

TOMOGRAFÍA COMPUTADA Y RESONANCIA NUCLEAR MAGNÉTICA. SU CAPACIDAD PARA MEDIR ESTRUCTURA Y FUNCIÓN TRABECULAR. COMPETENCIA ÓSEA Y MICRO-ARQUITECTURA. BIOPSIA ÓSEA VIRTUAL, LA MEDICIÓN INCRUENTA DEL FUTURO: μ CT Y μ MR

Ricardo R. Capiglioni*
 Universidad Abierta Interamericana (sede regional Rosario)
 Departamento de Investigaciones Músculo-Esqueléticas (DIMESQ)

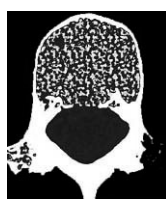
Tomografía computada cuantitativa (QCT)

Técnicas en las que los números de la atenuación de los rayos X de un tejido son adecuadamente referenciados a una norma de calibración; cuantifican la propiedad del tejido. Provee una medida tridimensional de la densidad y el contenido mineral óseo (DMO - CMO) a diferencia de la mayoría de las otras técnicas proyectivas. Las imágenes de sección transversal nos permiten el aislamiento del hueso trabecular (sitio más sensible para detectar cambios minerales óseos) del cortical. Sus unidades son expresadas como masa por unidad de volumen (mg/cm^3). La capacidad de QCT para determinar selectivamente el sitio metabólico activo y analizar separadamente al hueso trabecular le otorga la capacidad de discriminar pacientes con probabilidad de fracturas y de supervisar la respuesta esquelética al envejecimiento, a la enfermedad, o a la terapia.

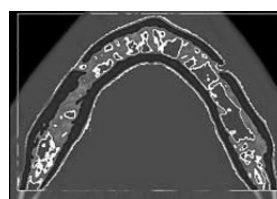
En los estudios de evaluación de cambios a corto plazo, QCT tal vez sea el más sensible, partiendo de la base de que mide el hueso trabecular, que es unas ocho veces más activo metabólicamente que el hueso cortical.

La osteoporosis muestra importantes diferencias regionales, por lo que los cambios en el esqueleto apendicular (predominio cortical) no siempre se correlacionan con los del esqueleto axial (predominio trabecular).

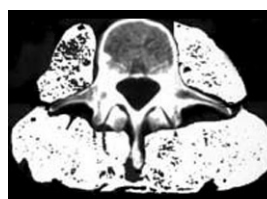
Con QCT no sólo medimos DMO trabecular, sino que podemos valorar DMO cortical, CMO,



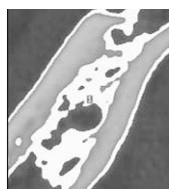
Trama trabecular



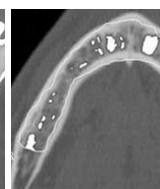
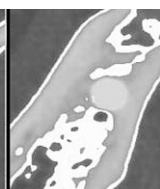
Tejido trabecular / cortical en maxilar



Área muscular



Análisis sectorial hueso maxilar



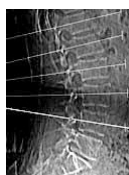
Análisis panorámico del maxilar

y obtener áreas de tejido muscular. Se lo utiliza en otras regiones, como fémur, caderas, rodillas, tibias, rótulas, aunque estas regiones no son de uso corriente.

Es de gran utilidad en odontología, por ser junto a la tomografía computada cuantitativa periférica (pQCT), el único método para evaluar tejidos trabecular y cortical, por separado, en los maxilares.

Cuestiones importantes al evaluar QCT

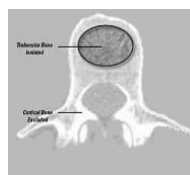
- 1) *Partial volume effects* (los detectores de equipos modernos cada vez son más pequeños)
- 2) Dosis de radiación (al ser pocos cortes la dosis es mínima)



Scout View



Corte Axial con QCT



Análisis en core vertebral

* Dirección postal: Serrano 669, Piso 4, Of. 29, (1414) Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
 Correo electrónico: ricardo.capiglioni@gmail.com

- 3) Reproducibilidad (si se mantienen los parámetros originales)
- 4) Costo económico (comparables actualmente a DXA de columna y cadera)
- 5) Interferencia de la grasa (existen técnicas de supresión grasa)
- 6) Interpretación de los resultados (no debe relacionarse con el *T-score* del DXA, sino con el *Z-score*)

Los sistuello del fémur. Pueden valorar DMO volumétrica, variables estructurales y estimadores de resistencia ósea como el SSI (*stress-strain index*), y estimadores musculares en ciertas regiones validadas. La dosis total de radiación oscila de 1 a 3 μS (*microsievert*).** Ver valores comparativos en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de dosis efectivas en la medición de mineral óseo por absorciometría y por QCT y comparación con otras exposiciones

Radiación natural /año	2400 μS
Vuelo transatlántico	80 μS
Radiografía lateral lumbar	700 μS
DXA lumbar	1 μS
Topograma lateral lumbar por CT	30 μS
DMO por QCT	30 μS
Rayos X dentales	50 μS
Radiografía de tórax	10 μS

Resonancia magnética

La RM es una compleja tecnología basada en la aplicación de un alto campo magnético, transmisión de ondas de radiofrecuencia (RF), y detección de señales de RF desde protones de hidrógenos excitados.

En RM, la imagen está afectada por varios factores, desde la resolución espacial, incluyendo fuerza del campo, secuencia del pulso usada, el eco y la señal de ruido archivada.

El análisis e interpretación de la imagen de MR son más complicados que los de la CT.

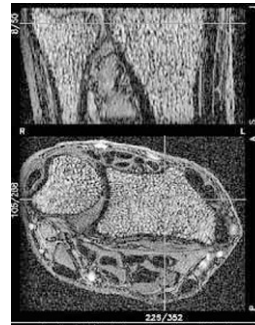
T1: tiempo de relajación longitudinal, depende de la relación entre el protón y el medio que lo rodea (existen medios de distinta estructura molecular, viscosidad, etc.).

T2: tiempo de relajación transversal, depende de la relación entre el protón y protones vecinos.

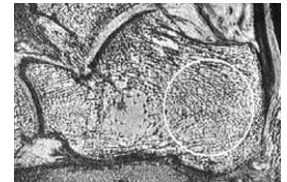
Cada tejido, según su abundancia en protones y cuánto tardan en relajarse luego de ser estimulados (T1 y T2), emite una señal de mayor o menor intensidad, que es captada por el equipo.

Este voltaje se cuantifica en valores numéricos (imagen digital) y finalmente se transforma en tonos en una escala de grises (imagen analógica o anatómica).

El sistema nos permite valorar la ultra-estructura del tejido trabecular, su disposición y su conectividad.



Corte RMI del radio ultradistal



Estructura trabecular radio ultradistal

Micro-RM (μRM) - Micro-TC (μTC)

Conocer las características macro-estructurales del hueso puede mejorar nuestra capacidad para valorar la fortaleza del hueso y el riesgo de fracturas. Sin embargo, debemos ir más allá de la densitometría y buscar información sobre la micro y macro-estructura mediante otras técnicas.

Con el advenimiento de los programas especiales, se puede predecir *in vivo*, sin métodos cruentos, las propiedades biomecánicas (modelado de elementos finitos: MEF).

La micro-tomografía computarizada, una técnica de imágenes en 3D de alta resolución, permite la evaluación eficiente y cuantitativa de la arquitectura trabecular del hueso, un detallado análisis tridimensional de la arquitectura ósea y de su relación con la fuerza del hueso.

La resonancia magnética de alta resolución permite el análisis incruento de sub-volumenes de hasta 1 cc de hueso con una resolución espacial de entre 50 y 100 μm , brindando una imagen tridimensional que simula una biopsia, con una resolución de 85 μm .

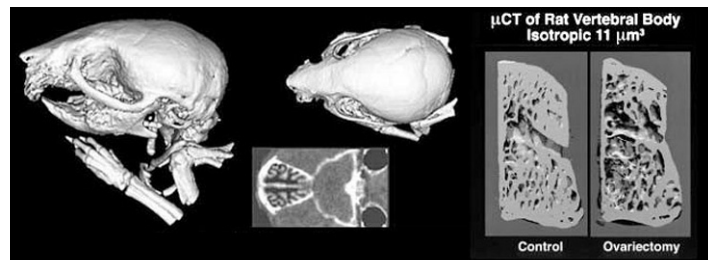
Con la μTC , se pueden realizar reconstrucciones bidimensionales a partir de las lecturas obtenidas con los detectores. Estas proyecciones axiales nos permiten construir la imagen tridimensional, y nos proporcionan una oportunidad única para evaluar los efectos de la osteoporosis en la arquitectura ósea; es decir, ver los efectos de los fármacos a nivel arquitectural.

Los parámetros obtenidos con la exploración tri-

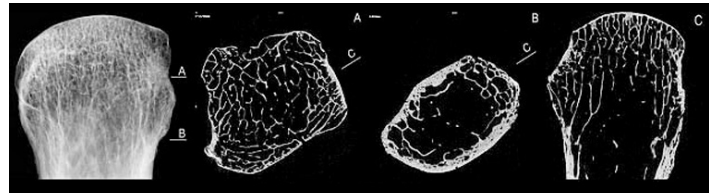
** Nota del Director: La dosis máxima anual tolerable en seres humanos, según la OMS, es de 2 milisieverts.

dimensional de μ TC incluyen la densidad volumétrica ósea, el número de trabéculas, su grosor, separación y conexiones trabeculares. Usando como fuente de radiación un sincrotrón, esta nueva técnica permite cuantificar los cambios en el grado de mineralización en biopsias óseas. La evaluación cuantitativa *in vivo* de la arquitectura trabecular axial todavía no se ha conseguido en humanos; sí en animales, aunque se están estudiando programas informáticos adaptados a los aparatos de TC helicoidal de última generación. En la actualidad, con μ RM y μ TC ya se pueden realizar mediciones de los huesos periféricos como muñeca, calcáneo y falanges.

(Recibido: febrero de 2006. Aceptado: marzo de 2006)



Reconstrucción 3D con μ TC



Imágenes de μ TC en falange

Referencias

1. Boutroy S, Bouxsein ML, Munoz F, Delmas PD. In vivo assessment of trabecular bone microarchitecture by high-resolution peripheral quantitative computed tomography. *J Clin Endocrinol Metab* 2005; 90: 6508-15.
2. Boyde A, De Clerck NM, Sasov A. MicroCT of bones and soft tissues microscopy and analysis. Katholieke Universiteit:Leuven, 2003; 70-6.
3. Braun MJ, Meta MD, Schneider P, Reiners C. Clinical evaluation of a high resolution new peripheral quantitative computerized tomography (pQCT) scanner for bone densitometry at the lower limbs. *Phys Med Biol* 1998; 43: 2279-94.
4. De Clerck NM, Van Dyck D, Postnov A. Non-invasive high-resolution CT of the inner structure of living animals. *Microsc Analysis* 2003; 81: 13-5.
5. Pacifici R, Rupich R, Griffin M, Chines A, Susman N, Avioli LV. Dual-energy radiography versus quantitative computed tomography for the diagnosis of osteoporosis. *J Clin Endocrinol Metab* 1990; 70: 705-10.
6. Postnov A, Vinogradov A, Van Dyck D, Saveliev SV, De Clerck NM. Quantitative analysis of bone mineral content by X-ray microtomography. *Physiol Meas* 2003; 24: 165-78.
7. Waarsing JH, Day JS, van der Linden JC, et al. Detecting and tracking local changes in the tibiae of individual rats: A novel method to analyse longitudinal in vivo micro-CT data. *Bone* 2004; 34: 163-9.