



Principios básicos y aplicaciones clínicas de la tomografía computada helicoidal multicorte

Cristina Del Bosque Patoni,* Horacio Lozano Zalce,* José Antonio Pérez-Mendizábal,* Paola González Balboa,* Sergio Hernández Rojas,* José Luis Ramírez Arias**

Resumen

La tomografía computada multicorte (TCMC) se ha difundido rápidamente en la práctica clínica radiológica en un breve periodo de tiempo. Sus ventajas principales sobre la tomografía computada helicoidal de un solo corte son la adquisición de imágenes en forma más rápida, así como la mejoría en la resolución espacial y temporal, mayor cobertura anatómica, uso eficiente del tubo de rayos X e incremento en la concentración intravascular del material de contraste. Esta técnica ha establecido una evaluación superior y más rápida de los pacientes dentro de una variedad amplia de indicaciones clínicas. Cabe mencionar que, ahora con la disponibilidad de la tomografía computada multicorte, los protocolos de estudio se han convertido más complejos debido al mayor número de factores técnicos y parámetros operador dependientes.

Palabras clave: Tomografía computada helicoidal, tomografía computada multicorte, aplicaciones clínicas.

Summary

Multidetector computed tomography (MDCT) has diffused rapidly into clinical imaging practice in a short time. Major improvements in relation to single-detector CT are faster image acquisition, improved spatial and temporal resolution, increased concentration of intravascular contrast material, efficient X-ray tube use, and longer anatomic coverage. The multisection CT has enabled faster and superior evaluation of patients across a wide spectrum of clinical indications. Now, with the availability of multi-detector row CT, scanning protocols have become more complex owing to the larger number of interacting operator-defined parameters.

Key words: Helicoid computed tomography, multidetector computed tomography, clinical applications.

PRINCIPIOS BÁSICOS

La introducción de esta nueva técnica en 1998 revolucionó el campo de la radiología, tal como lo hizo el advenimiento de la tomografía computada convencional a principios de la década de los 70.¹ La tomografía computada fue utilizada por primera vez como herramienta diagnóstica en 1971, cuando los doctores Godfrey Hounsfield y James Ambrose diagnosticaron satisfactoriamente un tumor cerebral en una mujer de 41 años.

La forma más básica de este principio es un haz rotativo de rayos X que emite radiación ionizante de un grosor definido, mismo que se usa para irradiar al paciente en varias proyecciones, existen detectores ubicados en el otro lado del individuo, opuestos a la fuente del haz

* Departamento de Radiología e Imagen del Hospital Ángeles Lomas.

** Jefe del Departamento de Radiología e Imagen del Hospital Ángeles Pedregal.

Correspondencia:

Dra. Cristina Del Bosque Patoni

Hospital Ángeles Lomas

Vialidad de la Barranca S/N Valle de Las Palmas,
Huixquilucan, Edo. de México.

Correo electrónico: cris.md@attglobal.net

Aceptado: 30-12-2005.

que detectan y registran la cantidad de radiación que ha penetrado a través de la persona. Posteriormente una computadora calcula estos valores obtenidos de las diferentes proyecciones y se genera una imagen bidimensional de un grosor específico. Estas imágenes poseen la habilidad de distinguir sustancias, a diferencia de la radiografía convencional que únicamente distingue densidades. Una vez obtenida esta imagen 2-D, el paciente avanza una distancia definida a través del gantry y el proceso es repetido, tecnología conocida como “step-and-shoot”.²

Los adelantos tecnológicos producidos en otros campos de la ciencia fueron contribuyendo con las herramientas necesarias para que la tomografía computada siguiera evolucionando en forma constante.

En 1989 se introdujo la tomografía computada helicoidal de un solo corte y poco más tarde en 1992 se introdujo la tomografía computada multicorte dual. El modelo que prevaleció definitivamente fue el de tercera generación, donde tanto el detector como el tubo de rayos X giran en forma conjunta. El giro es continuo, y en un mismo sentido, mientras que el paciente avanza continuamente a través del gantry. La diferencia entre estas técnicas prevalece en que en lugar de que sólo exista un solo set de detectores, son múltiples.^{1,3,4}

Con la introducción de la tomografía computada espiral o helicoidal vino la necesidad de pensar de manera diferente. Para el radiólogo siempre ha sido necesario pensar en tercera dimensión, hoy por hoy la adquisición de imágenes o de datos por sí misma es volumétrica, lo que facilita este proceso. Se abandonó el concepto de trabajar con cortes aislados, para pasar al concepto de trabajar con volúmenes.

La adquisición helicoidal, implica tener que manejar una gran cantidad de datos, hecho que fue solucionado con nuevas computadoras, cada vez más rápidas, y con la utilización de discos rígidos, también de gran capacidad de almacenamiento. Fue necesario elaborar nuevos algoritmos de reconstrucción ya que ahora, la adquisición, no se hacía con la camilla detenida, sino que ésta estaba en continuo movimiento.

En términos generales, todos estos avances tecnológicos conllevan a grandes ventajas como son la exploración de grandes volúmenes anatómicos en un tiempo significativamente reducido, es decir, menor tiempo de adquisición. Lo anterior da por resultado una mejoría en la resolución temporal y reduce artificios producidos por movimiento, ya sea voluntario o involuntario (Ej. respiración, peristalsis intestinal, latido cardiaco). Otra ventaja fundamental es la creación en forma retrospectiva de cortes más finos o más gruesos a partir de los datos crudos, obteniendo así mayor resolución espacial a lo largo del eje

largo del paciente.⁵ Mejoría en las imágenes de postproceso como reconstrucciones multiplanares y en 3D debido a la resolución real espacial isotrópica, esto es voxels cúbicos, por lo que la imagen es de igual definición en cualquier plano.⁶

Todas las ventajas mencionadas contribuyen a incrementar la eficacia diagnóstica del estudio, ofreciendo así mejores oportunidades al paciente. Sin embargo, cabe mencionar, que existe otro componente esencial para obtener una imagen diagnóstica exitosa, como lo es el entendimiento y/o conocimiento de la cuestión clínica, para poder así, diseñar un estudio dirigido al problema.

APLICACIONES CLÍNICAS

Este avance tecnológico introdujo mejorías impresionantes en la calidad de las imágenes, y esto trajo consigo la aparición de nuevas aplicaciones. Por ejemplo, en la imagen del hueso temporal, hoy en día se evita la adquisición

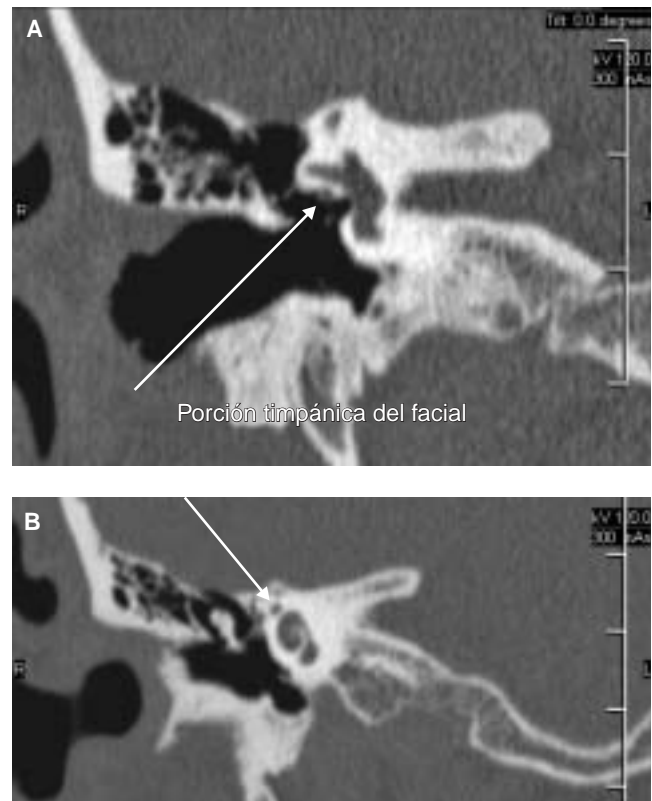


Figura 1. Resolución isotrópica. Reconstrucciones MPR coronales obtenidas de cortes axiales de alta resolución del hueso temporal, en donde se obtiene excelente definición de **a)** la porción timpánica del nervio facial y **b)** la porción laberíntica (flecha) del mismo par craneal.

de cortes coronales directos porque las reconstrucciones poseen la misma resolución espacial que las imágenes de origen⁷ (Figuras 1 a y b). El examen puede ser llevado a cabo más rápido, mejorando la comodidad del paciente y recibiendo menos radiación.²



Figura 2. Paciente de 63 años con adenocarcinoma de la cabeza del páncreas. Reconstrucciones multiplanares coronales de la fase portal de una TCMC de abdomen superior que muestran dilatación del conducto pancreático principal y de la vía biliar secundaria a la tumoración dependiente de la cabeza de la glándula pancreática.

ESTUDIOS MULTIFÁSICOS

En una gran parte de los casos a estudiar, se incluye el tórax, el abdomen y la pelvis. Con la tomografía convencional es difícil establecer la combinación que incluya una cobertura amplia, con imágenes de alta resolución y en diferentes fases vasculares. La TCMC ha mejorado esta resolución en el eje largo del paciente, con una cobertura anatómica rápida que permite la separación en fases arteriales y venosas, indispensables para la evaluación y diagnóstico de diversas patologías. La imagen de las vísceras abdominales debe ser estudiada tanto en la fase vascular como parenquimatosa, combinando así un estudio angiográfico como órgano dirigido^{8,9} (Figuras 2 a y b).

APLICACIONES DEL APARATO MUSCULOESQUELÉTICO

La tomografía computada ha jugado un rol importante en la patología musculoesquelética, aunque en los años 80 la imagen por resonancia magnética oscureció parcialmente su impacto clínico. Recientemente, con el advenimiento de la tomografía multidetector vuelve a tomar un gran auge.

La colimación estrecha (0.5 mm-1 mm) da lugar a la creación de reconstrucciones multiplanares con una alta resolución espacial. Se pueden obtener imágenes en cualquier plano, por lo que la colocación de la región corporal a explorar en el gantry es menos crítica.⁷ Estas capacidades simplifican la examinación de pacientes politraumatizados. Los datos adquiridos para la imagen de pacientes con aparatos de inmovilización pueden retrospectivamente reconstruirse en planos ortogonales.

También se pueden lograr imágenes en 3D (Sombreado de superficie o volumen Render) para visualizar metal, hueso y articulaciones (Figuras 3 y 4).

Una de las aplicaciones en crecimiento es para la visualización de tejidos blandos y músculos, evaluando infección y/o inflamación sospechada o conocida. Estos diversos procesos patológicos usualmente son diagnosticados desde el estudio simple, sin embargo, el material de contraste intravenoso provee información valiosa para la extensión y nivel de afectación.

Uno de los escenarios clínicos más desafiantes, es el de pacientes con cirugía ortopédica y colocación de material de osteosíntesis. Aunque algunos materiales generan menos artefactos que otros, la TC todavía puede verse limitada por ellos. Sin embargo, el postproceso de imágenes puede minimizar el artefacto generado por los implantes metálicos.

En pacientes con patología oncológica obviamente la TC multicorte es muy útil para la detección de infiltración tumoral. Tiene un valor importante para evaluar la exten-

sión tumoral antes de planear tratamiento, ya sea, cirugía, quimio o radioterapia. Se pueden realizar biopsias guiadas por tomografía y en algunos equipos hasta bajo fluoroscopia por TC.¹⁰

Una de las aplicaciones más importantes de la TC multicorte e imágenes en 3D, es en los pacientes con trauma, sobre todo, si el equipo se encuentra cerca del área de urgencias.

Por último debemos mencionar la utilidad en malformaciones congénitas. Numerosos reportes documentan que la tomografía computada y las imágenes en 3D proveen invaluable información tanto en evaluación preoperatoria como seguimientos postquirúrgicos de pacientes con displasia de cadera por mencionar algún ejemplo. En pacientes pediátricos se puede o mejor dicho, se debe minimizar la exposición a radiación.

APLICACIONES CARDIACAS

La gran innovación de la tomografía computada helicoidal multicorte son las aplicaciones cardiacas. Lo cual abre un gran campo de investigación y aplicación. Las aplicaciones más importantes están en relación con la enfermedad isquémica en el adulto y son: la determinación de calcio coronario y la angiografía coronaria. La resolución espacial de la TCMC provee un detalle anatómico de las estructu-

ras valvulares durante el ciclo cardiaco, cuando éstas se encuentran en reposo relativo. La posibilidad de realizar estudios coronarios por tomografía trae la ventaja de que éste, no es un método invasivo (se utiliza sólo medio de contraste endovenoso), lo cual lo hace un método seguro, rápido y permite evaluar no sólo la luz de la arteria sino



Figura 4. Reconstrucción 3D de la columna lumbar.



Figura 3. Reconstrucción 3D de extremidades inferiores en un paciente pediátrico con neurofibromatosis I que presenta pseudoartrosis secundaria a fractura diafisaria de la tibia.

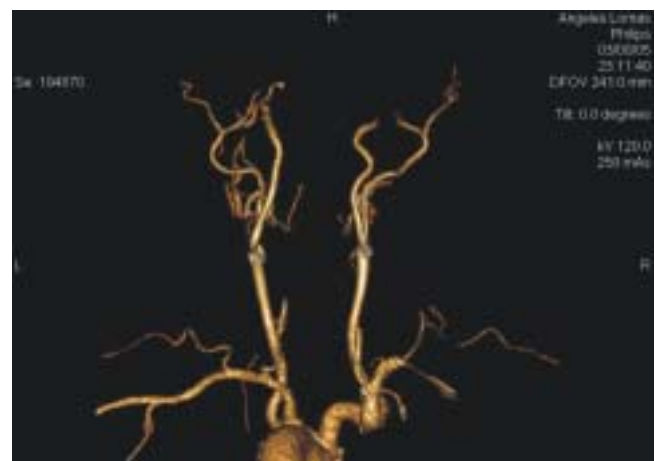


Figura 5. Angiotomografía de vasos carotídeos. Imagen en 3D (volumen render) que muestra estenosis carotídea bilateral con placas de ateroma calcificadas en la bifurcación y a nivel del bulbo carotídeo.

también la pared de la misma.¹¹ Esto permite analizar las obstrucciones coronarias, la estabilidad y caracterización de la placa, por lo que ayuda en la rápida adopción de tratamientos preventivos. Sin embargo, la angiografotomografía aún no es capaz de reemplazar a la angiografía fluoroscópica convencional.

La TCMC es útil en la planeación quirúrgica para reemplazo valvular, detectando vegetaciones responsables de endocarditis. Con el desarrollo de procedimientos endovasculares que requieren acceso al sistema venoso coronario, como lo es la colocación del marcapaso biventricular; la TCMC cardíaca puede ser útil en la detección de anomalías venosas inesperadas.

PUNTUACIÓN CARDIACA (CARDIAC SCORING)

La presencia de calcificación en arterias coronarias indica enfermedad coronaria y la cantidad de calcio correlaciona con la severidad de la enfermedad. La cuantificación puede obtenerse con la tomografía helicoidal, sin embargo, la TC multisección permite una mejor resolución espacial.⁷ Existen dos formas de sincronizar la TC con el movimiento cardíaco: a) Sincronización electrocardiográfica prospectiva (triggering) y b) retrospectiva. El primero, es utilizando el método no helicoidal que permite aplicar el haz de radiación únicamente durante la diástole, cuando los ventrículos se encuentran relativamente sin movimiento. En el método prospectivo se aplica menor dosis de radiación al paciente.¹² Esto es una consideración importante para utilizarse como método de escrutinio en una población sana. En el método retrospectivo la adquisición de imágenes es continua y el trazo electrocardiográfico se registra independientemente y se utiliza posteriormente para la reconstrucción de la imagen. Utilizando este método, los movimientos cardíacos son registrados, lo que puede utilizarse para evaluar volúmenes y funciones ventriculares.

ENDOSCOPIA VIRTUAL

La endoscopia virtual por tomografía se ha aplicado a cualquier órgano o cavidad del cuerpo que tenga lumen, incluyendo el tracto gastrointestinal, tráquea y bronquios, vasos, tracto urinario, oído interno y cavidades paranasales. La tomografía multicorte permite la exploración de un gran volumen con un adecuado detalle anatómico, reduciendo el riesgo de artificios por movimiento.⁷

El desarrollo de estaciones de trabajo de alto rendimiento y software de uso fácil, permiten que la endoscopia virtual se pueda llevar a cabo de manera rutinaria.

Las ventajas de la colonoscopia por TC sobre la colonoscopia virtual es que, incluye la habilidad para demostrar el colon tanto en dirección anterógrada como retró-

grada, por lo tanto con visualización de los pliegues australianos en ambas direcciones.¹³ Esta técnica ha probado ser eficaz en la evaluación del colon proximal en pacientes con colonoscopias convencionales incompletas debido a lesiones obstructivas distales, así como en pacientes delicados y de alto riesgo. Por último el objetivo de este estudio es que sea una opción factible como método de escrutinio en la población general.

APLICACIONES VASCULARES

La angiotomografía llevada a cabo con un equipo multicorte permite amplia cobertura sin sacrificar resolución espacial. Las arterias carótidas se pueden representar en forma satisfactoria. La exploración de la arteria aorta, ilíacas y femorales puede ser llevado a cabo en un mismo estudio, haciendo uso eficiente del material de contraste (*Figura 5*).

Se puede llevar a cabo la planificación preoperatoria, evaluación postoperatoria, así como controles sin tener que hacer angiografías convencionales.

La angiografía pulmonar es el estándar de oro como referencia para confirmar o descartar el diagnóstico de tromboembolia pulmonar, sin embargo, se mantiene en desuso. El desarrollo de la tomografía computada helicoidal ha cambiado el algoritmo de estudio de los pacientes con sospecha de tromboembolia pulmonar.¹⁴ Se está convirtiendo en el método de elección para la evaluación de estos pacientes en muchas instituciones. Mediante este estudio llevado a cabo con una buena técnica podemos identificar los criterios diagnósticos del embolismo pulmonar tanto agudos como crónicos¹⁵ (*Figura 6*).

USO DE RECONSTRUCCIONES MULTIPLANARES EN SITUACIONES ESPECIALES

La TC convencional de las cavidades paranasales, a menudo requiere de proyecciones tanto axiales como coronales. Muy frecuentemente las imágenes coronales son degradadas con artificios que provienen de amalgamas dentales. Estos artificios se pueden evitar con la TC multicorte y reconstrucciones multiplanares.⁷ Se obtiene una sola adquisición axial de cortes finos (que no incluya la región con amalgamas dentales) y las proyecciones coronales son el resultado de las reconstrucciones del volumen adquirido (*Figuras 7 a y b*). Otra aplicación de las reconstrucciones es la exploración de cuerpo completo que generalmente se obtiene con los brazos arriba para evitar artificios por efecto de endurecimiento del rayo, sin embargo, en pacientes con incapacidad para levantar los brazos se hacen cortes finos con los brazos a los lados y se reconstruyen imágenes sin sacrificar demasiado la calidad de la imagen. En pacientes politraumatizados, con distress respiratorio, niños, o pacientes bajo

sedación y en aquéllos en los que la hiperextensión del cuello sea difícil o peligrosa, las reconstrucciones multiplanares nos son de gran utilidad.

APLICACIONES EN EL TRACTO URINARIO

Los pacientes con hematuria requieren evaluación tanto del parénquima renal como del urotelio. La urografía excretora persiste como el método inicial de elección para la evaluación del tracto urinario superior.¹⁶ Con la TCMC se pueden emplear un número diferente de protocolos para la investigación de una amplia variedad de condiciones patológicas que afectan el sistema urinario. Éstas incluyen la evaluación de cólicos posiblemente renales, caracterización de una masa renal conocida o sospechada, estadificación y seguimiento del carcinoma de células renales, angiotomografía renal y urotomografía. Existen ventajas específicas que incluyen la posibilidad de reconstruir cortes axiales más finos, si se desea evaluar mejor una calcificación intraureteral, así como traslapar estas imágenes para reconstrucciones en 3D que pueden ser útiles en demostrar el trayecto de los uréteres. Para la evaluación del cólico renal, el uso de la TC sin contraste se ha diseminado ampliamente en diversas instituciones, reemplazando a la urografía excretora en este contexto clínico. Este examen se puede llevar a cabo en poco tiempo, en inspiración única, sin que el paciente requiera preparación especial o material de contraste. El diagnóstico

del cólico renal se lleva a cabo en base a un hallazgo ya sea primario, como la piedra en el uréter y/o con la presencia de signos secundarios que incluyen cambios de la grasa perinéfrica, periureteral, hidronefrosis, hidrouréter o nefromegalia unilateral.¹⁷



Figura 6. Reconstrucción multiplanar en el plano sagital obtenido de una tomografía multicorte realizada con protocolo para descartar tromboembolia pulmonar en una mujer de 51 años. Es evidente la oclusión arterial completa y defecto parcial en "riel o vías de tren" de arterias interlobares.

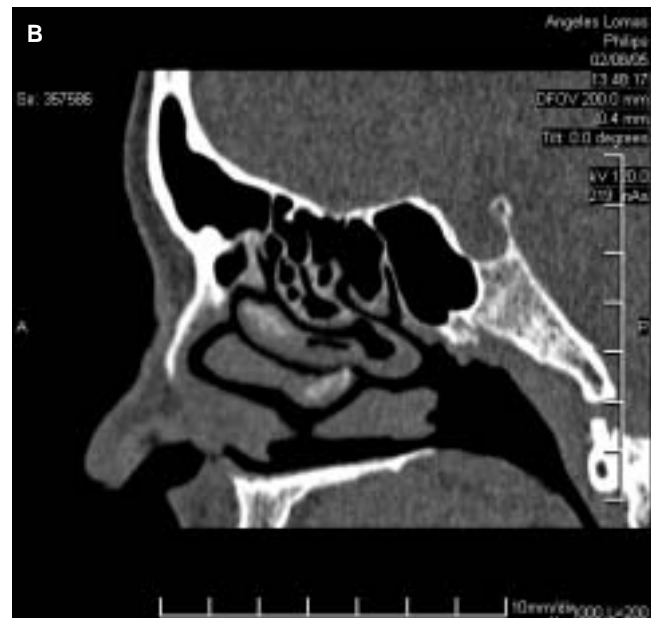


Figura 7. Reconstrucciones multiplanares obtenidas en el plano coronal (a) y sagital (b) evitando el artefacto producido por el material metálico dental. Las imágenes permiten valorar las unidades del complejo osteomeatal, y vías de drenaje.

MIELOGRAFÍA CON TOMOGRAFÍA COMPUTADA

Realizar una tomografía computada multicorte posterior a una mielografía provee una mayor resolución espacial que la tomografía computada convencional. Se obtiene una evaluación de los discos, raíces nerviosas, así como de los agujeros intervertebrales con cortes finos en un tiempo corto (Ej. Desde el occipucio hasta T2 con cortes de 1 mm de espesor en menos de 40 segundos). Posteriormente del volumen adquirido se pueden reconstruir imágenes sagitales o coronales que proporcionan una excelente visión sobre la relación entre el canal medular, espacio subaracnoideo y columna vertebral.⁷

EVALUACIÓN DE LA PERFUSIÓN CEREBRAL

La TCMC dinámica puede utilizarse para cerciorar la isquemia cerebral en un ataque agudo. El estudio dura 40 segundos, comienza 5 segundos posterior a la administración rápida del contraste I.V. El postproceso de la imagen requiere de la fusión de los cortes adquiridos finos a rebanadas gruesas. Este volumen se analiza y se despliega de diferentes maneras, por ejemplo como un mapa de perfusión.⁷

IMPACTO EN LA PRÁCTICA RADIOLÓGICA

Con la TCMC, se genera un gran número de imágenes, lo que puede traducir un problema para su visualización o análisis, almacenaje, y fotografía en placas. Por lo anterior se debe contar con estaciones de trabajo para propósitos de diagnóstico y las impresiones en placas se deben utilizar únicamente para referencia. Los cientos o miles de cortes obtenidos utilizando la TCMC son incompatibles con la práctica de revisión tradicional, por esto esta nueva tecnología llevará a una transición rápidamente de imágenes bidimensionales a la imagen volumétrica en la práctica radiológica.⁵

CONCLUSIONES

No cabe duda que gracias al desarrollo tecnológico, la tomografía computada multicorte se ha convertido en una herramienta muy valiosa en la imagen diagnóstica. La tomografía computada multicorte es superior a la tomografía computada helicoidal en casi todas las aplicaciones. Este método provee dos ventajas mayores que han impactado en su aplicación clínica: 1) Incremento dramático en la velocidad de adquisición y 2) Franca mejoría de la resolución espacial.

La exploración rápida permite que el barrido explorador sea obtenido en inspiración única y sostenida, disminuyendo así artificios por movimiento y optimizando el uso de material de contraste intravenoso.

La tomografía computada ha alcanzado así, el borde de una nueva era, basada en la imagen en tercera dimensión.

REFERENCIAS

1. Rydberg J, Liang Y, Teague SD. Fundamentals of multichannel CT. *Radiol Clin N Am* 2003; 41: 465-474.
2. Cinnamon J. Multislice volumetric spiral CT principles and applications. *Clinical education CD-ROM Philips Medical Systems* 2000.
3. Saini S. Multidetector Row CT: Principles and practice for abdominal applications. *Radiology* 2004; 233: 323-327.
4. Napel S. Basic principles of MDCT. In: Fishman EK, Jeffrey RB. *Multidetector CT principles, techniques, and clinical applications*. 1st ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2004: 3-13.
5. Kopp AF, Klingenberg K, Heuschmid M et al. Multislice computed tomography: Basic principles and clinical applications. *Electromedica* 2000; 68(2): 94-105.
6. Mahesh M. Search for isotropic resolution in CT from conventional through Multiple-Row detector. *Radiographics* 2002; 22: 949-962.
7. Rydberg J, Buckwalter KA, Caldemeyer KS et al. Multisection CT; scanning techniques and clinical applications. *Radiographics* 2000; 20: 1787-1806.
8. Foley WD. Multidetector CT: Abdominal visceral imaging. *Radiographics* 2002; 22: 701-719.
9. Ros PR, Ji H. Multisection (Multidetector) CT: Applications in the abdomen. *Radiographics* 2002; 22: 697-700.
10. Fishman EK. Multidetector CT evaluation of musculoskeletal pathology: Principles and clinical applications. In: Fishman EK, Jeffrey RB. *Multidetector CT principles, techniques, and clinical applications*. 1st ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2004: 485-509.
11. Chan FP. Cardiac MDCT. In: Fishman EK, Jeffrey RB. *Multidetector CT principles, techniques, and clinical applications*. 1st ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2004: 485-509.
12. Schoepf UJ, Becker CR, Hoffman LK et al. Multidetector-row CT of the heart. *Radiol Clin N Am* 2003; 49: 491-505.
13. Beaulieu CF, Rubin GD. Perspective rendering and virtual endoscopy. In: Fishman EK, Jeffrey RB. *Multidetector CT principles, techniques, and clinical applications*. 1st ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2004: 485-509.
14. Washington L, Goodman LR, Gonyo MB. CT for thromboembolic disease. *Radiol Clin N Am* 2002; 40: 751-771.
15. Wittram C, Maer MM et al. CT angiography of pulmonary embolism: Diagnostic criteria and causes of misdiagnosis. *Radiographics* 2004; 24: 1219-1238.
16. Kawashima A, Glockner JE, King BE. CT urography and MR urography. *Radiol Clin N Am* 2003; 41: 945-961.
17. Chow LC, Sommer FG. Multidetector CT of the urinary tract. In: Fishman EK, Jeffrey RB. *Multidetector CT principles, techniques, and clinical applications*. 1st ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2004: 347-364.