por primera vez por Edgard Stafne en 1942 quien describió la apariencia radiográfica de treinta y cinco lesiones radiolúcidas localizadas cerca del ángulo de la mandíbula. Se han realizado numerosos reportes de esta entidad y muchos nombres le han sido designados en la literatura debido a la etiología incierta o desconocida de esta lesión, sin embargo las características en cuanto a la apariencia radiográfica son la misma. Ésta lesión se caracteriza por presentar una imagen radiolúcida elíptica o redondeada, bien

circunscrita, usualmente unilateral. Sin embargo, un hallazgo importante que no es observado en la radiografía panorámica, es que este defecto en la mandíbula es una concavidad que siempre esta abierta hacia el margen cortical lingual. ⁽⁶⁶⁾

Aunque inicialmente se reportó su incidencia en el ángulo de la mandíbula, posteriormente se reportó su aparición a nivel de premolares e incisivos. Los casos en los que la lesión aparece hacia el sector anterior pueden ser más difíciles de diagnosticar por su cercanía a los ápices de los incisivos inferiores. La presencia de una lesión asintomática, unilocular, bien definida y radiolúcida podría entonces ser compatible con una variedad de diagnósticos. El quiste radicular, quiste residual, y el quiste odontogénico no inflamatorio, son los diagnósticos diferenciales más comunmente utilizados. ⁽⁶⁷⁾

Katz, J., y col. Reportaron el caso de un paciente de 49 años, de sexo masculino, el cual fue referido del Departamento de Medicina Oral, por presentar una lesión asintomática, radiolúcida y ovoide debajo del ápice del segundo premolar izquierdo. La radiografía mostró igualmente que el diente presentaba un tratamiento de conducto defectuoso y una imagen radiolúcida difusa. La imagen radiolúcida ovoide estaba localizada inferior

pero no continua con la radiolucidez periapical. Se llevó a cabo la repetición del tratamiento endodóntico y después de algunos meses no hubo cambios en la imagen radiolúcida ovoide. El paciente fue nuevamente referido al Departamento de Medicina Oral y se le indicó la realización de una TC. Los hallazgos del estudio incluyeron una invaginación de la corteza lingual a nivel del agujero mentoniano. Luego de los hallazgos derivados de la tomografía computarizada, el defecto fue diagnosticado como cavidad ósea de Stafne. Un año después no se observaron cambios en las dimensiones de la lesión por lo que no se llevó a cabo la intervención quirúrgica. ⁽⁶⁷⁾

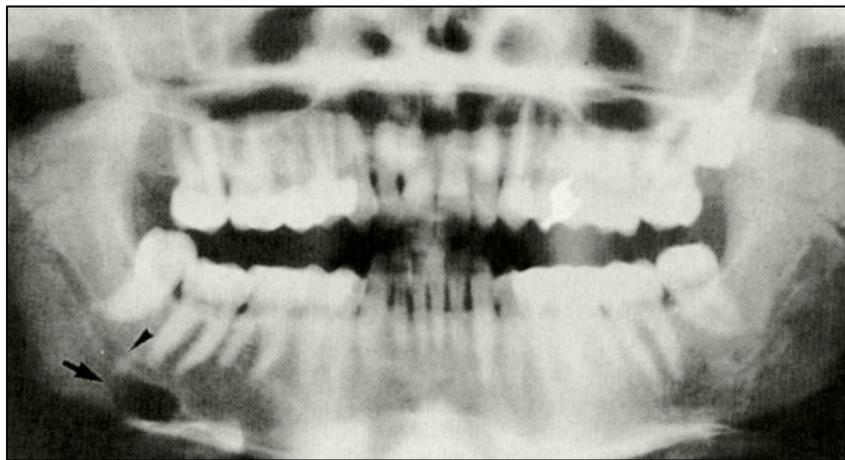


Gráfico 33. Radiografía panorámica del caso. *Tomado de Katz y col., 2001.*

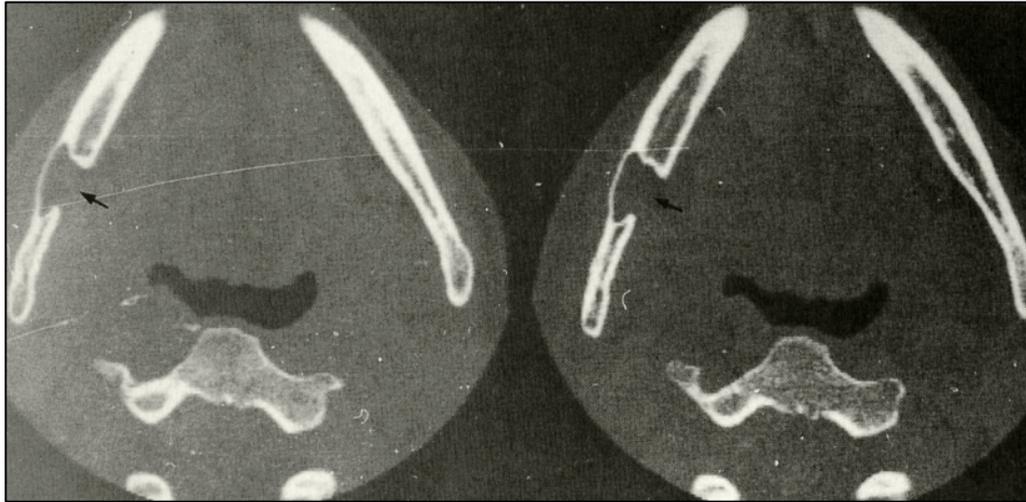


Gráfico 34. Corte tomográfico que muestra la apertura característica del defecto hacia la cortical lingual. *Tomado de Katz y col., 2001.*

En el caso descrito, la proximidad entre el tratamiento de conductos defectuoso y la cavidad ósea de Stafne resultó en una confusión con respecto al éxito endodóntico y la modalidad de tratamiento idóneo. El uso de la TC dental es un método diagnóstico no invasivo, fácil de realizar y conduce a un mejor tratamiento. ⁽⁶⁷⁾

El estudio concluyó que el endodoncista debe estar consciente de la posible presencia del quiste de Stafne en el sector anterior de la mandíbula y debería incluirla en sus diagnósticos diferenciales cuando sea apropiado. Se deben evitar procedimientos innecesarios como tratamientos endodónticos, trepanación ósea o exploración ósea. Se

recomienda ampliamente el uso de imágenes tomográficas para establecer un adecuado diagnóstico y tratamiento de estas lesiones. ⁽⁶⁷⁾

7.5. Evaluación de procedimientos endodónticos

7.5.1. Instrumentación

La preparación de los conductos radiculares es uno de los pasos más importantes en el tratamiento endodóntico y está directamente relacionado con la subsiguiente desinfección y obturación de los mismos. ⁽⁶⁸⁾

Un conducto preparado debe tener una forma cónica de apical a coronal manteniendo la posición del foramen apical y no cambiando la curvatura original del conducto. Sin embargo, durante la instrumentación pueden ocurrir errores de procedimiento como desviación del foramen apical, creación de escalones, acodaduras, pérdida de la longitud de trabajo, perforaciones y fractura de instrumentos. ⁽⁶⁹⁾

Se han utilizado diversas metodologías para evaluar la instrumentación endodóntica, entre ellas se pueden mencionar; modelos plásticos, secciones histológicas, estudios con

microscopio electrónico de barrido, secciones seriadas, comparaciones radiográficas e impresiones con silicón de conductos ya instrumentados; sin embargo las mismas requerían de la destrucción del diente estudiado. ⁽⁴⁸⁾

Recientemente se ha sugerido el empleo de técnicas que permitan la evaluación del diente sin ser destruido con el fin de comparar la forma del conducto antes y después de la instrumentación. ⁽⁶⁹⁾

En este sentido, Tachibana y Matsumoto en 1990, evaluaron la aplicabilidad en endodoncia de las imágenes obtenidas a partir de TC, en ese entonces ellos señalaron que debido a los costos y a la calidad de las imágenes obtenidas a partir de un software inadecuado, la TC tenía una utilidad limitada en la práctica endodóntica. ⁽⁵⁷⁾

Posteriormente, Gambill, J., y col, señalan que las mejoras realizadas en el software empleado para la reconstrucción de imágenes y en la tecnología de los escáneres han originado usos potenciales de estos equipos en la investigación endodóntica. Los TC pueden proporcionar una visión no invasiva del sistema de conductos radiculares de los dientes. Ellos compararon

mediante el análisis con TC, dos técnicas de instrumentación, una empleando limas níquel titanio (NiTi) manuales y la otra utilizando limas k-flex. Los resultados arrojaron que las limas Ni-Ti ocasionaron menos desviación apical, removieron menor cantidad de dentina, y requirieron de un menor tiempo de instrumentación, por lo que las preparaciones resultaron más centradas y redondeadas que cuando se utilizaron las limas K-flex. Concluyeron entonces que las imágenes obtenidas a partir de la TC proveen de un método no invasivo para evaluar ciertos aspectos de la instrumentación endodóntica. ⁽⁴⁸⁾

Rhodes, J., y col., en 1999 reportan la utilidad de un prototipo de escáner micro-TC en la cuantificación de la instrumentación de los conductos. Señalan que es posible visualizar los conductos antes, durante y después de la instrumentación sin alterar las muestras de estudio. Sin embargo destacan que el equipo requiere de una mejor calibración para incrementar su precisión. ⁽³⁾

Aunque la micro-TC no está disponible para su uso clínico, es una poderosa herramienta para la investigación acerca de los efectos de las técnicas de instrumentación sobre la forma del conducto, pero no puede ser empleada en seres humanos. ^{(3), (42)}

Por su parte, Gluskin, A., y col., en el 2001, utilizaron la TC para comparar el efecto de la preparación mediante el empleo de limas de acero inoxidable tradicionales, en conjunto con dos fresas Gates y una técnica rotatoria con tres limas de níquel titanio (NiTi) GT. El uso del TC a cincuenta micrones de resolución resultó en una técnica práctica y no destructiva para la evaluación de la morfología de los conductos antes y después de la instrumentación. Los resultados del estudio arrojaron que con las limas NiTi rotatorias GT hubo menos deformación y mayor conservación de la estructura del diente, en comparación con los conductos preparados manualmente. Igualmente las preparaciones llevadas a cabo con instrumentos rotatorios de NiTi resultaron más centradas y conservaron mayor tejido dentinario a nivel de la furca. ⁽⁵¹⁾

Peters, O., y col., en el mismo año, evaluaron mediante el empleo de micro-TC el efecto de cuatro técnicas de preparación en el volumen y área superficial del conducto, en molares superiores humanos extraídos. Emplearon cuatro grupos, el primero utilizó limas GT rotatorias; el segundo, limas Ni-Ti k-flex; el tercero, instrumentos Lightspeed; y el cuarto, limas rotatorias ProFile. Los resultados del estudio no encontraron diferencias

significativas entre las técnicas investigadas en cuanto a la desviación del conducto a nivel medio y coronal. ⁽⁶⁸⁾

Paqué, F., y col., en el 2005, evaluaron el desempeño de un instrumento recientemente introducido en el mercado, el Endo-Eze AET. Dicho instrumento fue promocionado como un sistema de preparación de conductos poco invasivo cuyas limas emplean un movimiento recíproco y oscilatorio; no obstante, poco se conocía acerca del impacto de este nuevo sistema de preparación en la conformación de los conductos. Cuando se evaluaron las áreas del conducto no instrumentadas, los resultados fueron sorprendentemente mejores que en estudios previos en los que se emplearon instrumentos Ni-Ti. Esto podría ser producto de la agresiva remoción de dentina. Sin embargo, la gran cantidad de dentina radicular removida con este sistema, como resultado de su movimiento oscilatorio, condujo a una significativa pérdida de la curvatura del conducto y a errores en la preparación. Basados en los datos obtenidos los autores no pudieron recomendar el Endo-Eze para la preparación de conductos curvos. ⁽⁷⁰⁾

7.5.2. Repetición de tratamientos y cirugía

Con el pasar de los años, la repetición de tratamientos endodónticos ha reemplazado a la cirugía apical como tratamiento de elección en caso de fracasos endodónticos. ⁽¹⁸⁾,
(71)

El reconocimiento de que la persistencia de la infección es la principal causa de tales fracasos, enfatiza la necesidad de limpiar y conformar por completo el sistema de conductos radiculares. ⁽⁷¹⁾

La introducción del microscopio quirúrgico y de los microinstrumentos ha hecho de la repetición del tratamiento vía quirúrgica una opción estándar a la repetición del tratamiento no quirúrgico de los molares superiores. Sin embargo, la cirugía apical de la raíz palatina de molares superiores es considerada usualmente difícil. Por lo tanto, un factor clave en la toma de decisiones, es la presencia o no de una lesión periapical a ese nivel. ⁽¹⁸⁾

Es bien conocido que bajo ciertas condiciones, las lesiones periapicales podrían no ser observadas mediante la toma de

radiografías periapicales convencionales, al igual que la extensión de la lesión y su relación con estructuras vecinas. Estas limitaciones se acentúan en la región molar del maxilar superior debido a su compleja anatomía. ^{(45), (72)}

La TC provee en estos casos una visualización tridimensional de las lesiones patológicas y su relación espacial con estructuras anatómicas importantes, tales como el seno maxilar y el conducto del nervio dentario inferior. ^{(15), (18)}

Huomonen, S., y col., realizaron un estudio en el que compararon la información proporcionada por radiografías periapicales y la proporcionada por un barrido de TC en la repetición de tratamientos de molares superiores con conductos obturados y signos de lesión periapical. El resultado del mismo, apoyó la hipótesis de que la TC proporciona información importante para la toma de decisión en cuanto a la repetición de tratamientos en molares superiores. ⁽⁴⁵⁾

Ellos muestran un caso de un paciente que radiográficamente presenta una lesión periapical con una extensión no definida. Posteriormente mediante el empleo de la TC se logra precisar que la misma involucra solo a la raíz palatina, por lo que se realiza un acceso quirúrgico palatino de la lesión. ⁽⁴⁵⁾

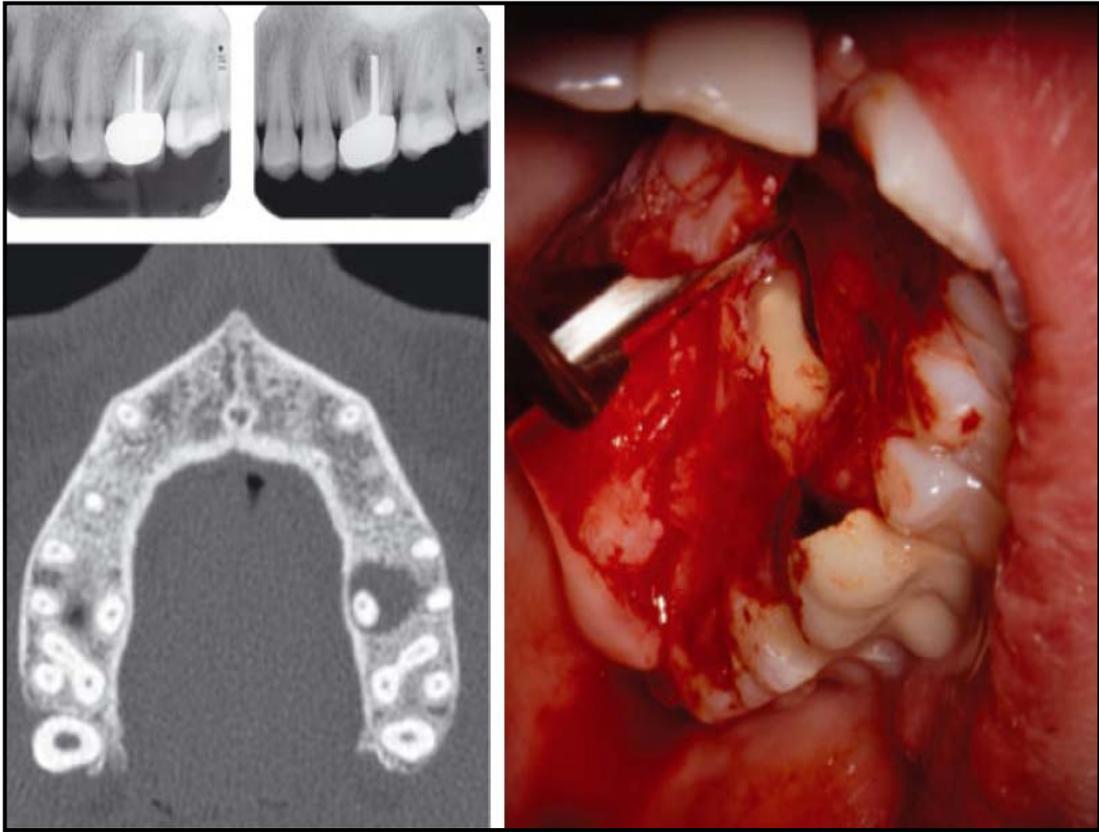


Gráfico 35. Lesión no visible en Rx periapicales. Corte tomográfico con evidencia de la lesión. Acceso palatino del caso. *Tomado de Huuonen y col., 2006.*

Estos autores destacan que el fracaso de las técnicas intraorales para diagnosticar lesiones periapicales, no justifica un uso rutinario de la TC en endodoncia, sin embargo, esta técnica puede ser utilizada en situaciones en las que se necesita de mayor información para el manejo clínico de lesiones periapicales. ⁽⁴⁵⁾

Lofthag-Hansen, S., y col, señalan que cuando la cirugía perirradicular es contemplada, es esencial el conocimiento de la relación de los ápices radiculares y las estructuras anatómicas vecinas. ⁽¹⁵⁾

Por su parte, Morant, R., y col., realizaron un estudio de la relación de las raíces de los dientes con el conducto dentario inferior y su influencia en la planificación del tratamiento endodóntico y en la planificación de la exodoncia. Ellos concluyeron que la TACT puede ser utilizada en la determinación precisa de la orientación de la raíz con respecto al conducto dentario inferior. Igualmente puede ser utilizada para medir la distancia en milímetros del ápice radicular y el centro del conducto dentario inferior. ⁽⁴⁶⁾

Velvart, P., y col., estudiaron *in vivo* cincuenta dientes posteriores con patología periapical y que estaban programados para cirugía endodóntica. Ellos compararon la información obtenida mediante TC con la obtenida de las radiografías periapicales y la correlacionaron con los hallazgos clínicos obtenidos durante la cirugía. Observaron entonces que toda la información obtenida de la evaluación tomográfica, fue más detallada en lo que respecta a la presencia, característica y

localización de la lesión, y que proporcionó importantes imágenes de la relación de la lesión con el conducto dentario inferior. Ellos concluyeron que la TC debe ser seriamente considerada antes de llevar a cabo una cirugía endodóntica. ⁽⁷³⁾

Tsurumachi, T., y Honda, K., en el 2007, presentan en su estudio la aplicabilidad en cirugía endodóntica de un equipo tomográfico recientemente desarrollado, el 3D micro-TC. Presentaron un caso de una paciente que acude a consulta con molestia a nivel del 1er molar superior derecho, especialmente cuando el diente esta en función. La historia dental señala que el diente había recibido un tratamiento de conductos hacía cinco años y se había restaurado con una corona. La evaluación radiográfica mostró la presencia de un instrumento fracturado extruído a nivel del seno maxilar. Sin embargo, fue difícil determinar la localización exacta del instrumento en sentido vestíbulo lingual, por lo que se llevó a cabo una evaluación con el 3D micro-TC. La misma ayudó a determinar la posición exacta del instrumento fracturado en relación al seno maxilar. La remoción del mismo vía ortógrafa fue imposible por lo que se programó la amputación de las raíces vestibulares. Una semana después de la intervención el paciente acudió a consulta sin

sintomatología. Tres años después el área estuvo clínica y radiográficamente sana. ⁽¹⁰⁾

En este caso las imágenes tomográficas permitieron establecer la relación exacta entre el seno maxilar y el instrumento fracturado y la longitud del mismo, lo que permitió llevar a cabo una cirugía mucho más segura. ⁽¹⁰⁾

8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA EN LA ENDODONCIA

Como ya se ha mencionado, las limitaciones derivadas de las radiografías convencionales han estimulado una extensiva búsqueda de mejoras. Sistemas diagnósticos más avanzados como la tomografía computarizada, han sido aplicados en endodoncia en los últimos diez a quince años. Dicha técnica apoya los métodos tradicionales, superando parcialmente sus limitaciones y en algunas ocasiones obteniendo información más específica que puede ser usada con fines diagnósticos o investigativos. ⁽⁷⁾

Es así como entre las ventajas del uso de la TC en endodoncia podemos mencionar:

a) La TC proporciona datos volumétricos del área de interés, mediante la obtención de imágenes bases que posteriormente son reconstruidas a través de algoritmos sofisticados proporcionados por un software. ^{(8), (15), (26)}

b) Permite la selección del espesor de la capa tomográfica (0,124-2,0mm. en TC) deseada, dependiendo de la evaluación diagnóstica a realizar. ⁽²⁶⁾

c) La mayoría de estas unidades pueden ser ajustadas a pequeñas regiones lo que permite diagnósticos específicos del área de interés. ^{(7), (8), (43)}

d) Permite una mayor precisión de la imagen cuando se compara con los tomógrafos convencionales debido a que sus voxeles son isotrópicos. ^{(8), (40), (43)}

e) Reducción de la dosis efectiva de radiación (E) por encima de 98% cuando se compara con los sistemas de TC convencionales ⁽²⁶⁾. La dosis efectiva de radiación (E) en CBCT es de 57 μ Sv mientras que la dosis efectiva de radiación (E) en TC convencional es de 1400 μ Sv para el maxilar superior y 2100 μ Sv para el maxilar inferior. ⁽²⁹⁾

f) Reducción de artefactos con el empleo de programas específicamente diseñados para tal fin. ^{(8), (43)}

g) Los equipos disponibles en la actualidad no exceden el tamaño de los equipos panorámicos, por lo que se puede disponer de ellos en el consultorio odontológico. ⁽⁴⁴⁾

h) La tomografía computarizada puede ser útil en la endodoncia en la evaluación de condiciones patológicas apicales, en la visualización y estudio de estructuras anatómicas, en la evaluación de traumatismos, fracturas dentales, y en la evaluación de procedimientos y tratamientos endodónticos. ⁽⁷⁾

i) La micro-TC permite la obtención de verdaderas imágenes en 3D de estructuras pequeñas con voxeles cúbicos (isotrópicos) logrando visualizar detalles microscópicos, por lo que es una excelente herramienta de investigación debido a la naturaleza no invasiva de la técnica, lo que permite la recolección de datos de dientes intactos que estarán disponibles para posteriores estudios. ^{(3), (7), (14), (39)}

Por otro lado, entre las desventajas de su uso en la endodoncia podemos mencionar:

a) Altas dosis de radiación si se compara con la radiografía periapical, ya que la dosis efectiva de radiación de una TC es de $57\mu\text{Sv}$ mientras que la de un juego periapical puede ser de 33 a $84\mu\text{Sv}$. ⁽²⁹⁾

b) Costos elevados de los equipos. ⁽²⁹⁾

c) En la actualidad, la micro-TC puede ser empleada sólo para estudios *in Vitro* de pequeñas muestras debido a sus elevadas dosis de radiación (900mVs), las cuales no son compatibles con organismos vivos. ^{(3), (7) (14), (42), (49)}

d) La reconstrucción de las capas obtenidas a partir de micro-TC pueden requerir de una cantidad de tiempo considerable. ^{(3), (52), (53)}

e) Inicialmente se puede requerir de algún entrenamiento para entender las imágenes derivadas del tomógrafo. ⁽²⁶⁾

Sin embargo, la tomografía computarizada tiene una amplia gama de aplicaciones en la endodoncia y en el futuro podría consolidarse como una valiosa herramienta diagnóstica e investigativa en dicha área.

III. DISCUSIÓN

La radiografía convencional muestra la anatomía en sólo dos dimensiones por lo que no permite medir la profundidad o grosor de la estructura en la proyección de imágenes. Para una evaluación extensa de la morfología de una estructura, son esenciales los datos relacionados con la tercera dimensión. ⁽⁷⁴⁾

Aunque en los últimos años las radiografías digitales han sido una excelente alternativa a la radiografía convencional ^{(2), (7)}, hay autores que refieren que ésta técnica conduce a la obtención de imágenes que al presentar una menor calidad diagnóstica conllevan a una menor eficacia diagnóstica. ^{(22), (23)}

Es así como se idearon técnicas como la tomografía convencional, que aunque resultó ser un avance muy valioso, aún no proporcionaba la información cuantitativa exacta en las tres dimensiones del volumen de una estructura. Posteriormente, la tomografía computarizada se convierte en un verdadero avance en este sentido. ⁽⁷⁴⁾

La TC elimina por completo la superposición de imágenes de las estructuras más superficiales o más profundas en el área a evaluar . (4), (15), (26), (29)

Sin embargo, los tomógrafos convencionales y los tomógrafos computarizados empleados en el campo médico, no han sido exitosos en el diagnóstico de las lesiones dentales ⁽³⁸⁾, debido a que la resolución de las imágenes que producen esos equipos es muy baja para la necesaria en aplicaciones dentales. Además la dosis de radiación que recibe el paciente es elevada, lo que se traduce en una escasa aplicabilidad de los mismos en el área diagnóstica del ejercicio odontológico. (12), (26), (39)

Aunque en 1990 la resolución espacial de los equipos tomográficos dentales disponibles, producían imágenes que no eran lo suficientemente precisas como para permitir un detallado análisis estructural; ⁽⁵⁷⁾ Posteriormente, con la aparición del tomógrafo computarizado de haz de cono (CBCT), el cual fue desarrollado para ser aplicado específicamente en el área dental, se consigue mejorar la calidad de la imagen obtenida. (7), (8), (18), (40)

En este sentido, Gröndahl, H., y Huuonen, S., señalan que el desarrollo de CBCT sin duda es un paso significativo que representa mejoras en el diagnóstico pre y postoperatorio, tanto en la endodoncia como en muchas otras áreas de la odontología, como complemento o reemplazo de la radiografía convencional. ⁽²⁶⁾ Sin embargo Cohenca, N., y col., destacan que hasta el presente no serán reemplazadas las radiografías tradicionales por la CBCT, ya que la calidad de sus imágenes 3D es aún inferior a la resolución de las imágenes radiográficas y el equipo es aún costoso. ⁽²⁹⁾

Numerosos autores coinciden en que la importancia de la aplicación de la TC en endodoncia radica en que dichos métodos proporcionan la información tridimensional necesaria en casos clínicos complejos, que involucran lesiones de gran tamaño o problemas en el diagnóstico diferencial o seguimiento, al proveer de elementos de utilidad diagnóstica no evidenciados en radiografías periapicales ^{(12), (15), (19)}

Por su parte, Huuonen, S., y col., destacan que el fracaso de las técnicas intraorales para diagnosticar lesiones periapicales, no justifica el uso rutinario de la TC en endodoncia, sin embargo, coincide con los anteriores en mencionar que esta

técnica puede ser utilizada en situaciones en las que se necesita de mayor información para el manejo clínico de lesiones periapicales. ^{(12), (15), (19), (45)}

Cotti, E., y Campisi, G., destacan que la TC ha sido empleada con éxito como herramienta de ayuda en el diagnóstico diferencial de lesiones periapicales y otras condiciones patológicas de los maxilares, como los quistes periodontales laterales, keratoquiste odontogénico, quistes dentígeros, quistes de desarrollo, quistes traumáticos de hueso, algunas formas de ameloblastoma y displasias cementarias. ⁽⁷⁾

Por su parte, Cohenca, N., y col., señalan que la aplicación de CBCT ha mejorado significativamente la habilidad de diagnosticar de una manera precisa lesiones traumáticas, superando la mayoría de las limitaciones derivadas de las radiografías convencionales. ⁽²⁹⁾

En lo que respecta a las aplicaciones de las técnicas tomográficas en el área de la investigación, el empleo de la micro-TC ha demostrado ser una técnica no invasiva de evaluación tridimensional, que mostró una complejidad del

sistema de conductos radiculares, no detectable mediante el empleo de radiografías en 2D. ^{(3), (49)}

En este sentido, en el año 2005, Mannocci, F., y col., señalaron otra de las ventajas derivadas de la micro-TC. Ellos destacaron que la misma les permitió observar cuarenta secciones por cada milímetro de raíz. Sin embargo, coinciden con otros autores, en que la misma es costosa y que consume mucho tiempo. ^{(3), (51), (52)}

Finalmente, diversos estudios coinciden en señalar que ésta es una técnica que se ha restringido a su aplicación en el área investigativa de la endodoncia, ya que debido a las elevadas dosis de radiación generadas por dichos equipos, no es posible su uso clínico. ^{(3), (7), (42), (49)}

IV. CONCLUSIONES

1. La radiografía es una herramienta diagnóstica de valor incalculable, sin embargo, sus limitaciones deben ser reconocidas con el fin de que las mismas puedan ser utilizadas de una manera efectiva.
2. Los tomógrafos computarizados médicos no han sido aplicados con éxito en el campo de la odontología, por lo que fue necesario el desarrollo de TC compactos que lograron mejoras significativas en cuanto a la calidad de la imagen y a las dosis de radiación, lo que ha conducido a su empleo exitoso en algunos procedimientos en el área odontológica.
3. La tomografía computarizada ha sido de gran utilidad en diversos campos de la odontología como lo es en la cirugía, ortodoncia, periodoncia y en la endodoncia.
4. La TC ha permitido la visualización tridimensional de las estructuras dentales y su entorno anatómico en relación a lesiones apicales, lo que enfatiza su valor diagnóstico en casos específicos y complejos.

5. El empleo de la TC y de la micro-TC ha demostrado ser de gran utilidad en el área de la investigación en endodoncia, para evaluar la anatomía del sistema de conductos en 3D, debido a su elevada resolución y a que son métodos no invasivos.

6. En la actualidad los procedimientos tomográficos no son empleados de rutina, ya que aún es necesario superar algunas de sus desventajas como lo son: el costo de los equipos y la dosis de radiación generada por los mismos. Igualmente deben ser analizados detalladamente los casos clínicos que requieren su empleo con el fin de maximizar sus beneficios.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. Haring, J., y Lind, L. Radiología dental; Principios y Técnicas. 1ra Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana. México. 1997.
2. Ingle, J. y Bakland, L. Endodoncia. Cap 9. 5ta Edición Editorial MacGraw-Hill. México. 2004.
3. Rhodes, J., Pitt Ford, T., Lynch, J., Liepins, P., y Curtis, R. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. Int Endod J. 1999;32:165-170.
4. White, S., y Pharoah, M. Radiología oral: principios e interpretación. 4ta Edición. Ediciones Harcourt. España. 2002.
5. Bushong, S. Manual de la radiología para tecnólogos: Física, biología y protección radiológica. Capítulos 18 y 19. Editorial Diorki. Madrid, España. 1993.
6. Ames, J., y Jonson, R., Computerized tomography in oral and maxilofacial surgery. J Oral surg. 1980;38: 145-149.

7. Cotti, E., y Campisi, G. Advanced radiographic techniques for the detection of lesions in bone. *Endod topics*. 2004;7:52-72.
8. Scarfe, W., Farman, A., y Sukovic, P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*. 2006;72:75-80.
9. Cotti, E., Campisi, G., Ambu, G., y Dettori, C. Ultrasound real-time imaging in the differential diagnosis of periapical lesions. *Int Endod J*. 2003;36:556-563.
10. Tsurumachi, T., y Honda, K. A new cone beam computerized tomography system for use in endodontic surgery. *Int Endod J*. 2007;40:224-232.
11. Barton, D., Clark, S., Eleazar, P., Scheetz, J., y Farman, A. Tuned-aperture computed tomography versus parallax analog and digital radiographic images in detecting second mesiobuccal canals in maxillary first molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96:223-228.
12. Nakata, K., Naitoh, M., Izumi, M., Inamoto, K., Arijji, E., y Nakamura, H. Effectiveness of dental computed tomography in

diagnosis imaging of periradicular lesion of each root of multirrooted tooth: a case report. JOE.2006; 32:583-587.

13. Ebihara, A., Yoshioka, T., y Suda, H. Garre`s osteomyelitis managed by root canal treatment of a mandibular second molar: incorporation of computed tomography with 3D reconstruction in the diagnosis and monitoring of the disease. Int Endod J. 2005;38:255-261.

14. von Stechow, D., Balto, K., Stashenko, P., y Muller, R. Three-dimensional quantitation of periradicular bone destruction by micro-computed tomography. JOE.2003;29:252-256.

15. Lofthag-Hansen, S., Huuonen, S., Gröndahl, K., y Gröndahl, H. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2007;103:114-119.

16. Walton, R., y Torabinejad, M. Endodoncia. Principios y práctica. Cap 9. 2da Edición. Editorial MacGraw-Hill. México. 1997.

17. Fava L, Giorgi M. La Importancia de la Angulación Vertical en Endodoncia. *Endodoncia*. 2001;19: 138-145.
18. Huuonen, S., y Ørstavik, D. Radiological aspects of apical periodontitis. *Endod Topics*. 2002;1:3.25.
19. Cotti, E., Vargui, P., Dettori, C., y Mallarini, C. Computerized tomography in the management and follow-up of extensive periapical lesion. *Endod and Dent Traumatol*. 1999;15:186-189.
20. Trope, M., Pettigrew, J., Petras, J., Barnett, F., y Tronstad, L. Differentiation of radicular cyst and granulomas using computerized Tomography. *Endod and Dent Traumatol*. 1989;5 69-72.
21. Kassebaum, D., y McDowell, J. Tomografía. *Clínicas Odontológicas de Norte América*. 1993;4: 579-586.
22. Ørstavik, D., y Pitt Ford, T. Essential endodontology. Prevention and treatment of apical periodontitis. Cap 6. Editorial Blackwell Science. USA. 1998.

23. Cohen, S., y Burns, R. Vías de la pulpa. Cap 5. 8va Edición. Editorial Mosby. Madrid. 2002.

24. Akdeniz, B., y Soğur, E. An ex vivo comparison of conventional and digital radiography for perceived image quality of root. *Int Endod J.* 2005;38:397-401.

25. Brooks, S. Tomografía computarizada. *Clínicas Odontológicas de Norteamérica.* 1993;4:587-601.

26. Gröndahl, H., y Huuonen, S. Radiographic manifestations of periapical inflammatory lesions. How new radiological techniques may improve endodontic diagnosis and treatment planning. *Endod Topics.* 2004;8:55-67.

27. Langlais, R., Rodríguez, I., Maselle, I. Principios de la selección e interpretación radiográfica. *Clínicas Odontológicas de Norte América.* 1994;1: 1-11.

28. Martínez, J. Aspectos básicos de la tomografía computarizada y su aplicación en cirugía bucal y maxilofacial. Trabajo especial de grado. UCV. Caracas. 1999.

29. Cohenca, N., Simon, J., Roges, R., Morag, Y., Malfaz, J. Clinical indications for clinical imaging in dento-alveolar trauma. Part 1: traumatic injuries. *Dent Traumatol.* 2007;23:95-104.
30. Ballinger, P. Posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos. Editorial Diorki. España. 1997.
31. Nawaratne, S., Fabiny, R., Brien, J., Zalcborg, J., Cosolo, W., Whan, A., y Morgan, D. Accuracy of volume Measurement using helical CT. *J of Comp Assist Tomography.* 1997;21:481-486.
32. Feigal, D. FDA public health notification: reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. FDA U.S. food and drug administration. Noviembre, 2001.
33. Fortin, T., Champleboux, G., Bianchi, S., Buatois, H., y Coudert, J. Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT-scan images through a robotic drilling machine. *Clin Oral Impl Res.* 2002;13:651-656.

34. Radiology Info. The radiology information resource for patients. Computed Tomography-Head. Marzo. 2006.
35. Williams, V. Computed tomography of facial fractures. The Radiologist. 1998;5: 1-14.
36. Moss, J., Linney, A., Grindrod, S., Arridge, S., y Clifton, J. Three-dimensional visualization of face and skull using computerized tomography and laser scanning techniques. Europ J of Orthodont. 1987;9: 247-253.
37. Minotti, A., Shah, L., y Keller, K. Positron emission tomography/computed tomography fusion imaging in brown adipose tissue. Clinical Nuclear Med. 2004;29:5-11.
38. Harase, Y., Araki, K., y Okano, T. Accuracy of extraoral turned aperture computed tomography (TACT) for proximal caries detection. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006;101:791-796.
39. van Daatselaar. A., Dunn, S., Spoelder, H., Germans, D., Renambot, L., Bal, H., y van der Stelt, P. Feasibility of local CT of dental tissues. Dentomaxilofac Radiol. 2003;32:173-180.

40. Arai, Y., Tammissalo, E., Iwai, K., Hashimoto, K., y Shinoda, K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999;28:245-248.
41. Yamamoto, K., Hayakawa, Y., Kousuge, Y., Wakoh, M., Sekiguchi, H., Yakushiji, M., y Farman, A. Diagnostic value of tuned-aperture computed tomography versus conventional dentoalveolar imaging in assessment of impacted teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:109-118.
42. Nair, M., y Nair, U. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *JOE.* 2007;33:1-6.
43. Araki, K., Maki, K., Seki, K., Sakamaki, K., Harata, Y., Sakaino, R., Okano, T., y Seo, K. Characteristics of a newly Developer dentomaxillofacial X-ray cone beam CT scanner (CB MercuRay): system configuration and physical properties. *Dentmaxillofac Radiol.* 2004;33:51-59.
44. Honda, K., Larheim, T., Johannessen, S., Arai, Y., Shinoda, K., y Westesson, P. Ortho cubic super-high resolution computed tomography: A new radiographic technique with application to the

temporomandibular joint. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2001;91:239-243.

45. Huuonen, S., Kvist, T., Gröndahl, K., Molander, A. Diagnostic value of computed tomography in re-treatment of root fillings in maxillary molars. Int Endod J. 2006;39:827-833.

46. Morant, R., Eleazer, P., Scheetz, J., y Farman, A. Array-projection geometry and depth discrimination with tuned-aperture computed tomography for assessing the relationship between tooth roots and inferior alveolar canal, Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2001;91:252-259.

47. Shi, X-Q., Han, P., Welander, U., y Angmar-Mansson, B. Tuned-aperture computed tomography for detection of occlusal caries. Dentomaxillofac Radiol. 2001;30:45-49.

48. Gambill, J., Alder, M., y del Rio, C. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. JOE. Gambill, J., Alder, M., y del Rio, C. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. JOE. 1996;22:369-375.

49. Nielsen, R., Alyassin, A., Peters, D., Carnes, D., y Lancaster, J. Microcomputed tomography: An advanced system for detailed endodontic research. JOE. 1995;21:561-568.

50. Stamm, T., Kaup, M., Hohoff, A., Meier, T., y Meyer U. Validity of a tree-dimensional Public-Domain system for contemporary endodontic research. JOE. 2003;29:801-805.

51. Gluskin, A., Brown, D., y Buchanan, L. A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in Canals shaped by novice operators. Int Endod J. 2001;34:476-484.

52. . Mannocci, F., Peru, M., Sherriff, M., Cook, R., y Pitt Ford, T. The isthmuses of mesial root of mandibular molars: a micro-computed tomographic study. Int Endod J. 2005;38:558-563.

53. . Peters, O., Laib, A., Göhring, T., y Barbakow, F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. JOE. 2001;27:1-6.

54. Omer, O., Al Shalabi, M., Jennings, M., Glennon, J., y Claffey, N. A comparison between clearing and radiographic

techniques in the study of the root-canal anatomy of maxillary first and second molars. JOE. 2004;37:291-296.

55. Peters, O., Laib, A., Rügsegger, P., y Barbakow., F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. J Dent Res. 2000;79(6):1405-1409.

56. Gopikrishna, V., Bhargavi, N., y Kandaswamy, D. Endodontic management of maxillary first molar with a single root and a single canal diagnosed with the aid of spiral CT: a case report. JOE. 2006;32:687-691.

57. Tachibana, H., y Matsumoto K., Applicability of x-ray computerized tomography in endodontics. Endodont. Dent. Traumatolog. 1990;6:16-20.

58. Bjørndal, L., Carlsen, O., Thuesen, G., Darvann, T., y Kreiborg, S. External an internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. Int Endod J. 1999;32:3-9.

59. Min, Y., Fan, B., Cheung, G., Gutmann, J., y Fan, M. C-shaped canal system in mandibular second molars part III: the

morphology of the pulp chamber floor. JOE. 2006 Diciembre;32:1155-1159.

60. Oi, T., Saka, H., Ide, Y. three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. Int Endod J. 2004;37:46-51.

61. Lee, J., Ha, B., Choi, J., Heo, S., y Perinpanayagam, H. Quantitative three-dimensional analysis of root canal curvature in maxillary first molars using micro-computed tomography. JOE. 2006;32:941-945.

62. Gao, Y., Fan, B., Cheung, G., Gutmann, J., y Fan, M. C-shaped canal system in mandibular second molars part IV: 3-d morphological analysis and transverse measurement. JOE. 2006;32:1062-1065.

63. Simon, J., Enciso, R., Malfaz, J., Rogers, R., Bailey, M., y Patel, A. Differential diagnosis of large periapical lesions using cone-beam computed tomography measurements and Biopsy. JOE. 2006;32:833-837.

64. Mora, M., Mol, A., Tyndall, D., y Riviera, E. *In Vitro* assessment of local computed tomography for the detection of longitudinal tooth fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103:825-829.

65. Hannig, C., Dullin, C., Hulsmann, M., y Heidrich, G. Three-dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography: an ex vivo *in Vitro* case report. *Int Endod J.* 2005;39:904-913.

66. Slasky, B y Bar-Ziv, J. Lingual mandibular bony defects: CT in the buccolingual plane. *J of Comp Assist Tomography.*1996;20:439-443.

67. Katz, J., Chaushu, G., y Rotstein, I. Stafne's bone cavity in the anterior mandible: a possible diagnostic challenge. *JOE.* 2001; 24:304-307.

68. Peters, O., Schönenberger y Laib, A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34:221-230.

69. Taşdemir, T., Aydemir, H., Inan, U., y Ünal, O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J.* 2005;38:402-408.

70. Paqué, F., Barbakow, F., y Peters, O. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2005;38:456-464.

71. Branco, F., Rhade, N., Limongi, O., Maranhao, A., Zanesco, C., y Mazocatto, G. *In vitro* comparative analysis of 2 mechanical techniques for removing gutta-percha during retreatment. *J of Canad Dent Assoc.* 2007;73:65-65e.

72. Pinsky, H., Champleboux, G., y Sarment, D. Periapical surgery using CAD/CAM guidance: Preclinical results. *JOE.* 2007;33:148-151.

73. Velvart, P., Hecker, H., y Tillinger, G. Detection of the apical lesion and the mandibular canal in conventional radiography and computed radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;2:682-688.

74. Yune, H. Reconstrucción bidimensional y tridimensional en las técnicas de tomografía computarizada. *Clínicas Odontológicas de Norteamérica*. 1993;4:625-638.