



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Evaluación de La Densidad Ósea: Técnicas Densitométricas

Merchán Morales, S., Ortega Aranegui, R., Barona Dorado, C., Rubio Alonso, L., Martínez González, J. M^a.
Evaluación de la densidad ósea: técnicas densitométricas. *Cient. Dent.* 2015; 12; 3: 179-186



Merchán Morales, Santiago
Médico estomatólogo. Doctor en Odontología. Asistente al Servicio de Cirugía. Hospital Virgen de la Paloma. Madrid.

Ortega Aranegui, Ricardo
Profesor de Radiología, Facultad de Odontología. UCM.

Barona Dorado, Cristina
Subdirectora del Máster de Cirugía Bucal e Implantología. Hospital Virgen de la Paloma. Madrid.

Rubio Alonso, Luis
Profesor del Máster de Cirugía Bucal e Implantología. Hospital Virgen de la Paloma. Madrid.

Martínez González, José M^a
Profesor del Máster de Cirugía Bucal e Implantología. Hospital Virgen de la Paloma. Madrid.

Indexada en / Indexed in:

- IME
- IBECS
- LATINDEX
- GOOGLE ACADÉMICO

Correspondencia:

José M^a Martínez González
Facultad de Odontología. UCM
Plaza Ramón y Cajal s/n
28040 Madrid
jmargo@odon.ucm.es
hospimar@hotmail.com
Tel.: 913 941 967

Fecha de recepción: 19 de mayo de 2015.
Fecha de aceptación para su publicación:
11 de junio de 2015.

RESUMEN

La densidad ósea es uno de los factores de osteointegración y éxito implantológico más importante y por ello su evaluación es de máxima relevancia. Para ello se han utilizado técnicas densitométricas como la Radiología (convencional y digital), la Absorciometría Radiológica de Doble Energía (DXA) y la Tomografía Computerizada (TC). En esta última se incluyen la TC médica y la TC dental o CB-CT (Cone Beam Computerized Tomography). Al aplicar a la TC programas informáticos de valoración densitométrica obtenemos la TC cuantitativa o QCT (por Quantitative Computerized Tomography) y la CB-CT cuantitativa o QCB-CT, que nos proporcionan una densidad expresada en Unidades Hounsfield (UH) y en algunos casos en mg Ha/cm³. El estudio de otras posibles técnicas como la Resonancia magnética (MRI) y la Ultrasonografía Cuantitativa (QUS) está en fase experimental.

El objetivo del presente artículo ha sido realizar una revisión bibliográfica narrativa sobre las principales técnicas densitométricas utilizadas en Cirugía Bucal e Implantología. De todas ellas la más exacta es la TC cuantitativa o QCT. Con la DXA obtenemos una densidad expresada en mg Ha/cm², más precisa que la radiológica, pero plantea problemas técnicos y es de difícil aplicación en los pequeños espacios maxilofaciales. La Radiología, a pesar de ser una técnica subjetiva, empírica y poco sensible, sigue siendo útil en la práctica clínica cotidiana.

PALABRAS CLAVE

Densidad ósea; Densitometría; Técnicas densitométricas

Bone density evaluation: densitometric techniques

ABSTRACT

Bone density is one of the most important factors of osseointegration and implants success and therefore its evaluation is highly relevant. For this purpose densitometric techniques have been used as Radiology (conventional and digital), Double X-Ray Absorptiometry (DXA) and Computed Tomography (CT). Within this latter, medical CT and dental CT or CB-CT (Cone Beam Computerized Tomography) are included. Applying to CT densitometric evaluation softwares we obtain the quantitative CT (QCT) and quantitative CB-CT (QCB-CT), which provides a density expressed in Hounsfield units (HU) and in some cases Ha mg/cm³. The study of alternative techniques such as Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Quantitative Ultrasound (QUS) remains, for now, experimental.

The aim of this article has been to make a narrative bibliographic review about the main densitometric techniques used in Oral Surgery and Implantology. From all of them, the most exact is the quantitative CT or QCT. With the DXA we obtain a density expressed in mg Ha/cm², more accurate than radiologic one, but poses technical problems and is difficult to apply in the small maxillofacial spaces. Radiology, despite being a subjective and empirical technique, remains useful in the daily clinical practice

KEYWORDS

Bone density; Densitometry; Densitometric techniques.

INTRODUCCIÓN

Para valorar la densidad ósea tradicionalmente se han utilizado las clasificaciones de Lekholm-Zarb y Misch, técnicas empíricas, y subjetivas basadas en la apreciación personal y experiencia del cirujano. Por ello necesitamos técnicas más objetivas y precisas. La radiología proporciona una densidad fotográfica, siendo una técnica empírica y muy subjetiva. Con la radiología digital podemos utilizar una escala de grises, y así obtener una densitometría más exacta y objetiva. En ambos casos se trata de una densidad física o total, en la que está incluido todo el material óseo. Con la DXA obtenemos una densidad mineral (DMO o BMD), en la que se incluye sólo la matriz inorgánica y se expresa en mg Ha/cm². Con la TC (Tomografía Computerizada) conseguimos imágenes en 3D sin superposición de estructuras y una densidad expresada en Unidades Hounsfield (UH). La Ultrasonografía Cuantitativa (QUS) y la Resonancia Magnética (MRI) podrían tener utilidad como técnicas densitométricas aunque su uso está limitado, de momento, a la investigación clínica.

RADIOLOGÍA CONVENCIONAL Y DIGITAL

La radiografía representa objetos de 3D con imágenes en 2D con una superposición de estructuras y magnificación impredecible tanto en técnicas intrabucales como extrabucales. La radiografía convencional es poco sensible para valorar la densidad ósea, proporcionándonos una estimación grosera y subjetiva de la misma. Sólo detecta grandes disminuciones de la masa ósea (superiores a un 30%): se debe perder un 30-50 % de dicha masa para detectar cambios en el hueso alveolar. Clásicamente se describen las diferentes densidades radiológicas: aire, grasa, agua, hueso y metal. Esta densidad sería fotográfica: valoraríamos de forma empírica la intensidad del color negro, negrura u oscuridad total de la radiografía. El contraste sería la diferencia de densidades en áreas distintas. En esta densidad, además de la masa ósea, influirían otros factores como el tiempo de exposición, el miliamperaje, el kilovoltaje, la distancia tubo-película, el tamaño del punto focal, la colimación, la filtración, el tipo de película, las pantallas intensificadoras y la técnica de revelado y fijado.

A partir de radiografías panorámicas y utilizando índices radiomorfométricos (basados en la medición manual) se pueden determinar la densidad y masa ósea mandibular, que se correlacionan con la masa ósea corporal¹. La mandíbula es uno de los lugares del cuerpo más susceptibles a la disminución de la densidad ósea y por ello se puede medir el grosor de su cortical (en el ángulo u otras regiones) para determinar la masa ósea mandibular y esquelética. Los más conocidos son el índice panorámico mandibular y el índice cortical mandibular de Taguchi, siendo éste el más reciente y válido para la determinación de la DMO en la mandíbula. En las densitometrías sobre radiografías panorámicas analógicas se pueden emplear mecanismos manuales (reglas milimétricas, lupas, calibradores, etc.) o digitalizar dichas radiografías.

Verheij y cols.², y Geraets y cols.³, han utilizado radiografías panorámicas y periapicales del hueso maxilar y mandibular en el diagnóstico de la osteoporosis dada la correlación del modelo o patrón trabecular óseo bucal con la DMO sistémica (fémur y espina lumbar). Pham y cols.⁴, también han utilizado radiografías periapicales y panorámicas para valorar el patrón trabecular mandibular utilizando un índice visual. Jonasson y cols.⁵, utilizaron radiografías periapicales analógicas y digitalizadas para valorar la densidad del hueso alveolar mandibular evaluando visualmente su patrón o modelo trabecular según la escala de grises. En 2011 López López y cols.⁶, han realizado una revisión sistemática de todos los artículos que tratan sobre la asociación entre osteoporosis y hallazgos radiográficos en ortopantomografías (índices mandibulares radiomorfométricos) y radiografías periapicales (fotodensitometría y patrón trabecular).

La sustitución de la película radiográfica por un captador o sensor electrónico, junto al desarrollo de la informática, hace posible la Radiología Digital. La imagen de una estructura obtenida con una fotografía o un aparato de rayos X sin tratamiento informático se llama imagen analógica, representación análoga de esa estructura. Digitalizar una imagen analógica sería convertirla en números, dígitos, bits (binary digits) representados en una matriz de puntos o píxeles ("pictures elements", unidades mínimas de superficie) constituidos en filas y columnas.

Entre las funciones que nos permiten realizar los programas de radiología digital está la medición de la densidad ósea, basada en una escala de grises. Los resultados se pueden presentar de tres formas: como información estadística numérica, como un histograma que muestra la distribución de la densidad y como un perfil de la misma (Digora®, Dent-a-View®, Trophy-Window®)¹.

En la Radiología Digital hay que mencionar los sistemas DRS (Sustracción Digital a la radiografía dental) y CADIA (Análisis Densitométrico de Imagen por ordenador), que valoran los cambios de densidad ósea en hueso alveolar, periodontal y periimplantario utilizando radiografías periapicales. En el sistema DRS se evalúan los cambios de densidad ósea al comparar y superponer dos radiografías periapicales estandarizadas y digitalizadas; de este modo se eliminan las estructuras que coinciden (sustracción) y se resaltan aquellas que no. Se calcula el número de píxeles con un determinado nivel de gris y el porcentaje de píxeles que muestran un cambio en los niveles de grises (cambio de densidad). El sistema CADIA mide y cuantifica los cambios de densidad ósea detectados por el sistema DRS al comparar esa diferencia de densidad en una escala de grises.

Los sistemas DRS y CADIA podrían tener aplicación en implantología al poder detectar cambios de densidad en hueso periimplantario y predecir la estabilidad del implante⁷.

ABSORCIOMETRÍA RADIOLÓGICA DE DOBLE ENERGÍA (DXA)

La DXA pertenece al grupo de las técnicas densitométricas por absorciometría, que pueden ser fotónicas o radiológicas y dobles o simples. La primera técnica desarrollada fue la Absorciometría monofotónica, monoenergética o fotónica simple (SPA o Single-Photon Absorptiometry), que emplea el isótopo Yodo 125 como fuente emisora de fotones. La Absorciometría simple de rayos X (SXA o Single X-Ray Absorptiometry) utiliza una fuente de rayos X. La Absorciometría fotónica dual o doble (DPA o Double Photon Absorptiometry) permite la medición precisa de la densidad en columna y cadera (como la DXA).

La DXA es desde los años 80 la técnica densitométrica más usada a nivel general y la realmente utilizada (Figura 1). Permite cuantificar la densidad ósea en cualquier región del esqueleto, siendo la columna lumbar y el tercio proximal de fémur las zonas habitualmente exploradas. Se utiliza fundamentalmente en el ámbito hospitalario para el diagnóstico y control de la osteoporosis y otras osteopatías, así como el análisis de la evolución de la masa ósea. Las áreas de interés normalmente exploradas son la zona lumbar (vértebras L1-L4) y el tercio proximal del fémur (trocánter mayor, área intertrocantérea, cuello femoral y triángulo de Ward). Otra de las regiones estándar es el antebrazo (densitometría periférica), cuya exploración se efectuará cuando la cadera y columna no puedan ser medidas con exactitud.



Figura 1. Densitómetro de DXA.

Los resultados en las mediciones con DXA se pueden ofrecer en forma de valores absolutos (contenido mineral óseo o CMO y densidad mineral ósea o DMO) y relativos (T-score y Z-score). El Contenido Mineral Óseo (CMO) o Masa Ósea se indica en gramos de hidroxapatita (g Ha). La Densidad Mineral Ósea (DMO o BMD) se obtiene de la relación entre el CMO y el área de interés (ROI) y se expresa en gramos de hidroxapatita por superficie (g Ha/cm²). No es una verdadera densidad volumétrica sino de área o superficie.

En los últimos años se ha intentado aplicar esta técnica al área bucal. Se han realizado estudios experimentales con modelos animales como ratas, perros, cobayas y cabras⁸. Choël y cols.⁹, indicaron el potencial uso de la DXA en el diagnóstico preimplantológico. Lindhl y cols.¹⁰, emplearon la DXA y la TC para comparar la DMO oral y sistémica indicando la posible utilidad de la DXA en la evaluación preimplantológica. Con esta técnica Devlin y Horner¹¹, demostraron la correlación entre la edad y la DMO, así como la no correlación entre edentulismo y DMO en mandíbula. Drage y cols.¹², utilizaron la DXA para comparar la DMO sistémica y oral en pacientes desdentados. En el año 2010 López Quiles y cols.¹³, realizaron un mapa de densidades en maxilares de 40 pacientes desdentados.

Una limitación importante de la DXA es su falta de capacidad para distinguir la densidad de hueso trabecular y cortical debido a que la DXA proyecta las tres dimensiones del hueso en modo de dos. Además, los densitómetros tradicionales no son de aplicación fácil en el área máxilo-facial debido a su peculiar anatomía y menor tamaño que las zonas de estudio habituales (área lumbar y cadera). Por otra parte están fabricados para estudiar regiones óseas que no precisan tanto detalle como los maxilares y por ello es necesario un ajuste a estos espacios más pequeños¹³. La configuración del densitómetro hace difícil colocar el cráneo sobre la mesa bajo el detector debido a la superposición y solapamiento de regiones que se producen casi inevitablemente (una hemimandíbula sobre la otra, la región maxilar derecha sobre la izquierda, etc.), con lo que los valores de DMO no serían precisos. Algunos autores posicionan la mandíbula de forma tal que el haz de R-X sea perpendicular al plano sagital y así irradie una mitad de la mandíbula y después la otra. Otros adaptan el densitómetro a la región máxilo-facial para evitar estos problemas de superposiciones óseas y dentarias inclinando la cabeza 15° lateralmente respecto a la vertical que une la fuente con el captador de rayos; de este modo el haz de rayos penetra entre la mastoides y la rama ascendente de la mandíbula, a la altura del ángulo goníaco¹³.

TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA (TC)

La Tomografía convencional apenas se utiliza hoy y ha sido desplazada por la Tomografía Computerizada (TC), también denominada Escáner. Hay tres tipos de TC: la TC médica, la TC dental o CB-CT (Cone Beam Computerized Tomography) y la microTC. Así como en la radiografía digital obtenemos una imagen plana constituida por píxeles, en la TC obtenemos una imagen tridimensional: el área explorada se convierte en un volumen constituido por una matriz de vóxeles, (volume elements, unidades mínimas de volumen). A diferencia de la radiografía convencional, que ofrece imágenes en 2D con superposición de estructuras y magnificación impredecible, con esta técnica evitamos dicha superposición y logramos una imagen en 3D, exacta, sin distorsiones geométricas.

La TC médica fue ideada por Sir Godfrey Newbold Hounsfield en 1967 y ha sufrido una evolución gradual (hasta 6 generaciones distintas) desde las primeras TC convencionales, pasando por las TC helicoidales o espirales hasta las actuales

TC multicorte (MS-CT por Multislice CT) (Figura 2) y TC multitubo. En las primeras TC convencionales el paciente estaba en la misma posición mientras el tubo emisor y los sensores giran a su alrededor. Una vez obtenida una sección se desplaza al paciente para conseguir el siguiente corte y así sucesivamente. Posteriormente aparecieron las TC helicoidales o espirales en las que el movimiento rotatorio del tubo emisor y sensores es simultáneo al desplazamiento lineal del paciente sobre la mesa, obteniéndose una serie de hélices o espiras. Los equipos multicorte (MS-CT) trabajan con hasta 128 haces de radiación, lo que permite una visualización muy precisa, incluso de órganos en movimiento, siendo la TC multitubo la más avanzada¹⁴.

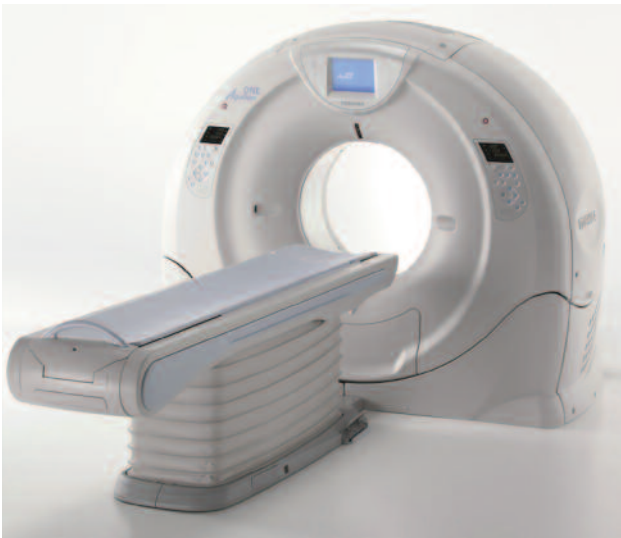


Figura 2. Aparato de CT multicorte.

Para disminuir la alta dosis de radiación de la TC se desarrolló la TC dental o CB-CT en 1996. Estudios posteriores confirmaron su utilidad en el diagnóstico implantológico¹⁴⁻¹⁶. Los aparatos de CBCT (Figura 3) utilizan un haz cónico de rayos-X colimados que atraviesa un volumen relativamente grande del objeto a estudiar. En el curso de un solo barrido del escáner el sensor-detector y la fuente de radiación rotan sincronizadamente alrededor de la cabeza del paciente entre 180° y 360° con lo que el tiempo de estudio y la dosis de radiación son menores. Ello hace que sea un sistema más sencillo y menos costoso que la TC médica. Como desventajas, la CB-CT presenta mayor radiación dispersa, un menor rango de área de estudio, una calidad de la imagen inferior y una valoración menos exacta o arbitraria de los niveles de grises (UH). No obstante algunos autores afirman que la CB-CT ofrece mejor calidad de imagen en la visualización de la lámina dura, ligamento periodontal y pequeñas estructuras óseas mientras que la TC espiral y MS-CT serían mejores para visualizar cortical¹⁷. Esto puede ser debido a que en la TC los vóxeles son anisotrópicos (no idénticos en todos los planos), y en la CB-CT son isotrópicos (iguales en longitud, altura y profundidad).

Otra variante de la TC, la microTC, ha sido recientemente aplicada en implantología dental, pudiendo ser útil para valorar la interfase hueso-implante y la densidad del hueso periimplan-



Figura 3. Aparato de CB-CT.

tario. Requiere la toma de una biopsia ósea por lo que no podría ser usada como técnica rutinaria en la práctica clínica. Los estudios han demostrado una correlación significativa entre los resultados de la micro CT y la TC médica¹⁸.

Escala Hounsfield

Con la TC podemos cuantificar la densidad ósea mediante una escala de grises o escala Hounsfield: es la TC cuantitativa (QCT), que se logra aplicando a la TC médica programas informáticos de valoración densitométrica (Dental CT®, Dentscan®, Tooth Pix®, 3D Dental®, Friacom CT modul®, BTI-scan®, Implametric®, Denta PC®, Simplant®, Impax®, eFilm®, V-Works®, Physioplanet TM®, etc.). Estos valores en UH se obtienen según los grados de atenuación de los R-X al atravesar hueso. El procesamiento mediante ordenador permite diferenciar muchos grados o valores de atenuación. En los primeros aparatos había 2.000 valores, con un intervalo desde el -1.000 hasta el +1.000. En los aparatos de última generación hay 4100 grados, con un intervalo desde el -1.024 hasta el +3.076. Estas UH pueden posteriormente ser expresadas o traducidas a gramos de hidroxapatita por superficie (g Ha/cm^2) o por volumen (g Ha/cm^3) mediante fórmulas y coeficientes de conversión¹⁹. La exactitud de la densitometría con QCT ha sido comprobada al ser contrastada con la densidad histológica o histomorfométrica de la biopsia ósea²⁰.

Los aparatos de CB-CT dan niveles de grises inexactos y de forma arbitraria, no son verdaderas UH, por lo que no permiten una valoración exacta de la densidad ósea²¹. Además, los valores densitométricos (UH) son superiores a los de la QCT ha-

biendo una diferencia sistemática entre ambas técnicas, aunque con una alta correlación¹⁴⁻¹⁵. Por ello sería necesario utilizar coeficientes de atenuación para convertir los niveles de gris en verdaderas UH. Hay una relación lineal y directa entre los niveles de gris y dichos coeficientes de atenuación de los materiales, obtenidos a partir de ecuaciones de regresión lineal para cada material²¹. Estos resultados se ven confirmados por los estudios más recientes sobre CB-CT^{22,23}.

Mapa de densidades

Desde hace algunos años se ha intentado realizar un mapa de densidades de maxilar y mandíbula con CT. Ya en 1987 se introdujo el empleo de esta técnica para evaluar la densidad ósea en implantología bucal y posteriormente numerosos autores la han utilizado como parte del diagnóstico preimplantológico para medir la densidad del hueso receptor y así prever sus propiedades biomecánicas y estabilidad primaria^{15,18,24-28}.

En 2015 Kwon y cols.²⁹, han propuesto un mapa de densidades en maxilar y mandíbula con CBCT para ayudar en el tratamiento implantológico. Aranyarachkul y cols.¹⁵, utilizaron la QCT, la QCB-CT y la clasificación de Lekholm-Zarb en mediciones densitométricas sobre cadáveres humanos observando que para cada una de las 4 clases hay un amplio rango de valores en UH. De Oliveira y cols.²⁴, correlacionaron los valores densitométricos objetivos (QCT) y subjetivos (Lekholm-Zarb) en 51 pacientes. Park y cols.²⁶, realizaron un exhaustivo mapa de densidades en maxilar y mandíbula de 63 pacientes con QCT. Ikumi y Tsutsumi²⁸, midieron la densidad ósea con QCT y el torque de inserción de los implantes encontrando una significativa relación entre ellos, lo que indica que los valores de densidad prequirúrgica pueden predecir la estabilidad inicial primaria. Shapurian y cols.³⁰, compararon la valoración densitométrica con QCT y la valoración subjetiva (Lekholm-Zarb) encontrando significativa sólo la relación en el tipo IV. Lee y cols.³¹, compararon las densidades óseas obtenidas con QCT, QCB-CT, la clasificación de Misch y la de Lekholm-Zarb en mandíbulas de cadáveres humanos. Turkylmaz y cols.^{25,27,32}, midieron la densidad ósea bucal con la QCT hallando una fuerte relación de la misma con el área anatómica de la boca, el sexo y la edad. Farré y cols.³³, encontraron correlación entre los valores de densidad objetivos (QCT) y los obtenidos según la clasificación de Leckholm-Zarb.

Recientemente López Quiles y cols.³⁴, han aplicado a la TC médica el programa informático 3D Spine QCT-PRO®. Este software, habitualmente utilizado en área lumbar y cadera, traduce las UH a mg Ha/cm³. Al ser una densidad mineral y volumétrica es más exacta, precisa y objetiva que las demás densidades, siendo no empírica y no dependiente de la experiencia del clínico. Los autores demostraron la viabilidad de este programa informático en territorio maxilofacial.

ULTRASONOGRAFÍA CUANTITATIVA (QUS)

Los ultrasonidos (US) son ondas con una frecuencia elevada, más alta que la del sonido audible por el hombre. Es un sistema

no invasivo, inocuo, que no irradia (a diferencia de otras técnicas que utilizan R-X. En los últimos años se ha desarrollado su uso en densitometría ósea, para la estimación de la DMO en el estudio de la osteoporosis, denominándose Ultrasonografía cuantitativa (QUS por Quantitative UltraSound). Las mediciones se hacen en tibia, falange y calcáneo, siendo éste último el hueso normalmente explorado. Los aparatos varían su forma en función del hueso a explorar (Figura 4). Su uso está limitado, de momento, a la investigación clínica, pero recientes estudios han demostrado el gran potencial de la QUS en la planificación preimplantológica^{35,36}. Los parámetros utilizados son la velocidad de transmisión del ultrasonido (UTV por ultrasound transmission velocity o SOS por speed of sound) expresada en m/seg y la atenuación ultrasónica de banda ancha (broadband ultrasound attenuation o BUA) expresada en dB/mHz).

Hace años se hablaba de los inconvenientes de esta técnica, como la baja precisión, la ausencia de criterios claros en las mediciones y la escasa correlación con la DXA y con la TC, pero los avances tecnológicos han disminuido estos problemas³². Stoppie y cols.³⁷, observaron una buena correlación entre la QUS, la TC, la microTC y la DXA en su estudio sobre mandíbulas de cadáveres humanos.



Figura 4. Densitómetro de ultrasonidos.

RESONANCIA MAGNÉTICA: MRI

La MRI (Magnetic Resonance Imaging) es una técnica no invasiva y libre de radiaciones ionizantes nocivas, lo cual supone una ventaja sobre la TC. Se basa en el empleo de ondas electromagnéticas de energía muy baja, en el campo de las frecuencias de radio, que originan la resonancia de los núcleos de los átomos de hidrógeno presentes en el agua y las grasas del cuerpo humano. Estos núcleos de hidrógeno, al hacerse resonantes, emiten señales que son detectadas y reconstruidas por un ordenador para producir imágenes tomográficas, por lo que los aparatos son complejos (Figura 5).

Aguiar y cols.³⁸, sugieren su posible uso como técnica de control y seguimiento de la osteoporosis. No es usada en implantología



Figura 5. Aparato de Resonancia Magnética.

oral debido a que el hueso no tiene señal de resonancia, creando confusión con estructuras como el aire o el tejido cicatricial, que tampoco tienen señal. No obstante algunos autores han preconizado su uso en el diagnóstico preimplantológico³⁸. Como técnica densitométrica ha sido empleada para evaluar el hueso trabecular mandibular³⁹.

CONCLUSIONES

La técnica más exacta es la TC cuantitativa o QCT, que proporciona una densidad valorada en UH. Se obtiene aplicando a la TC médica programas informáticos de valoración densitométrica. El más exacto a día de hoy es el software 3D Spine QCT-PRO ® que proporciona una densidad expresada en mg Ha/cm³. Con la TC dental o CB-CT obtenemos UH con valores

superiores a los de las UH de la QCT por lo que se necesitan coeficientes de atenuación.

La DXA proporciona una densidad más exacta que la obtenida por Radiología pero plantea problemas técnicos al utilizarse en el área bucal y es de difícil aplicación en los pequeños espacios maxilofaciales.

La Radiología, a pesar de sus limitaciones, sigue siendo de gran utilidad en la práctica clínica cotidiana por su comodidad y disponibilidad en las consultas dentales, a diferencia de otras técnicas que requieren aparatología más compleja en centros especializados.

El estudio de otras posibles técnicas como la Resonancia magnética (MRI) y la Ultrasonografía Cuantitativa (QUS) está en fase experimental.



BIBLIOGRAFÍA

1. Mesa Aguado F, Muñoz Martínez R, Noguero Rodríguez B, García Martínez O, Souki N, García Martínez M. Valoración mediante análisis digital de imagen de la masa y densidad ósea en ortopantomografías de pacientes periodontales. *Periodoncia y Osteointegración* 2006; 16 (2): 75-82.
2. Verheij JG, Geraets WG, van der Stelt PF, Horner K, Lindh C, Nicopoulou-Karayianni K, Jacobs R, Marjanovic EJ, Adams JE, Devlin H. Prediction of osteoporosis with dental radiographs and age. *Dentomaxillofac Radiol* 2009; 38: 431-7.
3. Geraets WG, Verheij JG, van der Stelt PF, Horner K, Lindh C, Nicopoulou-Karayianni K, Jacobs R, Marjanovic EJ, Adams JE, Devlin H. Selecting regions of interest on intraoral radiographs for the prediction of bone mineral density. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37 (7): 375-9.
4. Pham D, Jonasson G, Kiliaridis S. Assessment of trabecular pattern on periapical and panoramic radiographs: a pilot study. *Acta Odontol Scand* 2010; 68 (2): 91-7.
5. Jonasson G, Jonasson L, Kiliaridis S. Skeletal bone mineral density in relation to thickness, bone mass, and structure of the mandibular alveolar process in dentate men and women. *Eur J Oral Sci* 2007; 115 (2): 117-23.
6. López-López J, Estrugo-Devesa A, Jane-Salas E, Ayuso-Montero R, Gómez-Vaquero C. Early diagnosis of osteoporosis by means of orthopantomograms and oral X-rays: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2011; 16 (7): 905-13.
7. Sakakura CE, Giro G, Gonçalves D, Pereira RM, Orrico SR, Marcantonio E Jr. Radiographic assessment of bone density around integrated titanium implants after ovariectomy in rats. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17 (2): 134-8.
8. Sánchez AR, Sheridan PJ, Lohse C, Weaver A. Assessment of peripheral dual energy X-ray absorptiometry measurements in peri-implant bone defects in dogs. *J Periodontol* 2004; 75 (5): 658-62.
9. Choël L, Duboeuf F, Bourgeois D, Briguet A, Lissac M. Trabecular alveolar bone in the human mandible: a dual-energy x-ray absorptiometry study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95 (3): 364-70.
10. Lindh C, Obrant K, Petersson A. Maxillary bone mineral density and its relationship to the bone mineral density of the lumbar spine and hip. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 104 (1): 117-21.
11. Devlin H, Horner K. A study to assess the relative influence of age and edentulousness upon mandibular bone mineral density in female subjects. *Oral Surg Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 98 (1): 102-9.
12. Drage NA, Palmer RM, Blake G, Wilson R, Crane F, Fogelman I. A comparison of bone mineral density in the spine, hip and jaws of edentulous subjects. *Clin Oral Implants Res* 2007; 18 (4): 496-500.
13. López Quiles J., Ortega R., Madrigal C., Meniz C. Valoración densitométrica de los maxilares en pacientes desdentados mediante Absorciometría dual de doble energía de rayos X (DEXA). *Cient Dent* 2010; 7; 1: 53-60.
14. Loubele M, Maes F, Schutyser F, Marchal G, Jacobs R, Suetens P. Assessment of bone segmentation quality of cone-beam CT versus multislice spiral CT: a pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102 (2): 225-34.
15. Aranyarachkul P, Caruso J, Gantes B, Schulz E, Riggs M, Dus I, Yamada JM, Crigger M. Bone density assessments of dental implant sites: 2. Quantitative cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005; 20 (3): 416-24.
16. Hatcher DC, Dial C, Mayorga C. Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *J Calif Dent Assoc* 2003; 31 (11): 825-33.
17. Loubele M, Guerrero ME, Jacobs R, Suetens P, van Steenberghe D. A comparison of jaw dimensional and quality assessments of bone characteristics with cone-beam CT, spiral tomography, and multislice spiral CT. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22 (3): 446-54.
18. Rebaudi A, Trisi P, Cella R, Cecchini G. Preoperative evaluation of bone quality and bone density using a novel CT/microCT-based hard-normal-soft classification system. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010; 25 (1): 75-85.
19. Lagravère MO, Carey J, Ben-Zvi M, Pakota GV, Major PW. Effect of object location on the density measurement and Hounsfield conversion in a NewTom 3G cone beam computed tomography unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37 (6): 305-8.
20. Todisco M, Trisi P. Bone mineral density and bone histomorphometry are statistically related. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005; 20 (6): 898-904.
21. Mah P, Reeves TE, McDavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2010; 39 (6): 323-35.
22. Kim DG. Can dental cone beam computed tomography assess bone mineral density? *J Bone Metab* 2014; 21 (2): 117-26.
23. Campos MJ, de Souza TS, Mota Júnior SL, Fraga MR, Vitral RW. Bone mineral density in cone beam computed tomography: Only a few shades of gray. *World J Radiol* 2014; 6 (8): 607-12.

24. De Oliveira RC, Leles CR, Normanha LM, Lindh C, Ribeiro-Rotta RF. Assessments of trabecular bone density at implant sites on CT images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 105 (2): 231-8.
25. Turkyilmaz I, Tözüm TF, Tumer C. Bone density assessments of oral implant sites using computerized tomography. *J Oral Rehabil* 2007; 34 (4): 267-72.
26. Park HS, Lee YJ, Jeong SH, Kwon TG. Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133 (1): 30-7.
27. Turkyilmaz I, Ozan O, Yilmaz B, Ersoy AE. Determination of bone quality of 372 implant recipient sites using Hounsfield unit from computerized tomography: a clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2008; 10 (4): 238-44.
28. Ikumi N, Tsutsumi S. Assessment of correlation between computerized tomography values of the bone and cutting torque values at implant placement: a clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005; 20 (2): 253-60
29. Kwon K, Kang D, Shin B. Multiple texture mapping of alveolar bone area for implant treatment in prosthetic dentistry. *Comput Biol Med* 2015; 56: 89-96.
30. Shapurian T, Damoulis PD, Reiser GM, Griffin TJ, Rand WM. Quantitative evaluation of bone density using the Hounsfield index. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21 (2): 290-7.
31. Lee S, Gantes B, Riggs M, Crigger M. Bone density assessments of dental implant sites: 3. Bone quality evaluation during osteotomy and implant placement. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22 (2): 208-12.
32. Turkyilmaz I, Tumer C, Ozbek EN, Tözüm TF. Relations between the bone density values from computerized tomography, and implant stability parameters: a clinical study of 230 regular platform implants. *J Clin Periodontol* 2007; 34 (8): 716-22.
33. Farré-Pagés N, Augé-Castro ML, Alaejos-Algarra F, Mareque-Bueno J, Ferrés-Padró E, Hernández-Alfaro F. Relation between bone density and primary implant stability. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2011; 16 (1): 62-7.
34. López Quiles J, Arena S, Ortega S, Santos J, Martínez Gonzalez JM. Densidad mineral ósea de los maxilares. Valoración con tomografía computarizada cuantitativa. *J Am Dent Assoc (Español.)* 2010; 5 (2): 86-90.
35. Klein MO, Grötz KA, Manefeld B, Kann PH, Al-Nawas B. Ultrasound transmission velocity for non invasive evaluation of jaw bone quality in vivo before dental implantation. *Ultrasound Med Biol* 2008; 34 (12): 1966-71.
36. Al-Nawas B, Klein MO, Götz H, Vaterod J, Duschner H, Grötz KA, Kann PH. Dental implantation: ultrasound transmission velocity to evaluate critical bone quality in animal model. *Ultraschall Med* 2008; 29 (3): 302-7.
37. Stoppie N, Pattijn V, Van Cleynenbreugel T, Wevers M, Vander Sloten J, Ignace N. Structural and radiological parameters for the characterization of jawbone. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17 (2): 124-33.
38. Aguiar MF, Marques AP, Carvalho AC, Cavalcanti MG. Accuracy of magnetic resonance imaging compared with computed tomography for implant planning. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19 (4): 362-5.
39. Celenk P, Celenk C. Evaluation by quantitative magnetic resonance imaging of trabecular bone quality in mandible and cervical vertebrae. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21 (4): 409-13.