

Tomografía computerizada de haz cónico. Aplicaciones clínicas en odontología; comparación con otras técnicas



Lenguas Silva, Ana Leticia

Máster en Ortodoncia.
Profa. Colaboradora Honorífica Facultad de Odontología U.C.M.
Departamento de Estomatología IV.

Ortega Aranegui, Ricardo

Prof. Asociado Facultad de Odontología U.C.M.
Responsable del Servicio de Radiología.
Departamento de Estomatología III

Samara Shukeir, Georgette

Profa. Asociada Facultad de Odontología U.C.M.
Departamento de Estomatología IV.

López Bermejo, Miguel Ángel

Prof. Titular de Odontología Preventiva y Comunitaria U.C.M.
Departamento de Estomatología IV. Facultad de Odontología. U.C.M.

Indexada en / Indexed in:

- IME.
- IBECIS.
- LATINDEX.
- GOOGLE ACADÉMICO.

LENGUAS, A.L., ORTEGA, R., SAMARA, G., LÓPEZ, M.A. *Tomografía computerizada de haz cónico. Aplicaciones clínicas en odontología; comparación con otras técnicas.* Cient Dent 2010;7;2:147-159.

RESUMEN

Las radiografías convencionales representan objetos de 3D con imágenes de 2D con una significativa superposición de estructuras y magnificación impredecible. La tomografía computerizada (CT) permite una visualización real en 3D de las estructuras óseas y dentoalveolares, la CT de haz cónico (CBCT) libera una menor radiación que la CT convencional. El propósito de este artículo es discutir las aplicaciones clínicas en el diagnóstico y plan de tratamiento dental y orofacial y comparar CBCT con otras técnicas de imagen en la realización de estas tareas.

PALABRAS CLAVE

Tomografía computerizada de haz cónico; CBCT; Imagen digital; Rayos X.

Cone beam computed tomography Clinical applications in dentistry; Comparations with others techniques

ABSTRACT

Conventional radiographs represent 2-D images of 3-D objects with significant structure superimposition and unpredictable magnification. Computed tomography (CT) allows true 3-D visualization of dentoalveolar and osseous structures, cone beam CT (CBCT) delivers lower radiation than conventional CT. The aim of this article is discuss the clinical applications in dental and orofacial diagnosis and treatment planning and to compare CBCT with other imagen techniques in doing those tasks.

KEY WORDS

Cone-beam computed tomography; CBCT; Digital imaging; X-ray.

Correspondencia:
leticialenguas@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La tomografía computerizada de haz cónico, en inglés, Cone Beam Computed Tomography (CBCT), o tomografía digital volumétrica fue desarrollada a finales de los años noventa con el fin de obtener escáneres tridimensionales del esqueleto maxilofacial con una dosis de radiación menor que la TC^{1,2} revolucionando la imagen del complejo craneofacial y ofreciendo una alternativa a la imagen convencional intraoral y panorámica, que elude la superposición y los problemas de distorsión de imágenes.

A pesar de que su utilización se centra principalmente en implantología, cirugía oral y maxilofacial y ortodoncia, la tecnología CBCT tiene potenciales ventajas en el diagnóstico y manejo clínico de las alteraciones dentales comunes en otros campos, como en endodoncia, periodoncia y cirugía bucal.³ El objetivo de este artículo es describir las ventajas que aporta esta nueva tecnología frente a las técnicas de imagen convencionales en sus diferentes aplicaciones de la práctica odontológica.

TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA CONVENCIONAL (TC)

La TC fue desarrollada por G.N. Hounsfield⁴ en 1967 y desde el primer prototipo ha sufrido una evolución gradual hasta 6 generaciones distintas cuya clasificación se basa en la organización de las distintas partes del sistema y por el desplazamiento físico del haz.⁵ (Fig.1).



Fig. 1. TAC de última generación.

Las imágenes son capturadas en las pantallas del detector y están hechas de múltiples planos, hasta obtener una imagen completa, por lo que precisa mayor radiación al paciente. Otras limitaciones consisten en que los aparatos necesitan un espacio considerable y son más caros que los aparatos de radiografía convencional.

La imagen de CT se ha convertido en el "gold standard" de los casos de traumatismos maxilofaciales,⁶ aunque también

se utiliza para el estudio del crecimiento y desarrollo, la patología oral y de las glándulas salivares y la planificación y colocación de implantes.

TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA DE HAZ CÓNICO CBCT (CONE BEAM CT)

Difiere de la imagen de TC en que el volumen tridimensional de los datos es adquirido en el curso de un solo barrido del escáner, usando una simple y directa relación entre sensor 2D y fuente de radiación que rotan sincrónicamente alrededor de la cabeza del paciente. (Fig. 2). Dependiendo del tipo de escáner utilizado, la fuente de rayos X y el detector rotan entre 180 y 360 grados alrededor de la cabeza del paciente. La mayoría escanean la cabeza del paciente sentado o de pie (Fig. 3). El haz de rayos es de forma có-

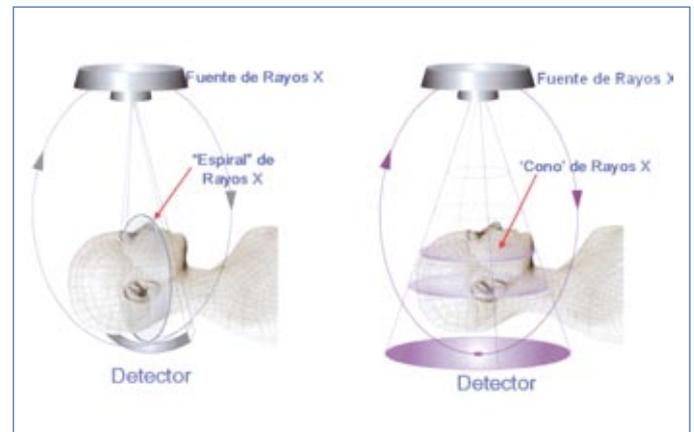


Fig. 2. Esquema que muestra la adquisición de la imagen en el TAC (Izda.) y en el CBCT (Dcha.).



Fig. 3. Aparatos CBCT: Exploración con paciente sentado (izq.) o de pie (dcha.).

nica y obtiene un volumen de datos cilíndrico o esférico, descrito como field of view (FOV). El tamaño del FOV es variable (Fig.4), escáneres CBCT de gran volumen (por ejemplo, i-CAT; Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA y Newtom; QR, Verona, Italia) son capaces de capturar el



Fig. 4. Esquema que muestra los diferentes tamaños de FOV de más pequeño (Izda.) a más grande (Dcha.).

esqueleto maxilofacial completo. Algunos escáneres CBCT también permiten ajustar la altura del FOV cilíndrico para capturar sólo una zona (por ejemplo, i-CAT). Esto tiene la ventaja de reducir la dosis de radiación.

Los escáneres CBCT de limitado volumen (por ejemplo, Accuitomo 3D, J Morita Corporation, Osaka, Japon) pueden capturar un volumen de datos de 40 mm de alto por 40 mm de diámetro, similar a la anchura y altura de la radiografía convencional periapical (Fig.5). El FOV más pequeño resulta en una dosis efectiva menor de radiación de 7,4 μ Sv.

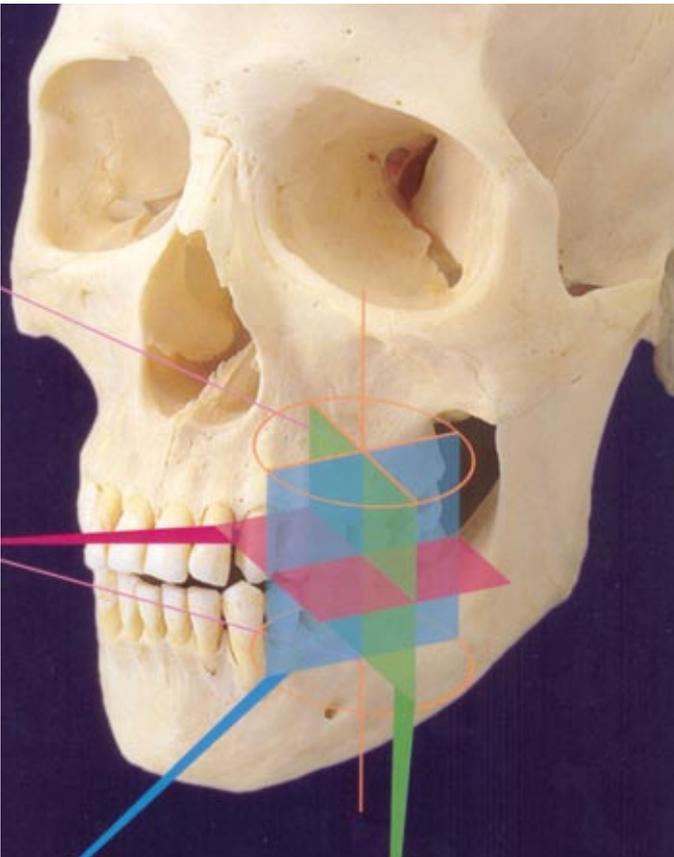


Fig. 5. Imagen CBCT con FOV de volumen limitado.

Los tiempos de adquisición con CBCT varían entre 10 y 40 s en función del tipo de escáner usado y de los parámetros de exposición seleccionados. El CB Mercuray (Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan) es capaz de hacer el estudio en 10 s (lo que constituye una ventaja al reducir el movimiento del paciente durante la captación de la imagen) con una rotación de 360°. También ofrece tres tipos diferentes de FOV.

CBCT VS TC

En comparación con una tomografía computerizada convencional médica, el CBCT es de un coste menor y utiliza una dosis de exposición relativamente menor.

EXACTITUD DE REPRODUCCIÓN

Las imágenes 3D están constituidas por voxels en lugar de pixels que son los que determinan las imágenes digitales 2D. El tamaño de cada voxel depende de su altura, anchura y grosor o profundidad y es el elemento más pequeño del volumen de la imagen radiográfica 3D. En TC los voxels son anisotrópicos (no idénticos en todos los planos), la altura del voxel depende del grosor del haz de TC (grosor del corte), lo que limita la precisión de imágenes reconstruidas en determinados planos (por ejemplo, en el sagital) puesto que depende de la distancia entre dichos cortes (gap) programada en la adquisición. Pero con los datos CBCT, los voxels son isotrópicos, (iguales en longitud, altura y profundidad), lo que permite unas mediciones geométricamente precisas para los datos de CBCT en cualquier plano.^{7,8} Los cortes tomográficos, son tan gruesos como el grosor de un voxel y pueden verse en distintas formas. Una opción es ver las imágenes en los tres planos ortogonales: axial, sagital y coronal en una única pantalla, permitiendo al clínico una visión tridimensional real del área de interés. Seleccionando y moviendo el cursor en la imagen se alteran

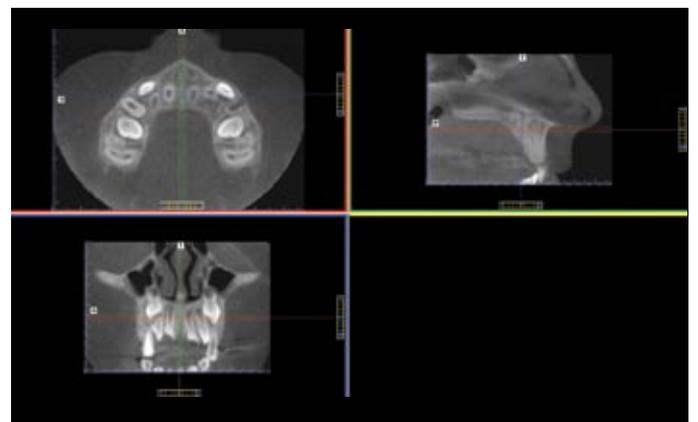


Fig. 6. Pantalla de navegación con imagen axial (arriba, izq.), sagital (arriba, dcha.) y frontal (abajo, izq.).



simultáneamente los cortes en los otros planos reconstruidos permitiendo el cambio dinámico en tiempo real para ver el área de interés. (Fig.6). La calidad de la imagen de los escáneres de CBCT es superior a la TC helicoidal para el análisis de tejidos dentales duros en la zona maxilofacial según algunos autores.^{9,10,11}

Varios estudios¹²⁻¹⁵ han confirmado la exactitud geométrica tridimensional del CBCT.

Ludlow¹⁵ et al (2007) concluyeron que CBCT daba mediciones precisas en 2 y 3 dimensiones independientemente de la orientación de la cabeza y también que era fiable para obtener mediciones lineales del esqueleto maxilofacial.

DOSIS EFECTIVA

Una de las mayores ventajas de CBCT frente a CT es la dosis efectiva menor. Aunque las dosis efectivas de los escáneres CBCT varían en función de factores como el FOV pueden ser casi tan bajas como una panorámica y considerablemente menores que un escáner CT médico.¹⁶⁻²⁰ El haz está más enfocado y la radiación menos dispersa.¹⁷ La radiación total equivaldría a un 20% de TC convencional y a una exposición radiográfica de una serie periapical completa.²¹

Como podría esperarse, los escáneres de volumen limitado que son específicamente diseñados para capturar información de una zona pequeña de maxilar o mandíbula liberan una dosis efectiva menor ya que la zona irradiada es menor.

Teniendo en cuenta la exactitud de reproducción documentada ya por algunos autores y la disminución de dosis de radiación comparativamente con la TC, la CBCT se significa como una técnica de gran potencial en odontología, lo que obliga a conocer sus aplicaciones en este campo y las ventajas e inconvenientes en relación a las técnicas convencionales hasta ahora habituales.

APLICACIONES CBCT EN ODONTOLOGÍA

Como se ha señalado anteriormente, las unidades CBCT pueden clasificarse de acuerdo al volumen de la imagen o campo de visión, en inglés, field of view (FOV), como sistemas de gran FOV (de 6 a 12 pulgadas o 15-30,5 cm.) o sistemas de FOV limitado (de 1,6 a 3,1 pulgadas o 4 a 8 cm.). En líneas generales, a mayor FOV, más extensa la imagen del área anatómica representada, mayor exposición de radiación al paciente y menor resolución de las imágenes resultantes. A la inversa, un sistema limitado de FOV da una imagen de una pequeña parte de la cara, irradia menos y produce una imagen de mayor resolución. Con los escáne-

res CBCT de limitado FOV puede obtenerse una resolución de voxels isotrópica por debajo de las 100µm.²²

Aquellas aplicaciones que no necesiten un extremo detalle de las estructuras pero sí requieran una representación de una parte significativa de la cara, como en ortodoncia o en la reconstrucción para implantes, podrían beneficiarse de un escáner CBCT de moderado a gran FOV. De forma alternativa, aquellas aplicaciones que precisan de la imagen de una pequeña parte del complejo orofacial son más apropiadas para un sistema CBCT de limitado FOV, por ejemplo, para el diagnóstico de alteraciones dentales.

Los parámetros de CBCT deberían seleccionarse con el fin de obtener la mejor resolución posible y no sólo limitar la exposición a la radiación del paciente sino, lo más importante, aportar un detallado diagnóstico para las aplicaciones en periodoncia y endodoncia.²³

DIAGNÓSTICO DE CARIES

La imagen dentaria con radiografía convencional sobreesestima la presencia de caries, pero los estudios que comparan la eficacia en el diagnóstico de caries de la tecnología CBCT con Rx convencional tipo aletas de mordida, periapicales e intraorales no son concluyentes:

Mientras que en unos estudios el CBCT mostró una mayor precisión cuando se trataba de evaluar la profundidad de la caries interproximal al compararlo con las radiografías periapicales digitales²⁴ y una sensibilidad de casi el doble en aquellas lesiones proximales que se extendían a dentina,²⁵ en el estudio de Tsuchida et al (2007) no se encontró ninguna diferencia en la detección de lesión de caries entre CBCT limitado y película radiográfica en las superficies premolares proximales observadas.²⁶

En un estudio similar de dientes no cavitados, el CBCT realizado con un mayor FOV se comportó peor en la detección de caries mientras que CBCT con un FOV limitado mostró una mayor sensibilidad sólo para la caries oclusal en comparación con las radiografías periapicales digitales o convencionales.²⁷

A pesar de que estos estudios muestran los potenciales beneficios de la tecnología CBCT en la detección de la caries, han sido realizados en condiciones experimentales bien controladas que no reflejan la realidad de la práctica cotidiana ya que los artefactos en las imágenes de las estructuras dentales con el CBCT son frecuentes,²⁸ principalmente en las coronas dentarias.²² Estos artefactos causados por restauraciones metálicas, implantes, material de restauración endodóntico, etc. crean distorsión de las estructuras y se proyectan como líneas de bandas claras y oscuras sobre



los dientes adyacentes haciendo difícil o incluso imposible el diagnóstico. En particular, las bandas oscuras pueden parecer caries recurrentes. También el movimiento del paciente disminuye la agudeza y la definición de las estructuras.

En los momentos actuales esta tecnología no es más práctica que las radiografías intraorales para la detección de la caries.²⁹ Sin embargo, si se toma un escáner CBCT para otros propósitos, todos los dientes aparecen en el volumen de la imagen y entonces es nuestro deber, evaluar su integridad y posible patología de caries.

EVALUACIÓN PERIODONTAL

La gran ventaja que aporta el CBCT frente a la radiografía convencional es que se puede obtener información volumétrica de todas las superficies.

La radiografía convencional bidimensional presenta varias limitaciones a la hora de determinar los niveles de hueso en las zonas bucal y lingual así como la pérdida parcial del grosor de hueso interdental. Con CBCT se resuelven los problemas de proyección de las radiografías periapicales y de aletas de mordida. (Fig.7).



Fig. 7. Imagen transversal que muestra las corticales vestibular y palatina.

Sin duda, CBCT se comporta de manera muy superior en el análisis de los defectos periodontales artificiales bucales o linguales al compararlo con la radiografía convencional. Sin embargo, ambos tipos se muestran similares en la detección del nivel de hueso interproximal.³⁰

También se comporta mejor en el diagnóstico y en el análisis cuantitativo de los defectos periodontales en comparación con la radiografía periapical en cráneos disecados y es particularmente ventajoso para el análisis bucal y lingual así como de los defectos periodontales de la furca.^{31,32}

CBCT supera a la radiografía convencional intraoral en precisión para la determinación del nivel de hueso periodontal después de la terapia de regeneración periodontal.³³

ENDODONCIA

Aunque la radiografía convencional es más práctica y adecuada para los procedimientos habituales de endodoncia, el CBCT aporta una visión axial, coronal (Fig.8) y sagital que con la RX convencional no se obtiene. La capacidad de reducir o eliminar la superposición de las estructuras circundantes la hace muy ventajosa en su aplicación endodóntica:

VISUALIZACIÓN DE LA ANATOMÍA DE LOS CONDUCTOS PULPARES

El escáner CBCT con un limitado FOV identifica con mayor exactitud los canales radiculares al compararlo con la radiografía periapical digital³⁴, además de aportar unas me-



Fig. 8. Imagen CBCT mostrando lesión periapical en raíz palatina primer molar superior.

diciones de las angulaciones de las raíces muy precisas en comparación con la imagen convencional, lo que sirve para poder evaluar la curvatura de la raíz.^{35,36}

IDENTIFICACIÓN DE LA PATOLOGÍA PERIAPICAL

El CBCT ha mostrado tener una mayor sensibilidad y precisión diagnóstica que las radiografías convencionales para detectar lesiones periapicales experimentales.³⁷⁻³⁹ De un total de 1.020 dientes, la periodontitis apical fue detectada en el 38,92% de los casos con radiografía periapical y en el 60,19% por CBCT⁴⁰ ($p < 0,001$).

En un estudio de pacientes que incluía 74 dientes posteriores superiores e inferiores con un total de 156 raíces, el CBCT detectó 34% más de lesiones periapicales que las radiografías intrabucales y con una mayor frecuencia demostró la expansión de la lesión hacia el seno maxilar, el engrosamiento de la mucosa del seno y la presencia de conductos si tratar⁴¹ aunque los mismos autores describen cómo los artefactos del propio material restaurador de la endodoncia pueden distorsionar la imagen y dificultar el diagnóstico.

EVALUACIÓN PREQUIRÚRGICA

Se recomienda el CBCT para la planificación adecuada de cualquier cirugía periapical.^{42,43}

ANÁLISIS DEL PROCESO DE REABSORCIÓN RADICULAR INTERNA Y EXTERNA

Algunos estudios de casos han demostrado las ventajas de la tecnología CBCT sobre la radiografía convencional, no sólo en detectar la reabsorción sino también en evaluar su extensión.^{8,44-46} El escáner CBCT demostró mayor sensibilidad en detectar las cavidades de reabsorción radicular externa que la radiografía panorámica convencional⁴⁷ en un estudio in vitro sobre un cráneo disecado que reproducía diferentes grados de reabsorciones radiculares de incisivos laterales producidas por un canino impactado.

Hay un consenso generalizado acerca de que con el CBCT se puede conocer la localización exacta y la extensión de la reabsorción radicular así como la posible perforación y comunicación con el espacio del ligamento periodontal^{8,48} aportando una gran información acerca del diagnóstico, pronóstico, plan de tratamiento y seguimiento para manejar estos casos.²⁹

IDENTIFICACIÓN DE FRACTURAS DENTARIAS

En radiografía convencional, salvo que el haz de rayos esté orientado de modo que atraviese el plano de la fractura, no es posible separar los fragmentos en la imagen. La evaluación del traumatismo dental es una de las tareas más difíciles para el odontólogo porque concurren muchos factores: desplazamiento de fragmentos, superposición de estructuras, edema de tejidos, presencia de cuerpos extraños y en ocasiones, falta de cooperación del paciente.

El scanner CBCT supera a la Rx convencional en el análisis de dientes traumatizados con sospecha de fractura radicular⁴⁹⁻⁵¹ (Fig.9). En el estudio de Kamburoglu et al,⁵² donde se detectaban fracturas radiculares horizontales inducidas de forma experimental, el escáner CBCT mostraba una mayor sensibilidad y mayor concordancia interobservador que las radiografías convencionales periapicales. Ambas técnicas presentaban la misma especificidad. En la detección de fracturas radiculares verticales inducidas experimentalmente también mostró una sensibilidad mayor del doble que las radiografías periapicales (79,4% vs 37,1%) con una especificidad parecida aunque ligeramente menor (92,5% vs 95%) que era afectada por el material de relleno de los conductos radiculares.⁵³

ORTODONCIA

La ortodoncia tradicionalmente se basaba en la radiogra-

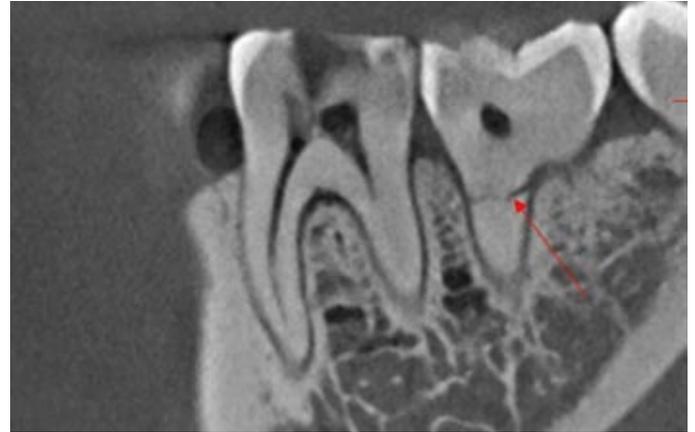


Fig. 9. Imagen CBCT mostrando fractura radicular (flecha roja).

fía bidimensional para evaluar estructuras tridimensionales. Pero con CBCT, es posible obtener un diagnóstico ortodóncico más comprensible y un plan de tratamiento más preciso ya que permite:

Análisis cefalométrico en tres dimensiones

Las cefalometrías convencionales presentan limitaciones asociadas como son posibles errores en la colocación del paciente, magnificación diferencial de estructuras bilaterales y superposición de estructuras craneofaciales que complican la localización precisa de los puntos cefalométricos^{54,55} a pesar de lo cual se ha utilizado la telerradiografía. Las mediciones realizadas a partir de cefalometrías 2D generadas con CBCT son comparables a las obtenidas directamente a partir de cráneos disecados⁵⁶ y con cefalometrías⁵⁷ tradicionales en 2D (Fig.10).

La visualización de las estructuras vitales en 3D, por tanto, aporta una mejor localización de las marcas anatómicas en los análisis cefalométricos (por ejemplo, condylion, gonion y orbitale) y unas mediciones lineales precisas^{58,59} así como medidas angulares entre puntos no sólo del mismo plano.^{56,60-61} Las imágenes de CBCT sobreestiman las distancias reales entre los lados del cráneo, pero estas diferencias sólo son significativas en la base del cráneo.⁶²

Según Lamichane et al (2009) mediante la reconstrucción de un cefalograma lateral a partir de un escáner CBCT, se puede copiar la magnificación inherente de un cefalograma 2D convencional con alta precisión.⁶³ Los datos del CBCT pueden convertirse en la imagen clásica de cefalometría lateral para su análisis⁶⁴ pero hoy en día se están desarrollando análisis de datos cefalométricos en tres dimensiones que demuestran una gran reproducibilidad intra e interobservador con el entrenamiento y protocolo adecuados, fundamentales en la identificación de puntos cefalométricos en

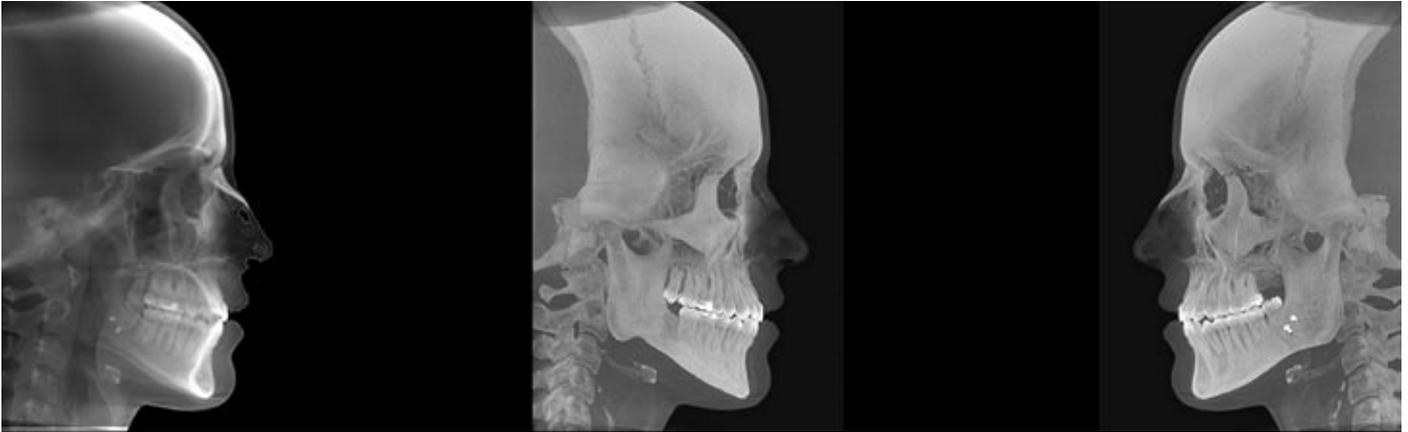


Fig. 10. Imágenes laterales obtenidas con CBCT para valoración ortodóncica: (izq.: simula telerradiografía; centro y dcha.: proyecciones en máxima intensidad).

los tres ejes del espacio⁶⁵ para obtener el mayor provecho de toda la potencial información que ofrece la imagen en 3D. Por todo ello, la identificación de los puntos cefalométricos en 3D lleva más tiempo que la convencional en 2D. Los puntos de coordenadas 3D corresponden a las localizaciones reales anatómicas.⁶⁴

La imagen para el plan de tratamiento de **cirugía ortognática** y el **análisis de crecimiento** se realiza en una proporción o escala real 1:1. Los avances en la imagen han evolucionado el tratamiento de las deformidades dentofaciales y el campo de la cirugía ortognática; la utilización de la tecnología de la fusión de la imagen permite crear una reconstrucción anatómica real de ese paciente, con un registro preciso de todas las imágenes tridimensionales (TC/CBCT, RMN, imágenes faciales, tejidos blandos superficiales) superpuestas en una estructura anatómica tridimensional válida⁶⁶ (Fig.11).

La superposición de las cefalometrías laterales ha sido la forma estandarizada de cuantificar los cambios debidos al tratamiento y al crecimiento.⁶⁷⁻⁶⁹ Diferenciar la comparación de pacientes tratados con sujetos controles mediante las superposiciones tridimensionales en determinadas zonas posi-

bilita realizar el análisis de los desplazamientos/movimientos óseos (en posición) y su remodelación (los cambios en tamaño y forma) respecto a la base del cráneo, lo que mejora nuestra interpretación de la retroalimentación dinámica a través de la cual el crecimiento y el tratamiento interactúan.⁷⁰⁻⁷² Estudios recientes han demostrado que la **superposición con CBCT** utilizando el registro completo de la superficie de la base del cráneo es válida para pacientes adultos⁷⁰ y en niños en crecimiento cuando se utiliza la fosa craneal anterior y el etmoides.⁷³ También ha podido demostrarse, mediante superposición en estructuras óseas fijas, una precisión aceptable de la tecnología CBCT en la cuantificación del desplazamiento dentario en los tres ejes del espacio, con errores de menos del 5% en traslación y del 19% en rotación con lo que se podría utilizar en las predicciones de movimientos dentarios con bastante fiabilidad.⁷⁴

Mejora del análisis de la **simetría/asimetría esquelética**.⁷¹ No olvidemos que la cefalometría postero-anterior basada en la radiografía convencional destinada a este mismo propósito se puede afectar por un posicionamiento incorrecto de la cabeza del paciente o una magnificación desigual.⁷⁵

Determinación del volumen, forma y posición de los huesos

Permite determinar el grosor y la forma del hueso en general⁷⁶ y en determinadas zonas, la planificación y seguimiento de procedimientos terapéuticos como la colocación de microimplantes⁷⁷ o la **expansión maxilar rápida**.⁷⁸

Los microtornillos localizados cerca de las raíces, como se observa en estudios realizados con radiografías,⁷⁹ tienen una elevada tasa de fracaso. Gahleitner et al⁸⁰ utilizaron la TC para analizar las estructuras óseas en la colocación de miniimplantes en 32 pacientes ya en el año 2004. El estudio con CBCT aporta una información muy valiosa para la

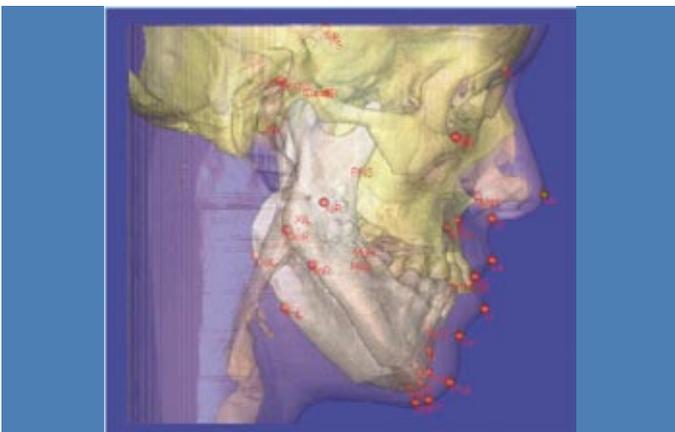


Fig. 11. Cefalometría lateral tridimensional de cráneo.

colocación y angulación de los microtornillos entre las raíces ofreciendo localizaciones más seguras para los mismos⁸¹ con menor radiación.⁸²

Evaluación de injerto de hueso alveolar en pacientes con hendidura palatina

Los métodos de imágenes habituales para analizar las condiciones postoperatorias del puente óseo después de colocar un injerto de hueso suelen ser radiografías dentales, oclusales y panorámicas.⁸³ Rosenstein et al (1997) encontraron diferencias, aunque no significativas, de hasta el 25% entre los cálculos de 2D de las radiografías 2D y 3D de TC al evaluar la cobertura de hueso de las raíces de los dientes adyacentes a la hendidura después de colocar el injerto de hueso.⁸⁴

Lee et al (1995) encontraron que la radiografía dental convencional sobreestimaba el número total de defectos alveolares oseoinjertados que podían ser manejados ortodóncicamente hasta en un 17% e, incluso, argumentaban que la radiografía dental sola es inadecuada como base para tomar decisiones clínicas ortodóncicas puesto que fracasa a la hora de aportar una información detallada sobre la profundidad y el volumen de hueso depositado en la hendidura.⁸⁵ Hay bastante concordancia entre las mediciones directas realizadas en cráneos disecados y las indirectas tomadas de imágenes de TC, por lo que la TC ha sido utilizada para realizar mediciones lineales en las tres direcciones, análisis volumétrico y seguimiento volumétrico del injerto.^{86,87}

Con CBCT parece obtenerse una mejor visión de la cantidad de hueso en la zona del injerto en pacientes operados de hendidura labiopalatina por lo que sus autores⁸⁸ lo recomiendan por encima de la TC. (Fig.12).

IMPACTACIONES

El método radiográfico tradicional para el diagnóstico de impactaciones se realiza con dos radiografías, desviando el tubo de rayos (técnica del paralelismo, mediante el movimiento de un objeto respecto a otro) pero la imagen corresponde a una posición arbitraria y tan sólo aporta una idea aproximada de la dificultad para el manejo del caso. Además, con este tipo de radiografías, también se ha evaluado tradicionalmente la extensión de la posible patología causada por el diente ectópico y sus estructuras circundantes.⁸⁹

Los estudios clínicos que usan escáneres TC en 3D han demostrado que la incidencia de reabsorciones radiculares de los dientes adyacentes a los caninos incluidos es mayor que la que se ha pensado en estudios previos.⁹⁰ La tecnología CBCT puede aportar un manejo y un tratamiento más pre-

decible de estos pacientes reduciendo los riesgos asociados a cualquier diente impactado⁹¹ y diseñar una cirugía mínimamente invasiva. En este aspecto, el CBCT ofrece una clara ventaja respecto a la radiografía convencional.

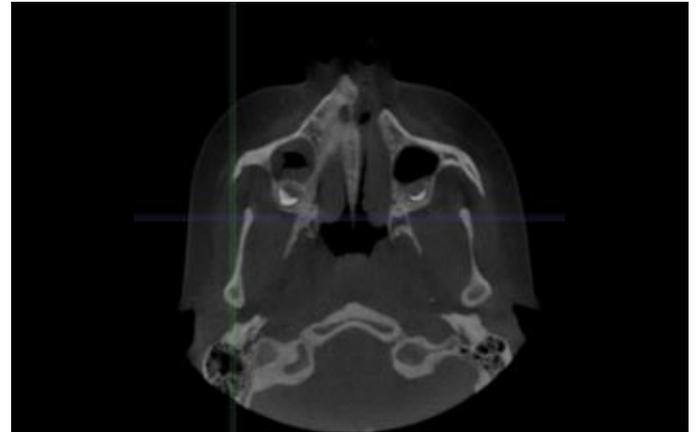


Fig. 12. Imagen de fisura palatina.

Es de gran utilidad para el análisis de los caninos maxilares impactados, del tamaño del folículo, su posición labial o palatina, la cantidad de hueso que cubre el diente, la angulación de su eje principal y en la posible reabsorción de los incisivos centrales y laterales adyacentes.⁹²⁻⁹⁴ (Fig.13).

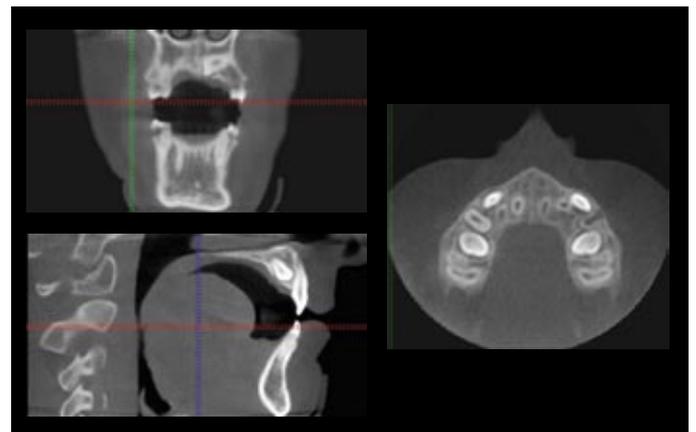


Fig. 13. Corte coronal (arriba, izq.), sagital (abajo, izq.) y axial (dcha.) mostrando caninos incluidos y su relación con estructuras anatómicas vecinas.

Si bien el desarrollo radicular, la relación con las estructuras anatómicas vitales, incluyendo el conducto dentario inferior, el seno maxilar y dientes adyacentes y la orientación tridimensional de los dientes impactados dentro del alveolo, así como la detección de cualquier patología asociada que puede causar la impactación puede ser determinada con mayor precisión en la imagen por CBCT^{91,95} no todos los dientes impactados requieren de un escáner CBCT para su diagnóstico y plan de tratamiento, por ejemplo, en la mayoría de los casos, la relación de las raíces de los cordales inferiores impactados con el conducto dentario inferior

pueden evaluarse en una radiografía convencional, si dicha radiografía revela una estrecha relación con dichas raíces, el escáner CBCT podría ser de utilidad.⁹⁶ (Fig. 14).

También es muy útil para el diagnóstico preciso de la posición de dientes **supernumerarios**, algunos autores recomiendan su utilización rutinaria en estos casos.⁹⁷

En un estudio realizado en pacientes con aparatología fija multibrackets antes de retirar los mismos, donde se trataba de comparar la exactitud de la Rx panorámica vs CBCT en determinar el contacto entre las raíces dentarias, Leuzinder et al (2010) pudieron comprobar cómo la Rx panorámica so-



Fig.14 (arriba): Reconstrucción panorámica CBCT donde se aprecian las malposiciones de segundos y terceros molares inferiores y sus relaciones con tejidos circundantes. 14 (debajo): Imágenes transversales localizadas en el tercer molar que ponen de manifiesto la relación entre las raíces y el conducto dentario inferior.

breestimaba dichos contactos (89% falsos positivos). Aunque no estaría justificado el uso de CBCT de forma rutinaria para evaluar el control radiográfico de las raíces dentarias previo a la planificación del descementado de brackets, según los autores⁹⁸ podría estar indicado en situaciones especiales (dislaceraciones, excesivas angulaciones apicales).

Estudios de las vías aéreas y senos

Tradicionalmente el análisis de la vía aérea se llevaba a cabo usando cefalometrías laterales de cráneo.⁹⁹

Con la TC es posible estudiar la vía aérea¹⁰⁰ y también se pueden crear reconstrucciones tridimensionales.¹⁰¹ Con la tecnología CBCT se mejora el análisis volumétrico y tridimensional de la vía aérea⁹⁹ Fig.(15). Los datos volumétricos obtenidos de CBCT pueden utilizarse con diferentes propósitos:

Identificar bordes anatómicos, determinar el grado de infección y la presencia de pólipos, ayuda en los estudios de las vías aéreas¹⁰² y en el tratamiento de la apnea obstructiva del sueño,¹⁰³ cálculo del actual volumen del espacio de la vía aérea y determinación del punto de la constricción de la vía aérea.¹⁰⁴

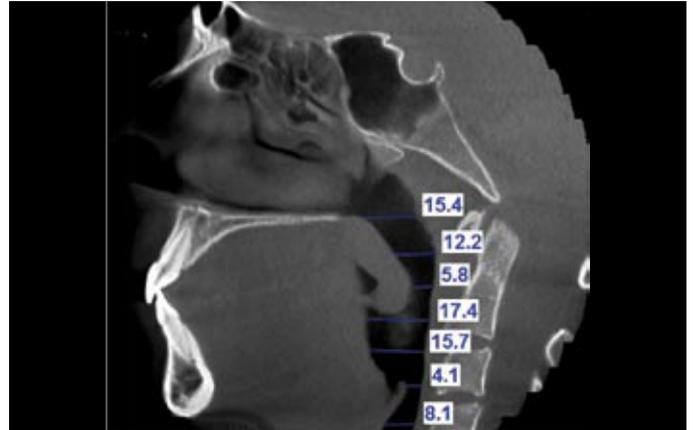


Fig. 15. Imagen lateral CBCT de vías aéreas cuantificada.

La faringe es más elíptica que redonda en su corte seccional por lo que la información en 2D aportada por la cefalometría obtenida de una telerradiografía es insuficiente para el diagnóstico de la apnea **obstructiva del sueño**¹⁰⁵ ya que las mediciones de su forma y tamaño son esenciales en el diagnóstico de la misma y en los casos en que se planifiquen procedimientos de reposición mandibular /setback quirúrgicos.¹⁰⁶

Recientemente se han realizado estudios con tecnología CBCT para tratar de relacionar la morfología facial con el volumen y forma de las vías aéreas.^{107,108}

Morfología de la ATM

La precisión en la evaluación radiográfica convencional de las características anatómicas de ATM siempre ha sido difícil por la superposición de otras estructuras, particularmente de la región petrosa del hueso temporal, el proceso mastoideo y la eminencia articular. La TC ha mejorado enormemente el diagnóstico de la patología de ATM al ser un método diagnóstico preciso, eficiente, no invasivo y rápido, de elección para obtener las imágenes de estructuras óseas.¹⁰⁹

La TC, además de eludir la superposición de tejidos, es más sensible que la radiografía convencional a través de los diferentes tipos de tejidos; las diferencias entre los mismos se ven e identifican más claramente. Además la TC permite el ajuste y la manipulación de la imagen después del escaneo (luminosidad-amplificación de determinadas localiza-

ciones). También permite ajustar el contraste de la escala de grises para visualizar una estructura en particular y posibilita la determinación precisa de medidas lineales y angulares.¹¹⁰ Ahora es mejorada con la tecnología CBCT siendo posible: Analizar la anatomía condilar de la ATM sin superposición ni distorsión de la imagen.

Obtener una imagen real 1:1 de las estructuras condilares para análisis más precisos.

La calidad de las imágenes de ATM con CBCT (Fig.16) es comparable a las obtenidas con CT, pero tiene como ventajas que su imagen se recoge más rápidamente, es menos cara y se adquiere con una menor dosis de radiación para el paciente,¹¹¹ a pesar de que el "gold estándar" de los métodos diagnósticos por imagen de la ATM es la RMN puesto que es el mejor para ver los tejidos blandos, no produce radiación ni reacciones adversas conocidas^{112,113} y es muy eficaz en la detección de alteraciones internas de ATM.¹¹⁴

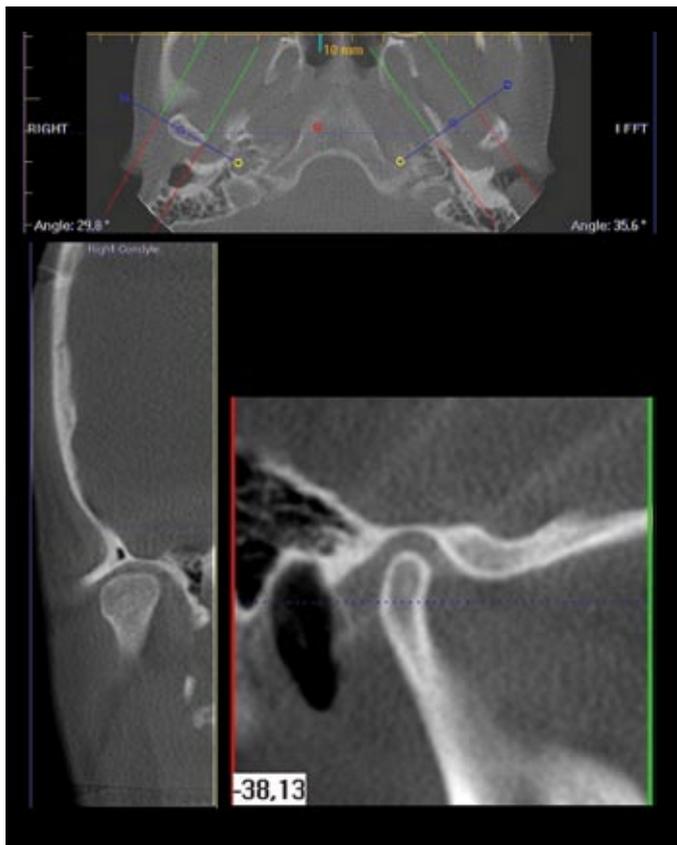


Fig. 16. Imágenes axial (arriba), sagital (abajo, dcha.) y coronal (abajo, izq.) CBCT de ATM.

IMPLANTOLOGÍA

Los escáneres CT convencionales han sido utilizados de forma rutinaria para analizar las dimensiones de hueso, la calidad y la altura del hueso alveolar.¹¹⁵

El escáner CBCT en 3D optimiza el plan de tratamiento con

implantes dentales,¹¹⁶ con los usos y beneficios que se exponen a continuación:

Para localizar y determinar la distancia a las estructuras anatómicas vitales.

Medir la anchura del hueso alveolar y visualizar el contorno del hueso.

Determinar si es necesario un injerto de hueso o un levantamiento de seno.

Seleccionar el tamaño y el modelo de implante más adecuado.

Optimizar la localización del implante y su angulación.

Reducir los tiempos quirúrgicos.

Si además se utiliza la localización de implantes con una guía basada en escáneres TC de 3D, todos los beneficios anteriores aumentan.¹¹⁷

PATOLOGÍA

Quistes, tumores, otras anomalías.

CBCT ha mostrado mayor sensibilidad en detectar la invasión por carcinoma gingival de células escamosas que la radiografía panorámica.^{118,119}

CONCLUSIONES

La CBCT puede considerarse una técnica de gran potencial en odontoestomatología.

A pesar de que cada vez está siendo más disponible entre los dentistas, CBCT está aún lejos de reemplazar las tecnologías de imagen tradicionales, puesto que son muchos los factores que limitan su uso, incluyendo, el elevado coste del equipo y el de los estudios de imagen, la dosis de radiación más alta que la de las radiografías convencionales, la formación sofisticada del operador, el mayor tiempo requerido para la manipulación e interpretación y la afectación de la calidad de la imagen por materiales metálicos u otros materiales densos que la comprometen.¹²⁰

Aún no hay suficientes publicaciones para establecer la evidencia científica de que CBCT a pesar de su indudable mejor visualización de las estructuras craneofaciales, mejore el plan de tratamiento y manejo.¹²¹

Tampoco han sido establecidos los criterios de selección para la utilización de la tecnología CBCT para las distintas aplicaciones en odontología, aunque ofrece una clara ventaja en implantología y ortodoncia principalmente en pacientes con disarmonías faciales o severas asimetrías, apnea del sueño o caninos maxilares impactados; también puede ser útil en el caso de la planificación de colocación de microtornillos.

A pesar de que la RMN es la técnica de excelencia para los



pacientes con DTM, la tecnología CBCT también aporta información útil a nivel óseo de la ATM.

El dentista está familiarizado con los hallazgos normales y patológicos que observa en las radiografías periapicales, de aleta de mordida, o panorámicas pero con la tecnología CBCT la imagen ofrece un volumen que suele incluir el cerebro, la base del cráneo, la naso y orofaringe y las cervicales cuya imagen radiográfica normal y patológica no es

de rutina para muchos dentistas que pueden verse desbordados por las posibilidades de reconstrucción ofrecidas por esta tecnología CBCT en estas áreas.

La responsabilidad del dentista en la interpretación de las estructuras fuera del complejo orofacial y los derechos del paciente de un correcto diagnóstico de las anomalías que afectan estas estructuras aún no están claramente definidas. ◀

BIBLIOGRAFÍA

1. Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. *Development of a compact tomographic apparatus for dental use*. Dentomaxillofac Radiology. 1999; 28:245-8.
2. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. *A new volumetric CT machine for dental imaging base done the cone-beam technique: preliminary results*. European Radiology. 1999; 8, 1558-64.
3. Tyndall DA, Rathore S. *Cone-Beam CT Diagnostic applications: Caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications*. Dent Clin North Am. 2008;52(4):825-841.
4. Hounsfield GN. *Computerized transverse axial scanning (tomography)*. 1. Description of system. Br J Radiol. 1973; 46:1016-22.
5. Vannier MW. *Craniofacial computed tomography scanning technology, applications and future trends*. Section 2: Multi-dimensional imaging. Orthod Craniofac Res. 2003 (Suppl.1):23-30.
6. Finkle DR, Ringle SL, Luttenton CR, Beernink JH, Peterson NT, Dean RE. *Comparison of the diagnostic methods used in maxillofacial trauma*. Plast Reconstr Surg 1985;75:32-41.
7. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. *Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice*. J Can Dent Assoc. 2006; 72,75-80.
8. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. *Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography*. J Endod. 2007; 9,1121-32.
9. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. *A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2003;95(3):371-7.
10. Hashimoto K, Kawashima S, Kameoka S et al. *Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography*. Dentomaxillofac Radiol. 2007;36(8):465-71.
11. Hashimoto K, Kawashima S, Araki M, Iwai K, Sawada K, Akiyama Y. *Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four row multidetector helical CT*. J Oral Sci. 2006; 48(1):27-34.
12. Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. *Accuracy in measurement of distance using cone-beam computerized tomography*. Int J Oral Maxillofac Implants. 2004; 19,228-31.
13. Marmulla R, Wörtche R, Mühling J, Hassfeld S. *Geometric accuracy of the NewTom 9000 Cone Beam CT*. Dentomaxillofac Radiol. 2005; 34,28-31.
14. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L. et al. *Geometric accuracy of newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol and Endod. 2007; 104:551-9.
15. Ludlow JB, Lester WS, See M, Bailey LJ, Hershey HG. *Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol and Endod. 2007; 103, 534-42.
16. Ngan DCS, Kharbanda OP, Geentty JP, Darendelider MA. *Comparison of radiation levels from computed tomography and conventional dental radiographs*. Aust Orthod J. 2003; 19,67-75.
17. Mah J, Hatcher D. *Current status and future needs in craniofacial imaging*. Orthod Craniofac Res 2003;6 Supple 1:10-6 179-82.
18. Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. *Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography systems and conventional radiography*. Dentomaxillofac Radiol. 2004; 33(2):83-6.
19. Ludlow JB, Davies- Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. *Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT*. Dentomaxillofac Radiol. 2006;35(4):219-26.
20. Lofthag-Hansen S, Thilander-Klang A, Ekstubbbe A, Helmrot E, Gröndahl K. *Calculating effective dose on a cone beam computed tomography device: 3D Accuitomo and 3D Accuitomo FPD*. Dentomaxillofac Radiol. 2008;37(2):72-9.
21. Mah J, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. *Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol and Endod 2003; 96(4):508-13.
22. Scarfe WC, Farman AG. *What is cone-beam CT and how does it work?* Dent Clin North Am. 2008; 52(4):707-30.
23. Farman AG. *Field of view*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2009; 108 (4): 477-8.
24. Akdeniz BG, Gröndahl H-G, Magnusson B. *Accuracy of proximal caries depth measurements: Comparison between limited Cone Beam Computed Tomography, storage phosphor and film radiography*. Caries Res. 2006; 40(3):202-7.
25. Young SM, Lee JT, Hodges RJ, Chang TL, Elashoff DA, White SC. *A comparative study of high-resolution cone beam computed tomography and*



- charge-coupled device sensors for detecting caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009; 38(7):445-51.
26. Tsuchida R, Araki K, Okano T. *Evaluation of a limited cone beam volumetric imaging system: comparison with film radiography in detecting incipient proximal caries.* *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007; 104(3):412-6.
27. Haiter-Neto F, Wenzel A, Gotfredsen E. *Diagnostic accuracy of cone beam tomography scans compared with intraoral image modalities for detection of caries lesions.* *Dentomaxillofac Radiol.* 2008; 37 (1): 18-22.
28. Ritter L, Mischkowski RA, Neugebauer J, Dreiseidler T, Scheer M, Keeve E, Zöller JE. *The influence of body mass index, age, implants, and dental restorations on image quality of cone beam computed tomography.* *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):108-16.
29. Tetradis S, Anstey P, Graff-Radford S. *Cone Beam Computed Tomography in the Diagnosis of Dental Disease.* *J Calif Dent Assoc.* 2010; 38 (1): 27-32.
30. Misch KA, Yi Es, Sarment DP. *Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements.* *J Periodontol.* 2006; 78(9):1261-6.
31. Mol A, Balasundaram A. *In vitro cone beam computed tomography imaging of periodontal bone.* *Dentomaxillofac Radiol.* 2008; 37 (6):319-24.
32. Vandenberghe B, Jacobs R, Yang J. *Detection of periodontal bone loss using digital intraoral and cone beam computed tomography images: an in vitro assessment of bony and/or infrabony defects.* *Dentomaxillofac Radiol.* 2008; 37(5):252-60.
33. Grimard BA, Hoidal MJ, Mills MP, Mellonig JT, Nummikoski PV, Mealey BL. *Comparison of clinical, periapical radiograph, and cone beam volume tomography measurement techniques for assessing bone level changes following regenerative periodontal therapy.* *J Periodontol.* 2009; 80(1):48-55.
34. Matherne RP, Angelopoulos C. *Use of cone beam computed tomography to identify root canal systems in vitro.* *J Endod.* 2008; 34(1):87-9.
35. Peck JL, Sameshima GT, Miller A, Worth P, Hatcher DC. *Mesiodistal root angulation using panoramic and cone beam CT.* *Angle Orthod* 2007; 77(2):206-13.
36. Estrela C, Bueno MR, Sousa-Neto MD, Pécora JD. *Method for determination of root curvature radius using cone beam computed tomography images.* *Braz Dent J.* 2008; 19(2):114-8.
37. Stavropoulos A, Wenzel A. *Accuracy of cone beam dental CT, intraoral digital and conventional film radiography for the detection of periapical lesions. An ex vivo study in pig jaws.* *Clin Oral Invest.* 2007; 11 (1):101-6.
38. Patel S, Dawood A, Mannocci F, Wilson R, Pitt Ford T. *Detection of periapical bone defects jaws using cone beam computed tomography and intraoral radiography.* *Int Endod J.* 2009; 42(9):507-15.
39. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. *Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis.* *J Endod.* 2008; 34(3):273-9.
40. Estrela C, Bueno MR, Porto OC, Rodrigues CD, Pécora JD. *Influence of intracanal post on apical periodontitis identified by cone-beam computed tomography.* *Braz Dent J.* 2009;20(5):370-5.
41. Low MTL, Dula KD, Bürgin W, von Arx T. *Comparison of periapical radiography and limited cone-beam tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery.* *J Endod.* 2008; 34 (5):557-62.
42. Rigolone M, Pasqualini D, Bianchi L, Berutti E, Bianchi SD. *Vestibular surgical access to the palatine root of the superior first molar: "low-dose cone-beam" CT analysis of the pathway and its anatomic variations.* *J Endod.* 2003;29(11):773-5.
43. Tsurumachi T., Honda K. *A new cone beam computerized tomography system for use in endodontic surgery.* *Int Endod J* 2007 Mar 40 (3):224-32.
44. Patel S, Dadwood A. *The use of cone beam computed tomography in the management of external cervical resorption lesions.* *Int Endod J* 2007;40 (9): 730-7.
45. Maini A, Durning P, Drage N. *Resorption: within or without? The benefit of cone beam computed tomography when diagnosing a case of an internal/external resorption defect.* *Br Dent J* 2008; 204(3):135-7.
46. Patel S, Kanagasigam S, Pitt Ford T. *External cervical resorption: a review.* *J Endod.* 2009; 35(5):616-25.
47. Alqerban A, Jacobs R, Souza PC, Willems G. *In vitro comparison of 2 cone-beam computed tomography systems and panoramic imaging for detecting simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors.* *Am J Orthod J Dentofacial Orthop.* 2009;136(6):764.e1-11; discussion 764-5.
48. Patel S. *New dimensions in endodontic imaging: part 2. Cone beam computed tomography.* *Int Endod J.* 2009; 42(6):463-75.
49. Cohenca N, Simon JH, Mathur A, Malfaz JM. *Clinical indications for digital imaging in dentoalveolar trauma. Part 2: root resorption.* *Dent Traumatol.* 2007; 23(2):105-13.
50. Cohenca N, Simon JH, Rogers R, Morag Y, Malfaz JM. *Clinical indications for digital imaging in dentoalveolar trauma. Part 1: traumatic injuries.* *Dent Traumatol.* 2007; 23(2):95-104.
51. Bernardes RA, de Moraes IG, Húngaro Duarte MA, Azevedo BC, de Azevedo JR, Bramante CM. *Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fractures.* *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009; 108 (2):270-7.
52. Kamburo?lu K, liker Cebeci AR, Gröndahl HG. *Effectiveness of limited cone-beam computed tomography in the detection of horizontal root fracture.* *Dent Traumatol.* 2009; 25(3):256-61.
53. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. *Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by cone beam computed tomography scan.* *J Endod.* 2009; 35 (5):719-22.
54. Midtgard J, Bjork G, Linder-Aronson S. *Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances.* *Angle Orthod.* 1974; 44:5-61.
55. Houston WJ. *The analysis of errors in orthodontic measurements.* *Am J Orthod* 1983;83:383-90.
56. Kumar V, Ludlow JB, Mol A, Cevidanes L. *Comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms.* *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:263-9.
57. Kumar V, Ludlow JB, Cevidanes LHS, Mol A. *In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms.* *Angle Orthod* 2008;78:873-9.
58. Berco M, Rigali PH Jr, Miner RM, DeLuca S, Anderson NK, Will LA. *Accuracy and reliability of linear cephalometric measurements from cone-beam computed tomography scans of a dry human skull.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop* 2009; 136: 17 e1-e9.
59. Ludlow JB, Maritzabel G, Cevidanes L, Mol A. *Precision of cephalometric landmark identification: Cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop* 2009; 136:312.e1-312e10).
60. Moshiri M, Scarfe WC, Hilgers ML, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG. *Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from conebeam computed tomography.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop* 2007; 132:550-560.
61. Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, Farman AG. *Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop* 2005; 128: 803-811.
62. Lascala CA, Panella J, Marques MM. *Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom).* *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:291-294.
63. Lamichane M, Anderson NK, Rigali PH, seldin EB, Wil LA. *Accuracy of reconstructed images from cone-beam computed tomography scans.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop.* 2009; 136: 156-7.
64. Farman AG, Scarfe WC. *Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop* 2006; 130(2):257-65.
65. De Oliveira AEF, Cevidanes LH, Phillips C, Mota A, Burke B, Tyndall D. *Observer reliability of tree-dimensional cephalometric landmark identification on Cone-Beam CT.* *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009; 107(2):256-65.
66. Schendel SA, Lane C. *3D Orthognathic Surgery simulation using image fusion.* *Semin Orthod.* 2009; 15(1): 48-56.
67. Efstratiadis SS, Cohen G, Ghafari J. *Evaluation of differential growth and orthodontic treatment outcome by regional cephalometric superimpositions.* *Angle Orthod.* 1999; 69: 225-30.
68. Ghafari J, Engel FE, Laster LL. *Cephalometric superimposition on the cranial base: a review and a comparison of four methods.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop.* 1987;91:403-13.
69. Ghafari J, Baumrind S, Efstratiadis SS. *Misinterpreting growth and treatment outcome from serial cephalographs.* *Clin Orthod Res.* 1998;1:102-6.
70. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL, Proffit WR, Turvey T. *Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients.* *Dentomaxillofac Radiol.* 2005; 34:369-75.
71. Cevidanes LH, Styner MA, Proffit WR. *Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop.* 2006;129:611-8.
72. Cevidanes LH, Franco AA, Gerig G, Proffit WR, Slice DE, Enlow DH, Yamashita HK, Kim YJ, Scavanaugh MA, Vigorito JW. *Assessment of mandibular growth and response to orthopedic treatment with 3-dimensional magnetic resonance images.* *Am J. Orthod J Dentofacial Orthop.* 2005;128:16-26.
73. Cevidanes LH, Heymann G, Cornelis MA, DeClerck HJ, Tulloch JFC. *Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients.* *Am J. Orthod J Den-*

- tofacial Orthop. 2009;136: 94-9.
74. Chen J, Shuning L, Fang S. *Quantification of tooth displacement from cone-beam computed tomography images*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2009;136:393-400.
 75. Trpkova B, Prasad NG, Lam EW, Raboud D, Glover KE, Major PW. *Assessment of facial asymmetries from posteroanterior cephalograms: validity of reference lines*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2003; 123 (5):512-20.
 76. Deguchi TS, Katashiba S, Inami, Foong KW, Huak CY. *Morphologic quantification of the maxilla and the mandible with cone-beam computed tomography*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2010; 137(2):218-22.
 77. Kau CH, English JD, Muller-Delgado MG, Hanid H, Ellis RK, Winklemann S. *Retrospective cone-beam computed tomography evaluation of temporary anchorage devices*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2010; 137(2):166.e1-5; discussion 166-7.
 78. Christie KF, Boucher N, Chung CH. *Effects of bonded rapid palatal expansion on the transverse dimensions of the maxilla: a cone-beam computed tomography study*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2010; 137(2 Supple):S79-85.
 79. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. *Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2007; 131(5):666-9.
 80. Gahleitner A, Podesser B, Schick S, Watek G, Imhof H. *Dental CT and orthodontic implants: imaging technique and assessment of available bone volume in the hard palate*. Eur J Radiol. 2004; 51:257-62.
 81. Baumgaertel S, Hans MG. *Buccal cortical bone thickness for mini-implant placement*. 2009; 126:230-5.
 82. Park HS, HwangBo ES, Kwon TG. *Proper mesiodistal angles for microimplant placement assessed with 3-dimensional computed tomography images*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop 2010; 137(2):200-6.
 83. Kindelan JD, Nashed RR, Bromige MR. *Radiographic assessment of secondary autogenous alveolar bone grafting in cleft lip and palate patients*. Cleft Palate Craniofac J. 1997; 34:195-198.
 84. Rosenstein SW, Long RE Jr, Dado DV, Vinson B, Alder ME. *Comparison of 2D calculations from periapical and occlusal radiographs versus 3D calculations from CAT scans in determining bone support for cleft adjacent teeth following early alveolar bone grafts*. Cleft Palate Craniofac J. 1997; 34:199-205.
 85. Lee C, Crepeau RJ, Williams HB, Schwartz S. *Alveolar cleft bone grafts: results and imprecisions of the dental radiograph*. Plast Reconstr Surg. 1995; 96:1534-1538.
 86. Tai CE, Sutherland IS, McFadden L. *Prospective analysis of secondary alveolar bone grafting using computed tomography*. J Oral Maxillofac Surg. 2000; 58:1241-1249.
 87. Van der Meij AJW, Baart JA, Prahl-Andersen B, Valk J, Kostense PJ, Tuinzing DB. *Bone volume after secondary bone grafting in unilateral and bilateral clefts determined by computed tomography scans*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2001;92:136-141.
 88. Hamada Y, Kondoh T, Noguchi K, Iino M, Isono H, Ishii H, Mishima A, Kobayashi K, Seto K. *Application of limited cone beam computed tomography to clinical assessment of alveolar bone grafting: a preliminary report*. Cleft Palate Craniofac J. 2005; 42(2):128-37.
 89. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. *The role of digital volume tomography in the imaging of impacted teeth*. World J Orthod. 2004;5(2):120-32.
 90. Ericson S, Kuroi PJ. *Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines: a CT study*. Angle Orthod; 2000; 70(6):415-23.
 91. Mah J, Enciso R, Jorgensen M. *Management of impacted cuspids using 3-D volumetric imaging*. J.Calif Dent Assos.2003;31(11):835-41.
 92. Liu DG, Zhang WL. *Localization of impacted maxillary canines and observation of adjacent incisor resorption with cone beam computed tomography*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008; 105(1):91-8.
 93. Walker L, Enciso R, Mah J. *Three-dimensional localization of maxillary canines with cone beam computed tomography*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2005; 128(4):418-23.
 94. Nakajima A, Sameshima GT, Arai Y, Homme Y, Shimizu N, Dougherty H Sr. *Two- and three-dimensional orthodontic imaging using limited cone beam-computed tomography*. Angle Orthod.2005; 75(6):895-903.
 95. Tammimi D, ElSaid K. *Cone beam computed tomography in the assessment of dental impactions*. Semin Orthod. 2009; 15(1):57-62.
 96. Flygare L, Ohman A. *Preoperative imaging procedures for lower wisdom teeth removal*. Clin Oral Investig. 2008; 12(4): 291-302.
 97. Liu D, Zhang W, Zhang Z, Wu Y, Ma X. *Three-dimensional evaluations of supernumerary teeth using cone-beam tomography for 487 cases*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2007; 103:403-11.
 98. Leuzinger M, Dudic A, Giannopoulou, Kiliariadis S. *Root-contact evaluation by panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2010; 137(3):389-92.
 99. Aboudara CA, Hatcher D, Nielsen IL, Miller A. *A three-dimensional evaluation of the upper airway in adolescents*. Orthod Craniofac Res. 2003; 6(Suppl 1): 173-5.
 100. Montgomery WM, Vig PS, Staab EV, Matteson SR. *Computed tomography: a three-dimensional study of the nasal airway*. Am J Orthod. 1979;76(4):363-75.
 101. Doruk C, Sökücü O, Biçakçı AA, Yılmaz U, Ta_ F. *Comparison of nasal volumen changes during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry and computed tomography*. Eur J Orthod. 2007; 29(3):251-5.
 102. Haralambidis A, Ari-Demirkaya A, Acar A, Küçükkele_ N, Ate_ M, Ozkaya S. *Morphologic changes of the nasal cavity induced by rapid maxillary expansion: a study on 3-dimensional computed tomography models*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2009; 136(6):815-21.
 103. McCrillis JM, Haskell J, Haskell BS, Brammer M, Chenin D, Scarfe WC, Farman AG. *Observative sleep apnea and the use of cone beam tomography in airway imaging: a review*. Semin Orthod.2009; 15(1):63-69.
 104. Tso HH, Lee JS, Huang JC, Maki K, Hatcher D, Miller AJ. *Evaluation of the human airway using cone-beam computed tomography*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2009;108(5):768-76.
 105. Ogawa T, Enciso R, Shintaku W, Clark GT. *Evaluation of cross-section airway configuration of obstructive sleep apnea*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2007; 103(1):102-8.
 106. Chen F, Terada K, Hua Y, Saito I. *Effects of bi-maxillary surgery and mandibular setback surgery on pharyngeal airway measurements in patients with ClassIII skeletal deformities*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop.2007; 131:372-377.
 107. Grauer D, Cevidanes LSH, Styner MA, Ackerman JL, Proffit WR. *Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: Relationship to facial morphology*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2009; 136 (6):805-14.
 108. Iwasaki T, Hayasaki H, Takemoto Y, Kanomi R, Yamasaki Y. *Oropharyngeal airway in children with Class III malocclusion evaluated by cone-beam computed tomography*. Am J. Orthod J Dentofacial Orthop. 2009; 136(3):318.e1-9; discussion 318-9.
 109. Katzberz RW. *Temporomandibular joint imaging*. Radiology 1989;170(2):297-307.
 110. Kahl B, Fischbach R, Gerlach KL. *Temporomandibular joint morphology in children after treatment of condylar fractures with functional appliance therapy: a follow-up study us computed tomography*. Dentomaxillofac Radiol.1995;24(1):37-45.
 111. Tsikalakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC. *Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography*. Dentomaxillofac Radiol. 2004;33:83-6.
 112. Tasaki MM, Westesson PL, Kurita K, Mohl N. *Magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint. Value of axial images*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol.1993;75(4):528-31.
 113. Tasaki MM, Westesson PL. *Temporomandibular joint: diagnostic accuracy with sagittal and coronal MR imaging*. Radiology. 1993; 186(3):723-9.
 114. Cholitgul W, Nishiyama H, Sasai T, Uchiyama Y, Fuchihata H, Rohlin M. *Clinical and magnetic resonance imaging findings in temporomandibular joint disc displacement*. Dentomaxillofac Radiol. 1997; 26(3):183-8.
 115. Monsour PA, Dudhia R. *Implant radiography and radiology*. Aust Dent J. 2008; 53(1)s11-25.
 116. Guerrero ME, Jacobs R, Loubele M, Schutyser F, Suetens P, Van Steenberghe D. *State of the art on cone beam CT imaging for preoperative planning of implant placement*. Clin Oral Invest. 2006;10: 1-7.
 117. Van Assche N, Van Steenberghe D, Guerrero ME, Hirsch E, Schutyser F, Quirynen M, Jacobs R. *Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: a pilot study*. J. Clin Periodontol. 2007; 34 (9):816-21.
 118. Momina MA, Okochia K, WatanabeH, Imaizumia A, Omurab K, AmagasaCT, Okadad N, Ohbayashia N, Kurabayashia T. *Diagnostic accuracy of cone-beam CT in the asesment of mandibular invasion of lower gingival carcinoma: Comparison with conventional panoramic radiography*. Eur J Radiology. 2009; 72(1):75-81.
 119. Hendrikx AWF, Maal T, Dieleman F, Van Cann EM, Merx MAW. *Cone-beam CT in the assessment of mandibular invasion by oral squamous cell carcinoma: results of the preliminary study*. Int J Oral Maxillofac Surg 2010 Mar 6 (Epub ahead of print).
 120. Howerton WB Jr, Mora MA. *Advancements in Digital Imaging. What is new and on the horizon?* J Am Dent Assoc. 2008; 139(3):20s-24s.
 121. De Vos W, Casselman J, Swennen GR. *Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature*. Int J Oral Maxillofac Surg. 2009;38(6):609-25.