



Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen



1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos y proyecciones de **Diagnóstico por Imagen**

Méd. Pedro Andrés García Delgado
Méd. Freddy Israel Cabezas Díaz
Méd. Diane Carolina Nieto España
Méd. Viviana Nathalie Mogrovejo del Saltó

EDICIONES MAWIL

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

Autores Investigadores

Méd. Pedro Andrés García Delgado

Médico; Centro Médico Semic; Guayaquil, Ecuador;
pedrogarcia_d_94@hotmail.com;

 <https://orcid.org/0000-0002-4746-019X>

Méd. Freddy Israel Cabezas Díaz

Médico; Centro Médico Semic; Guayaquil, Ecuador;
freddycabezasd@hotmail.com;

 <https://orcid.org/0000-0002-0426-958X>

Méd. Diane Carolina Nieto España

Médica; Centro Médico Semic; Guayaquil, Ecuador;
nietodiane@gmail.com;

 <https://orcid.org/0000-0002-6729-9145>

Méd. Viviana Nathalie Mogrovejo del Saltó

Médico; Centro Médico Semic; Guayaquil, Ecuador;
viviana.mogrovejo@semec.com.ec;

 <https://orcid.org/0000-0002-7285-5003>

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

Revisores Académicos

Lcda. Nube Johanna Pacurucu Avila Mgs.

Magíster en Gerencia en Salud para el Desarrollo Local;
Licenciada en Enfermería;
Coordinadora Comisión de Investigación de la Carrera de
Enfermería, Campus Universitario Cuenca;
Universidad Católica de Cuenca; Cuenca, Ecuador;
 <https://orcid.org/0000-0002-4181-0099>

Dra. Fanny Cecilia Rodríguez Quezada. PhD

Magíster en Gerencia en Salud para el Desarrollo Local;
Doctora en Enfermería; Universidad Católica de Cuenca;
Cuenca, Ecuador;
 <https://orcid.org/0000-0002-8139-3816>

Catálogo Bibliográfico

AUTORES: Méd. Pedro Andrés García Delgado
Méd. Freddy Israel Cabezas Díaz
Méd. Diane Carolina Nieto España
Méd. Viviana Nathalie Mogrovejo del Saltó

Título: Fundamentos radiológicos y proyecciones de diagnóstico por imagen

Descriptor: Radiología, imágenes, diagnóstico

Código UNESCO: 32 Ciencias Médicas

Clasificación Decimal Dewey/Cutter: 610.73069/G1651

Área: Ciencias Médicas

Edición: 1^{era}

ISBN: 978-9942-622-15-0

Editorial: Mawil Publicaciones de Ecuador, 2022

Ciudad, País: Quito, Ecuador

Formato: 148 x 210 mm.

Páginas: 143

DOI: <https://doi.org/10.26820/978-9942-622-15-0>



Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico **Fundamentos radiológicos y proyecciones de diagnóstico por imagen**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por MAWIL; publicación revisada por el equipo profesional y editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de MAWIL de New Jersey.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.

Director Académico: PhD. Jose María Lalama Aguirre

Dirección Central MAWIL: Office 18 Center Avenue Caldwell; New Jersey # 07006

Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador: Mg. Vanessa Pamela Quishpe Morocho

Editor de Arte y Diseño: Lic. Eduardo Flores, Arq. Alfredo Díaz

Corrector de estilo: Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

ÍNDICE





PRÓLOGO.....	7
INTRODUCCIÓN.....	10
Capítulo I	
Generalidades de la imagenología	14
Capítulo II	
Técnicas de imagenología	28
Capítulo III	
Cuidados generales en las diferentes técnicas de diagnóstico por imagen.	39
Capítulo IV	
Radiografía.....	57
Capítulo V	
Ecografía	73
Capítulo VI	
Mamografía	85
Capítulo VII	
Tomografía.....	93
Capítulo VIII	
Resonancia Magnética Nuclear	108
Anexos.....	120
Glosario.	131
Bibliografía	139

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

PRÓLOGO



Este libro da cuenta de uno de esos grandes descubrimientos que caracterizan una época y cuyo impacto se siente desde el momento de su aparición, aunque haya pasado más de un siglo, como es el caso. Hablamos de los rayos X.

Los impactos de estos grandes avances de una ciencia son múltiples y alcanzan a varias disciplinas y, lo que es más significativo, la vida cotidiana de los seres humanos, incluso de los más alejados de las complicadas fórmulas y explicaciones que brinda la ciencia especializada. De hecho, cambian la concepción del mundo. Por eso, como el rayo de luz que atraviesa ciertos cristales, se difracta hacia varios destinos. Aquí, en la medicina, crea nuevas posibilidades de diagnóstico y hasta de orientación directa de complicadas intervenciones quirúrgicas, allá, en la física, abre la discusión acerca de los cuantos de la luz, la misteriosa naturaleza que es corpúsculo u onda según los instrumentos que se usen para observarla; más allá, abre nuevos horizontes a la química de las grandes moléculas, y llega hasta a descubrir grandes misterios como la estructura del ARN y la ADN, esos maravillosos programas para la reproducción de los seres vivos que, a su vez, abren nuevos horizontes al conocimiento y a las más increíbles técnicas.

En los milenios que van desde la formulación primera del juramento hipocrático, nunca el médico había tenido un apoyo de esta naturaleza tan revolucionaria para obtener mayor profundidad y precisión en sus diagnósticos, y así llegar a mejorar las indicaciones de los tratamientos en su lucha contra las enfermedades y el sufrimiento humano. La radiología implica, por supuesto, un cambio profundo en las técnicas de diagnóstico. Es un campo interdisciplinario por cuanto ha influido en nuevos descubrimientos en física y química, aparte de las ventajas que ha creado para la medicina.

Por ello se justifica un texto para entender en toda su extensión la transformación producida por este descubrimiento que sorprendió, aquella tarde de octubre de 1896, al profesor Roentgen en su laboratorio.

.....

Nuevamente, como ya habían dicho los antiguos filósofos griegos, la sorpresa es el acicate fundamental de la curiosidad humana y la apertura de nuevos horizontes al conocimiento y, agregamos nosotros, al bienestar de la Humanidad.

Por otra parte, es pertinente la presentación de todas las ventajas que ha significado el uso de la radiología en la observación excepcional de los órganos del cuerpo, para atinar en los diagnósticos e incluso guiar de manera directa intervenciones que antes adjuntaban a los riesgos de su realización, la de los posibles errores manuales de los cirujanos. La radiología pues es de esas revoluciones científicas y tecnológicas que han impactado al mundo, por lo que su significación, implicaciones y realizaciones deben darse a conocer, entre los profesionales de la salud, pero también entre el público en general.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

INTRODUCCIÓN



.....

cuentra la clave de la vida. Igualmente la integración de la radiología con otros campos de innovación tecnológica como la microelectrónica. Todo ello, se proyecta en las diferentes subdisciplinas de la medicina, mejorando significativamente el acceso a los secretos de las enfermedades en las diferentes partes del cuerpo humano.

Este libro se abre con un Capítulo I, donde se expondrá a grandes trazos la historia general de la Radiología, así como una relación acerca del diagnóstico por imagen y su evolución en el Ecuador. Seguidamente, en el Capítulo II, se describirán las Técnicas de imagenología, sujetas a actualizaciones sucesivas, por su integración a otras innovaciones tecnológicas y nuevos conocimientos.

En el Capítulo III se concentrarán las indicaciones acerca de los necesarios Cuidados generales en las diferentes técnicas de diagnóstico por imagen. En el Capítulo IV, las explicaciones se concentrarán en la Radiografía, su historia, las proyecciones en radiografía y las patologías más comunes diagnosticadas en radiografía.

El texto continúa con el Capítulo V, dedicado a la Ecografía, una breve reconstrucción histórica de sus avances, generalidades teóricas y prácticas, las Técnicas ecográficas más utilizadas y las Patologías más comunes diagnosticadas en ecografía. El Capítulo VI abordará el tema de la Mamografía, su Historia, Generalidades, las proyecciones mamográficas y las patologías más comunes diagnosticadas en mamografía.

Seguidamente, el Capítulo VII, abordará la Tomografía, también exponiendo su Historia, Generalidades, Técnicas Tomográficas y las patologías más comunes diagnosticadas en tomografía. El Capítulo VIII se dedicará a la Resonancia Magnética Nuclear en los mismo aspectos de Historia, Generalidades, Técnicas en Resonancia Magnética Nuclear y Patologías más comunes diagnosticadas en RMN.

Este libro también dispone como Anexos las Imágenes de aspectos normales y patologías de diferentes enfermedades y Escalas usadas en Diagnósticos por imagen. Así mismo, el lector tendrá a su disposición un Glosario de los términos más utilizados en este campo de conocimiento.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA IMAGENOLOGÍA



Historia general de la Radiología

Es conocido que Whilhelm Conrad Roentgen fue el inventor (o, tal vez, sea mejor caracterizarlo como el descubridor) de los rayos X entre octubre y noviembre de 1895. Su hallazgo se produjo en medio de sus experimentos con los rayos que expedía un nuevo adminículo técnico, un tubo de Crookes, una especie de pera de cristal al vacío en cuyo interior había un diseño con varios cátodos, es decir, fuentes de electrones, de carga negativa. El físico había cubierto esa especie de lámpara eléctrica con trozos de cartón negro, al tiempo que oscurecía la habitación para probar la opacidad de la envoltura. Pero un débil haz de luz llamó su atención en otra parte del cuarto. Para su sorpresa, se trataba de una pequeña pantalla de platino con cianuro de bario que se hallaba a pocos metros del tubo de varios cátodos.

En aquel tiempo, uno de los focos de atención de los físicos era estudiar los efectos fotoeléctricos, pues varias experiencias ponían en cuestión muchas creencias tenidas por ciertas en la comunidad científica, con lo cual se alimentaba la discusión en torno a novedosas ideas acerca de las ondas electromagnéticas, la naturaleza de la luz y la estructura de los átomos. Pocos años más tarde, algunos de estos misterios obtuvieron respuesta en los trabajos de Einstein sobre la nueva teoría de la relatividad. Pero entonces Roentgen no disponía de esas herramientas teóricas todavía, por lo que se limitó a experimentar, repetir las experiencias variando de manera controlada los factores de cada una de ellas y anotar sistemáticamente los resultados.

El descubrimiento constituyó el inicio de un nuevo paradigma que impactó por lo menos a disciplinas como la medicina, la química y la física, contribuyendo además a nuevos descubrimientos en campos novedosos, como la estructura de macromoléculas como el ADN y el ARN, donde se esconden no pocos asuntos claves de la vida, es decir, la biología. Igualmente, el descubrimiento de Roentgen impactó la cultura popular.

Sólo unos meses después de que se diera el experimento descrito, Thomas Alba Edison, en la otra costa del Atlántico, presentó un espectáculo en New York, asombrando al público con las sorprendentes posibilidades de ver a través de la piel que realizaban los misteriosos rayos que recién descubría sus secretos. Pronto, como ocurrió poco más tarde con los descubrimientos relacionados con la radioactividad de Madame Curie, los espiritistas y charlatanes celebraron una nueva posibilidad de ver directamente el mundo de los espíritus. La literatura de calle presentó nuevos personajes dotados con poderes extraordinarios. Años después, surgieron varios superhéroes con visión de rayos X (Superman, por ejemplo), y el cine también explotó la idea de las posibilidades de observar lo invisible mediante administrículos que usaban agentes secretos. Hasta el negocio del calzado se benefició con la imaginación desatada con motivo de los rayos X, y algunas zapaterías caras utilizaron un aparato para ver exactamente, a través del cuero, cómo quedaban los dedos de los pies en el calzado ofrecido. Surgieron entonces personajes de cine, superhéroes, leyendas urbanas, refuerzos para las creencias populares esotéricas, a raíz del descubrimiento de Roentgen (2).

Roentgen había llamado su descubrimiento “rayos X” porque simplemente no sabía qué eran. Pero, desde el punto de la física, esas radiaciones fueron caracterizadas como vibraciones electromagnéticas de una longitud de onda mucho más corta que la de la luz visible, como lo demostraba su difracción, lograda con cristales por los cuales no lograba atravesar la iluminación visible. Hoy en día se ha precisado que los rayos X son chorros de fotones, los cuales considerarse a la vez como partículas subatómicas y vibraciones electromagnéticas, de acuerdo a las teorías físicas de la relatividad (Einstein), las explicaciones cuánticas y la demostración de Compton en 1922 de la dispersión de rayos X por electrones. Ya en 1912 Max Von Laue había hecho pasar un estrecho haz de rayos X a través de un cristal y registró el extraño patrón de difracción en una placa fotográfica, utilizando un difractor de onda inventado por Paul Peter Ewald, del Instituto de Sommerfeld en

Munich. Esto fue confirmado posteriormente por Walter Friedrich y Paul Knipping. Max von Laue desarrolló una ley que conecta los ángulos de dispersión y el tamaño y la orientación del espacio en el cristal y, por esto, obtuvo el Premio Nobel de Física en 1914.

Varios años después los rayos X fueron utilizados para descubrir la estructura de moléculas complejas propias de la biología. La doctora Dorothy Crowfoot Hodgkin desarrolló la cristalografía de rayos X para observar moléculas biológicas. Determinó la estructura del colesterol en 1937, la vitamina B12 en 1945 y la penicilina en 1954. Recibió el Premio Nobel de Química en 1964 y, en 1969, cuando determinó la estructura de la insulina. La cristalografía de rayos X ha servido también para comprender las moléculas del ADN y el ARN. La pionera en estas investigaciones fue Rosalind Elsie Franklin. Ya en 1952, Rosalind Franklin, junto con Ray Gosling (que era su alumno de doctorado), tomó una de las imágenes más importantes del mundo. En su famoso experimento, estiraron una hebra de ADN en un sujetapapeles y la colocaron en un trozo de corcho. Un haz fino de rayos X atravesaba la hebra de ADN y las trayectorias difractadas se registraron en papel fotográfico como la "Fotografía 51". La imagen resultado demostró la forma helicoidal del ADN (2).

También Maurice Wilkins y Ray Goslings y su colaborador Alec Stokes, observaron la forma helicoidal de la molécula del ADN. Sus datos fueron útiles para que posteriormente se formulara la hipótesis de la estructura del ADN de Crick y Watson en 1953, lo que les valió el Premio Nobel de fisiología o medicina en 1962. James Watson, al publicar su secuencia de genoma humano en 2007, obtenida gracias a la tecnología de la difracción de los rayos X, lanzó el desafío de la posibilidad de la medicina personalizada y tratamientos individuales. Vale decir que Watson es contrario a la privatización de los mapas genómicos humanos (creación de patentes de secuencias de ADN) defendiendo la posición de que tales conocimientos deben ser de los ciudadanos, y no de los Estados ni de las grandes corporaciones.

Un asunto interesante de la historia de los rayos X es la existencia de un número importante de pioneros de la radiología que fueron mártires, pues sufrieron las consecuencias de la exposición a la radiación. El sitio donde hay una tradición que les rinde homenaje, es un monumento situado en los jardines del hospital Saint George en Hamburgo, Alemania.

Uno de los primeros científicos en reconocer los efectos perjudiciales de la radiación, y uno de sus primeros mártires, fue el radiólogo británico John Hall Edwards, quien publicó artículos sobre este tema, incluida una carta en la revista médica *British Medical Journal* en 1896. Él había desarrollado su experiencia en radiología militar durante la Guerra de los bóeres en 1900, y, a la postre, sufrió personalmente los efectos de la dermatitis por radiación, lo cual determinó que, a la larga, se le tuvieran que amputar las manos.

Pero la lista de mártires de la investigación científica con rayos X es extensa. En ella conseguimos el nombre del radiólogo alemán Heinrich Albers-Schönberg, quien fue fundador de la Sociedad Alemana Röntgen en 1905, y murió en 1921 a causa de las lesiones causadas por la radiación.

Hay muchos otros pioneros científicos dignos de ser mencionados con honor. Entre ellos, Alban Köhler, que en 1910 publicó un importante libro titulado "Encyclopaedia of Normal Limits in Röntgen Images" (Enciclopedia de los límites normales en las imágenes de Röntgen). Köhler, radiólogo de Wiesbaden, Alemania, fue un editor prolífico de artículos sobre radiología ósea. Pronto se dio cuenta de que, mediante el uso de rayos X, era posible examinar problemas reumáticos congénitos, además de afecciones metabólicas anormales y trastornos de osificación del esqueleto. Usó en radiología de los huesos. También hay que mencionar al austríaco Robert Kienböck, un radiólogo de Viena que también estaba interesado en la radioterapia de tumores óseos (2).

En el estudio del tórax, se estableció rápidamente el rol de la radiología. Las primeras radiografías de tórax mostraban el diafragma y el corazón, y pronto se identificaron los derrames pleurales. El radiólogo pionero de Boston, Francis Williams, realizó muchos avances en el campo de las imágenes del tórax, en particular en relación con la tuberculosis, en ese entonces un problema médico común. En 1896, Thomas Edison inventó un fluoroscopio modificado con una pantalla de tungsteno. La fluoroscopia de tórax se introdujo poco después y permitió al radiólogo observar segmentos de los pulmones y el mediastino. Algunos investigadores europeos dentro de este campo fueron Albers-Schönberg y Guido Holzknecht.

Ya era evidente a principios del siglo XX la eficacia de los rayos X para observar los huesos, pero faltaba explorar sus posibilidades en el examen de los tejidos blandos de los órganos del cuerpo. Para ello, se inventaron los medios de contraste, que permitieron nuevos avances que revolucionaron los métodos de diagnóstico de innumerables enfermedades. Para el sistema gastrointestinal, el primer medio de contraste incluía acetato de plomo, que pronto fue reemplazado por bismuto. En 1910, se introdujo el sulfato de bario, que permitió estudios del sistema gastrointestinal. Uno de los primeros investigadores en el campo de las imágenes gastrointestinales fue Walter Cannon, un fisiólogo de Harvard que realizó estudios en el estómago con sales de bismuto. En Europa, Hermann Rieder, en Munich, hizo grandes avances en el campo de las imágenes gastrointestinales. El anatomista y radiólogo sueco, Gösta Forssell, comenzó a usar radiografías de detalle en 1908, lo que permitió una evaluación más detallada de la membrana mucosa del tracto gastrointestinal. Forssell fue uno de los pioneros de la radiología sueca y el editor fundador de *Acta Radiológica*. Guido Holzknecht (1872–1931), un mártir de la radiación, en 1905 ya realizaba exámenes fluoroscópicos del tracto gastrointestinal en Viena. Holzknecht jugó un papel decisivo en la fundación y el liderazgo de la famosa escuela de radiología de Viena. (3)

En Gran Bretaña, Alfred E. Barclay, importante figura de la radiología británica, hizo avances en el campo de las imágenes del tracto gastrointestinal superior, en especial el esófago. El colon probablemente fue examinado por primera vez por Schule, con una mezcla de bismuto y enema de aceite. En los estudios iniciales, se usaba un solo medio de contraste. Laurel de Uppsala, Suecia, realizó el primer enema con doble contraste en 1921.

Pero observar directamente el sistema circulatorio era otro de los retos que se plantearon los inventores y científicos en relación a los rayos X. Por eso, otro hito importante en esta historia fue el desarrollo de agentes de contraste intravasculares. Luego de probar varios posibles agentes, incluidos el bromuro de estroncio para la venografía y la arteriografía por Berberish y Hirsch, y el yoduro de sodio para la pielografía intravenosa, en 1929 el Dr. Moses Swick, probó el uroselectan. Este fue un avance importante en la investigación del sistema vascular, y permitió la realización de la pielografía intravenosa. Poco después, el noruego Torsten Almen descubrió un medio de contraste de baja osmolaridad. Los agentes de contraste de baja osmolaridad se siguen usando en la actualidad, en especial en la tomografía computarizada y la angiografía.

Para imágenes de los vasos capilares, incluidos los coronarios, fue necesario el desarrollo y aplicación de medios de contraste intravenosos. Uno de los pioneros en este campo fue Werner Forssmann, que inició el cateterismo cardiaco, de Alemania, que en 1929 se introdujo un catéter desde la vena antecubital hasta el corazón y se inyectó un medio de contraste para visualizar el lado derecho del corazón.

Un desarrollo de gran trascendencia, en especial para la obstetricia, fue el nacimiento de la ecografía, debida a los escoceses Edler e Ian McDonald, que abrió la posibilidad de observar el interior de los órganos reproductivos femeninos sin usar radiación, sin afectar ni la madre ni el feto.

En la década de los setenta fue testigo del nacimiento de la Tomografía Computarizada (TC o TAC), que posiblemente fue un descubrimiento tan importante como el de los rayos X. La TAC produce múltiples imágenes del interior de cuerpo que pueden ser reformateadas en múltiples planos. Se usa especialmente para ver huesos y pulmón. Esto fue seguido por las Imágenes por Resonancia Magnética, que es útil para ver los tejidos blandos del cuerpo. Sus desarrolladores fueron los doctores Edward Mills Purcell (Premio Nobel de Física en 1952), Paul C. Lauterbur (Premio Nobel de Medicina en 2003), Raymond V. Damadian y colegas, como también el investigador británico Sir Peter Mansfield (Premio Nobel de Medicina en 2003). Las pruebas de medicina nuclear también se perfeccionaron con el desarrollo de la tomografía por emisión de positrones (PET). Sin embargo, ninguna de estas técnicas habría sido posible sin el descubrimiento de los rayos X y el trabajo de los pioneros científicos.

El 20 de abril de 1972, Sir Godfrey Hounsfield y el Dr. Jamie Ambrose, radiólogo del Hospital Atkinson Morley en el sureste de Londres, presentaron un artículo titulado “Computerised axial tomography (the new means of demonstrating some of the soft tissue structures of the brain without the use of contrast media)” [Tomografía axial computarizada (el nuevo medio para demostrar algunas de las estructuras del tejido fino del cerebro sin el uso de medios de contraste)] en el 32.º congreso anual del Instituto Británico de Radiología. Este artículo presentaba los resultados de la primera exploración de un paciente mediante el uso de la TC, que se realizó el 1 de octubre de 1971, en el Hospital Atkinson Morley. Cuando Hounsfield y Ambrose observaron las primeras imágenes del paciente, reaccionaron como futbolistas que acaban de anotar el gol de la victoria. La primera imagen tomográfica de un paciente (200.2A) mostraba un tumor quístico circular en el lóbulo frontal. El cirujano que realizó la intervención afirmó que el tumor se encontraba justo donde indicaban las imágenes obtenidas, con gran precisión. Los experimentos que llevaron a este logro partieron del desarrollo de la idea de poder reconstruir una imagen de un cerebro con una serie

de lecturas de rayos X. Godfrey realizó sus primeros experimentos con bloques de metacrilato de densidad variable, luego con especímenes de cerdo y, por último, con especímenes preservados de cerebro de un museo. El prototipo de escáner médico en el Hospital Atkinson Morley era simplemente un escáner de cabeza capaz de obtener imágenes del cerebro. El pequeño tamaño del escáner se debía al uso de agua detrás de una membrana de goma, que rodeaba la cabeza. A medida que se adquirió experiencia con los primeros escáneres cerebrales, fue posible eliminar el agua y la membrana de goma (2).

Ha aumentado significativamente la cantidad de áreas clínicas en las que la TC ha mostrado grandes beneficios, permitiendo diagnósticos y controles más precisos. Esta técnica se ha utilizado también como método para las intervenciones guiadas por imágenes precisas, como la biopsia guiada por TC. Hoy día, la TC sirve también para la localización precisa de tumores en la planificación de la radioterapia. Además, posibilitó una mayor exactitud en el cálculo de la trayectoria y el efecto de los haces del tratamiento y las curvas de isodosis en función de la atenuación del haz (de rayos X) de la TC de baja energía por el tumor y las estructuras circundantes. Se pudo planificar la radioterapia para minimizar la dosis a los órganos sensibles, maximizando la dosis al tumor. Recientemente, técnicas como la radioterapia de intensidad modulada (IMRT) se ha basado en esto para brindar una planificación de la terapia más precisa y que preserva más los órganos (3).

Muchas áreas de la cirugía y la planificación quirúrgica han cambiado de manera significativa en los últimos años, debido al uso de las imágenes de TC. Estas ofrecen una herramienta precisa de planificación quirúrgica en áreas que varían de reemplazos de cadera a cirugía reconstructiva. En 1977 Raymond Damadian publicó la primera imagen humana a través del tórax. En el año 1979 fue en donde se obtuvo las primeras imágenes topográficas de una cabeza humana. En la ciudad de Londres en el año de 1982 se instaló el primer prototipo de tomógrafo por resonancia magnética nuclear y en diciembre de 1983 en

que fueron presentadas en su opúsculo que fue también el primero en reproducir radiografías dando paso al uso de la radiografía como una posibilidad para el manejo y control de enfermedades (5). El año 1902 se publicó el primer artículo denominado LOS RAYOS X EN CIRUGÍA, en donde se llega a evidenciar la primera radiografía tomada y reproducida en el país (5).

Esta adquisición científico-tecnológica causó gran revuelo en el Ecuador de aquella época. Vale decir que el primer aparato de rayos X llegó a Ecuador en 1902 y se ubicó en el laboratorio de física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, en el Departamento de Física Moderna y no para la facultad de Medicina como un aparato de usos médicos.

Es de aquella época que data la labor de los pioneros de la radiología ecuatoriana, entre cuyos nombres figuran, además del de Manuel María Casares, el de Pablo Arturo Suárez, Alejandro Melo y el Dr. German Abdo Touma. Cabe destacar que el primer aparato de rayos X para uso médico fue adquirido durante el gobierno de Eloy Alfaro, a través de las diligencias del doctor Felicísimo López López. Fue instalado en el Hospital San Juan de Dios.

Unos años después, en 1920, el Doctor Luis Romo Rosales, después de su llegada de París; cuenta con los mejores equipos de la época y se convierte en el pionero de la radiología diagnóstica. Durante el año de 1928 la maternidad de Guayaquil llegó a tener un departamento especializado para radiología; y fue el mismo que estuvo a cargo del Dr. Juan Verdesoto Beltrán. A partir de todas estas modificaciones y nuevos avances, las necesidades de radiodiagnóstico se intensificaban en 1938 a cargo de los doctores Julio Mata Martínez y Jorge Illingworth que por importan equipos de París para atender las necesidades en esta especialidad.

preparación para la apertura del primer curso de Postgrado en RADIO-DIAGNÓSTICO que inició sus actividades en 1974 (7). En ese mismo año se comienzan los primeros cursos post-gradado en la especialidad de Radiología y el Doctor Páez obtuvo su título en el año de 1976 como especialista Radiodiagnóstico.

Conocer de estos primeros pasos de los rayos en Ecuador sirve para reconocer la labor de los que se consideran hoy como los pilares fundamentales de la radiología en Ecuador, que fueron los Doctores; Victor Pacheco, Leonardo Malo, Cristóbal Armas, Hugo Salazar, Atilio Cevallos, Vargas Pasos y Germán Abdo Touma; éste último en 1985 compartía sus conocimientos adquiridos a postgradistas de la especialidad de Radiología en la Universidad Central del Ecuador con la participación de 9 médicos que deseaban ejercer esta especialidad, obteniendo su grado en 1988. En aquel tiempo, el postgrado se abría cada 3 años.

En el Ecuador las primeras imágenes realizadas en Resonancia Magnética (IRM) fueron hechas en el Hospital Metropolitano en Quito por el año de 1995 porque en el hospital se pudo adquirir el equipo para resonancia, siendo el primer centro de salud en cumplir con esta posibilidad. Mientras que, en la ciudad de Cuenca el primer centro en adquirir este tipo de equipos fue el Instituto de Diagnóstico por Imágenes (IDI) en el año de 1998, adquiriendo un equipo de 0.2 Teslas de campo abierto Resistivo (3).

Existen únicamente tres universidades en el Ecuador que ofrecen la especialidad de estudio de Radiología, dos de ellas la universidad San Francisco de Quito y la Universidad Central del Ecuador las dos establecidas en la capital y la tercera es la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la ciudad que lleva el nombre de la universidad. Para las rotaciones del postgrado se incluyen los siguientes hospitales: Hospital Isidro Ayora, Hospital Baca Ortiz: Quito, Clínica Pichincha: Quito, Clínica Harvard: Quito, Hospital Militar Quito, Hospital Eugenio Espejo: Quito, Hospital De los Valles: Quito, Hospital San Bartolo: Quito, Hospital Ignacio Montero de Loja (8).

En el Ecuador existe el reglamento de seguridad radiológica decretada el 8 de marzo de 1979, el cual regula hasta la actualidad el control y uso de los equipos y radiaciones ionizantes (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2008). En el campo de los equipos médicos todo lo que concierne al área de imagen tiene mucha demanda dentro del mercado ecuatoriano y es fundamental para los radiólogos. En cualquier clínica u hospital se necesita tomar rayos x para poder determinar el estado en el que se encuentra los huesos de los pacientes u órganos vitales como el cerebro. La demanda de imágenes radiológicas es variable dependiendo del lugar donde se las realiza diariamente el número diario de radiografías hechas en el año de 2014 es más en el sector público.(Ordóñez Ruiz & Ponce Dahik, 2014)

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO II TÉCNICAS DE IMAGENOLOGÍA



Hoy en día, la imagenología constituye una especialización dentro del campo de la medicina, la enfermería y demás disciplinas de la salud, la cual recoge y sistematiza todo el saber teórico y práctico relacionado con el uso de las técnicas que permiten el examen visual directo de las partes del cuerpo humano, para perfeccionar, hasta el punto de “revolucionar”, los diagnósticos y amplificar al máximo las posibilidades de intervenciones quirúrgicas con muchos menos riesgos y mayor seguridad en la actividad de los profesionales de la salud.

Así mismo, la imagenología es un área de constantes innovaciones tecnológicas que diversifican y profundizan el conocimiento directo de las estructuras corporales y orgánicas, para mejorar significativamente las actividades médicas.

Con el descubrimiento de los rayos X, a finales del siglo XIX e inicios del XX, se inicia un nuevo paradigma para el análisis de las estructuras internas del cuerpo. Pero allí no paró el impulso a la innovación y los desarrollos para obtener mayor eficacia y seguridad en las técnicas de examen del cuerpo. En la segunda mitad del siglo XX, llegó otra gran ola de innovaciones que permitieron esta vez el estudio y análisis en tres dimensiones del cuerpo humano gracias a la tomografía computarizada y la resonancia magnética. Esto, junto a las angiografías, que superó la limitación relacionada con la observación de las partes blandas del cuerpo y los vasos sanguíneos, forman un amplio grupo de innovaciones tecnológicas que tienen un gran impacto en las tareas médicas de diagnóstico y orientación en las intervenciones y tratamientos. Puede afirmarse entonces que la imagenología médica es una de las aplicaciones más importantes del procesamiento y visualización de imágenes en realidad virtual.

En la actualidad, existe una diversidad de métodos de diagnóstico por la imagen que se han hecho fundamentales para la clínica. Tenemos, en primer lugar histórico y de uso, la radiografía simple. Seguidamente, tenemos la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM).

La angiografía realizada con TC (denominada angiografía por tomografía computarizada, ATC) y con RM (denominada angiografía por RM o angiorresonancia, ARM) han suplantado a la mayoría de los estudios diagnósticos invasivos del tórax, con excepción de la angiografía coronaria. La angiografía pulmonar diagnóstica se reserva actualmente para la evaluación de émbolos pulmonares en los raros casos en los que la ATC no ha sido diagnóstica.

La radiografía es una técnica que pronto mostró sus posibilidades inmediatas de uso, incluso en el tratamiento de los heridos de las grandes guerras europeas. Fue objeto de muchos desarrollos e innovaciones hasta el día de hoy. Sigue siendo la forma más expedita y directa de observar las fracturas de hueso para poder evaluar las acciones más adecuadas, también en lesiones de las articulaciones y la espalda.

Pronto los médicos mejoraron su uso mediante la toma de por lo menos dos imágenes en distintos ángulos, para poder determinar los problemas es alrededor de una articulación (rodilla, codo o muñeca), caso en los cuales puede ser útil tomar hasta tres imágenes. La cirugía ortopédica también se vio significativamente beneficiada por las radiografías pues brindan una guía importante, especialmente en casos como de tratamiento de las lesiones deportivas. Otro logro de la radiografía fue el de poder descubrir formas avanzadas de cáncer en los huesos. La detección temprana de esa terrible enfermedad se hace con otros métodos.

La tomografía axial computarizada constituye un avance fundamental en el campo de la imagenología. Mediante este nuevo conjunto de técnicas se puede realizar una reconstrucción de un plano tomográfico, de varias dimensiones, del cuerpo (o cualquier objeto), con la ayuda de un computador. Los programas informáticos reemplazan hasta cierto punto las placas fotográficas propias de la radiografía, pues el haz de rayos X que atraviesan el cuerpo del paciente, son recibidos por

los sensores de la computadora y procesados, para así poder obtener imágenes en tres dimensiones, con lo cual puede determinarse el largo, el grueso y el ancho de los objetos que están dentro del cuerpo (órganos, tumores, etc.). Básicamente, desde el punto de vista instrumental, un tomógrafo computarizado es un aparato de Rayos X en el cual la placa radiográfica ha sido sustituida por detectores. El tubo gira alrededor del paciente y los detectores situados en el lado opuesto, recogen la radiación que atraviesa al paciente.

El ordenador analiza la señal que le llega del receptor, reconstruye la imagen y la muestra en un monitor de televisión. La reconstrucción del corte anatómico estudiado se realiza mediante ecuaciones matemáticas adaptadas al ordenador denominados algoritmos, que indican las operaciones que en fracciones de segundo realiza la computadora para lograr el resultado deseado. Posteriormente, la imagen puede ser fotografiada para su análisis detallado. Los datos recogidos por los detectores se envían a un ordenador que integra y reconstruye la información obtenida y la presenta como una imagen morfológica en el monitor de televisión.

La Tomografía computadorizada (TC) se le llama también Tomografía Axial Computarizada (TAC), dado que el plano de la imagen es paralelo al eje longitudinal del cuerpo y se obtiene cortes sagitales y coronales del paciente.

Otra denominación es Tomografía Transaxial o Tomografía Transversa Computerizada (TTC) ya que la imagen es perpendicular al eje longitudinal del cuerpo. También se le llama Tomografía computadorizada de reconstrucción (TCR), Tomografía Axial Digital (TAD), o Escáner, **pues se** basa en el principio de “scan” (en inglés) o barrido exploratorio de un objeto. A los scanner capaces de practicar tomografías de cualquier parte del cuerpo se les llama scanner de cuerpo entero (body scanner), para diferenciarlo de los que tienen aplicación cerebral (body scanner). Las denominaciones también dependen del país, porque, por

ejemplo, en Francia se denomina Tomodensitometría (medida de las densidades de los cortes). Algunos autores proponen que el nombre más apropiado es el de Tomografía computadorizada o TC, ya que el término axial debe suprimirse.

Las imágenes de las TC no se almacenan de modo convencional, en películas o tubos intensificadores, sino que, en todo caso, pueden archivararse como entidades electrónicas, que pueden ser objeto además de manipulación en aras de hacer nuevos descubrimientos. En poco tiempo, se han producido nuevos desarrollos e innovaciones hasta llegar a los actuales aparatos de TAC helicoidal y multicorte que han abierto nuevo campos de exploración en el diagnóstico por imagen. Y las innovaciones tecnológicas, como se sabe, no paran.

Uno de los logros técnicos en la observación de las imágenes, gracias a la TC, inimaginable hace algunos años, es la presentación en pantalla de imágenes de forma continua, lo cual produce un efecto similar al del cine, donde se logra mostrar el movimiento por el efecto de la sucesión rápida de imágenes fijas. Esto posibilita explorar las diversas estructuras anatómicas, incluso las de formas tubulares, como las del tubo digestivo.

Ahora bien, los avances en las técnicas de imagenología no han parado. La resonancia magnética se propone como una nueva tecnología innovadora que da un gran paso adelante en las posibilidades de diagnóstico y guiatura de los tratamientos. La Imagen por Resonancia Magnética (IRM) es una tecnología de imágenes no invasiva que produce imágenes anatómicas tridimensionales detalladas, sin el uso de la radiación dañina. Hoy en día, se usa con frecuencia para detectar enfermedades, realizar diagnósticos y hacer el monitoreo de los tratamientos.

Explicar en detalle los principios físicos en los que se fundamenta esta tecnología de la resonancia magnética, nos alejaría mucho del tema

rayos X que pueden ser dañinas, tanto para los pacientes, como para los operadores, lo cual implica medidas extras de seguridad que con la RM no son necesarias. La IRM brinda imágenes mucho más claras y adecuadas que las que puede ofrecer las radiografías, para los diagnósticos y el análisis de los tejidos del cerebro, la médula espinal y los nervios. Igualmente, la IRM consigue la observación mucho más clara de músculos, ligamentos y tendones. Por esta razón, la IRM se utiliza con frecuencia para obtener imágenes de lesiones de rodilla y de hombro.

Mediante las imágenes del cerebro logradas por la IRM se pueden distinguir la materia blanca y la materia gris, lo cual es muy útil para diagnosticar aneurismas y tumores. La IRM es la técnica de imágenes más inocua, pues no usa radiaciones X, lo cual constituye una ventaja cuando se requieren imágenes frecuentes para el diagnóstico o la terapia, especialmente en el cerebro. Sin embargo, la IRM es más costosa que las imágenes de rayos X o de escaneo por TC.

Incluso, las IRM han permitido avances significativos en áreas de estudios de avanzada como es el análisis de las estructuras y funcionamiento del cerebro, mediante una variedad de técnicas denominadas Imagen por Resonancia Magnética funcional (IRMf). Esta técnica puede llegar a determinar qué áreas del cerebro se “activan” (consumen más oxígeno) durante varias tareas cognitivas. Se utiliza para fomentar el entendimiento de la organización del cerebro y ofrece un nuevo estándar potencial para evaluar el estado neurológico y el riesgo neuroquirúrgico.

No es exacto afirmar que con las IMRM no hay riesgos, por supuesto que los hay, aunque no los que implican los rayos X. Aunque la IRM no emite la radiación ionizante dañina que se encuentra en las técnicas de imágenes de rayos X y de TC, sí emplea un potente campo magnético. Este se expande más allá de las instalaciones instrumentales y ejerce fuerzas muy poderosas sobre objetos de hierro, algunos aceros y otros



- Existen algunos riesgos para la gestación y el desarrollo de los fetos en el caso de mujeres con embarazo. Por ello, se recomienda evitar los escaneos de IRM como precaución, especialmente en el primer trimestre del embarazo cuando los órganos del feto se están formando y los medios de contraste, si se usan, podrían entrar en el flujo sanguíneo fetal.
- Otra circunstancia que hay que prevenir es la presentación de casos de claustrofobia, trastorno psíquico que afecta a las personas a quienes les puede resultar intolerables los largos períodos de escaneo dentro de la máquina.

La familiarización con la máquina y el proceso, así como las técnicas de visualización, sedación y anestesia, proporcionan a los pacientes mecanismos para superar su malestar. Mecanismos adicionales de adaptación incluyen escuchar música o ver un video o película, cerrar o cubrirse los ojos, y sostener un botón de pánico.

Para evitar los ataques de pánico que pueden sobrevenir en personas con claustrofobia, se ha desarrollado una instalación de IRM que está abierta por los lados, y no un tubo cerrado en un extremo, por lo que no rodea completamente al paciente. Esta máquina de nuevo diseño tiende a evitar las reacciones nerviosas de los pacientes que se sienten incómodos con el túnel estrecho y los ruidos de la IRM tradicional, y para pacientes cuyo tamaño o peso hacen que la IRM tradicional sea impráctica. La novedosa tecnología de IRM abierta proporciona imágenes de alta calidad para muchos, aunque no para todos los tipos de exámenes.

Otra técnica de imágenes desarrollada para la observación y análisis de los vasos sanguíneos y las zonas de tejido blando del cuerpo, es la angiografía. La angiografía es una prueba radiográfica que utiliza un tinte y una cámara para obtener imágenes de flujo de sangre en una arteria o en una vena. La angiografía puede usarse para observar las arterias o las venas de la cabeza, los brazos, las piernas, el pecho, la

también orientar el tratamiento.

- Mostrar el estado, la cantidad y la ubicación de las arterias renales antes de un trasplante de riñón.
- Buscar el origen de un sangrado, como en una úlcera.
- Prepararse para una cirugía de los vasos sanguíneos enfermos de las piernas (enfermedad arterial periférica) en personas que tienen dolor de piernas al caminar.
- Verificar la gravedad de la arteriosclerosis presente en las arterias coronarias.

De esta manera, se confirma que la imagenología ha hecho aportes significativos en el diagnóstico preciso de las enfermedades, gracias a una variedad de técnicas y procedimientos con las cuales las ciencias de la salud tiene un importante aliado para lograr el bienestar de los pacientes.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO III

CUIDADOS GENERALES EN
LAS DIFERENTES
TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO POR
IMAGEN



Los cuidados generales a los pacientes que van a realizarse estudios para el diagnóstico con imágenes, utilizando las diferentes técnicas, corresponden a sus necesidades, que dependen a su vez del tipo de exploración, las características particulares de cada paciente y las variadas patologías, en los momentos anteriores, posteriores o durante a las sesiones de radiodiagnóstico. En este contexto se comprende la relevancia que adquieren los cuidados enfermeros.

La práctica de Enfermería consiste en facilitar un cuidado que pasa por la reflexión, la integración de creencias y valores, el análisis crítico, la aplicación de conocimientos, el juicio clínico, la organización de los recursos y la evaluación de la calidad de las intervenciones.

Mientras el personal técnico especializado se concentra en el manejo de los instrumentos, la función específica de la Enfermería es el cuidado integral a la persona que accede a estos servicios, con una importante función de apoyo, que es, tanto estrictamente corporal, como psicológico, dirigido al paciente al igual que a sus familiares y acompañantes. Las pruebas en radiología convencional, como en las otras técnicas, son cada vez más frecuentes en la actividad médica, para conseguir mayor precisión en los diagnósticos y guiar con mayor seguridad y exactitud los tratamientos y hasta intervenciones quirúrgicas. En todas esas actividades, las funciones de cuidado, a cargo del personal enfermero es clave para evitar tratamientos más cruentos y de más riesgos para el paciente (9).

Se convierte en una necesidad la formación y actualización continua de los profesionales de Enfermería que trabajan en el servicio de Radiología, para lograr acompañarlo con la continua innovación y el avance acelerado de nuevas tecnologías, con sus correspondientes procedimientos, y la progresiva implantación de nuevos estudios invasivos radiológicos. La cuestión entonces es lograr que los profesionales de la salud actúen disponiendo de conocimiento al día acerca de los más recientes procedimientos y guías. En esto de la formación y actualiza-

ción especializada, juega un papel destacado que les permita actuar efectivamente en cualquier nueva técnica, o actualizar las ya existentes, para cubrir las necesidades de los pacientes con una mayor calidad.

La atención integral de enfermería en los servicios de radiología se hace presente en tres momentos especiales:

Antes de la prueba. El profesional enfermero debe revisar atentamente el historial del paciente, para conocer sus patologías médicas y las prescripciones habituales de medicación. Además, debe estar suficientemente informado acerca de las incidencias que hayan ocurrido en las pruebas anteriores. Es de gran interés tomar en cuenta las recomendaciones de preparación adecuada para el mejor desarrollo de los exámenes. Estar pendiente, por ser necesario, de suspender algunas medicaciones y sustitución por otras, así como de la información completa de la exploración.

- **Durante la prueba.** El personal enfermero debe estar pendiente de todos los datos obtenidos en la consulta, porque ellos se tendrán que considerar en el mejor control de las necesidades del paciente.
- **Después de la prueba:** El personal enfermero tiene a su cargo el seguimiento del paciente posterior al estudio radiológico, sea en el domicilio de la persona atendida, sea en las instalaciones del mismo hospital, en coordinación con su enfermera de Atención Primaria. Este control es fundamental para constatar la eficacia del estudio y de los resultados obtenidos, cuidar que no haya efectos secundarios o posibles molestias y facilitar las recomendaciones que fuesen pertinentes trasmitir.

Por otra parte, en general, los profesionales de Enfermería que trabajan en un área de radiología son los responsables de proporcionar una variedad de cuidados especializados de acuerdo a la situación de cada paciente. La atención de un paciente proveniente de Urgencias,

es muy distinta a uno que viene de hospitalización o al que acude de manera ambulatoria, pretendemos proporcionar una asistencia personalizada. Igualmente hay que distinguir los pacientes que vienen con enfermedades agudas y/o crónicas. El profesional de la salud debe considerar las circunstancias de cada paciente y sus entornos sociales, familiares o individuales. De hecho, todas esas condiciones son únicas. La función de los cuidados debe estar centrada en las peculiaridades de cada paciente. La interacción Enfermera-paciente es de los aspectos más sensibles del cuidado, que llegan a ser determinantes para la percepción positiva o negativa de la atención de Enfermería a los pacientes (10).

Una de las principales funciones del personal de Enfermería en Radiología es identificar al paciente y la determinación de los motivos por lo que cuales acude al servicio. Esto es sumamente útil para brindar un cuidado individualizado. Mediante esta tarea se posibilita la valoración más precisa de las necesidades del paciente, con el fin de realizar con más detalle la historia clínica con los antecedentes de enfermedades, que comprende también el historial alérgico y demás datos necesarios para la realización de las pruebas radiológicas, de TC o IRM.

El personal enfermero también debe brindar apoyo psicológico y emocional a los pacientes. Para ello, hay que tener muy presente que la Enfermería en el servicio de Radiología es el eslabón entre el paciente, la familia y el mundo que hay detrás de las puertas de las salas de radiología.

En ese contexto, la confianza es importante, las personas enfermas necesitan empatía, apoyo y reafirmación, todos hechos importantes en una relación terapéutica. Una buena formación de la Enfermería puede lograr que las relaciones entre el equipo, los pacientes y la familia sean de grata colaboración y fluida comunicación. El diálogo, por supuesto, implica deberes y responsabilidades por ambas partes. Una relación exitosa depende de la capacidad de comunicación y de sensibilidad del personal de Enfermería a las necesidades de los pacientes.

El cultivo de esa confianza mutua comienza para el personal de Enfermería por la identificación del paciente, por su nombre. Seguidamente, el profesional lo acomoda, se interesa por él, le aclara las dudas y, de esta manera, le transmite seguridad. Es muy importante este apoyo emocional basado en información clara y comprensión ante las posibles aprensiones del paciente, para tranquilizarlo reduciendo su temor ante el procedimiento.

El apoyo emocional, fundado en la confianza, es esencial para atender a muchos pacientes sufren de claustrofobia, y este es un importante impedimento a la hora de realizarle un estudio de Resonancia Magnética, RM. La literatura científica recoge abundantes situaciones donde se demuestra que la actuación del personal de Enfermería adecuado hace disminuir la incidencia de claustrofobia, gracias a la instrucción en técnicas de relajación, lo cual evita la necesidad del uso de la sedación o anestesia, lo cual repercute en el coste de la prueba. También previene los posibles efectos adversos y riesgos que supone someterse a un estudio anestésico (11).

Para afrontar situaciones de claustrofobia de los pacientes sometidos a IRM o TC, se ha utilizado el método de evitar la sensación de espacio cerrado mediante el uso de unas gafas prismáticas. Estas gafas constan de diferentes espejos que realizan una refracción de la luz con un ángulo de 90°, permitiendo observar el exterior de la máquina, por lo tanto impiden la observación del interior de la máquina y el paciente no tiene la sensación de permanecer en un sitio cerrado (12).

En términos generales, el personal de enfermería debe atender situaciones de ansiedad del paciente, tanto por la prueba, el despliegue tecnológico que produce aprensiones en algunas personas, como por los resultados posibles, que implican el diagnóstico de su patología y las señales de una posible patología anterior. Además, hay que resolver la falta de información y aclarar las dudas, muchas veces derivadas de fuentes inapropiadas, ajenas al personal sanitario, como son

las páginas de información general de Internet, sus compañeros de habitación, amigos, familiares, etc.

Puntualizando, el personal enfermero se ocupa de las siguientes tareas:

- La preparación del paciente.
- La realización segura y eficaz de la técnica prescrita.
- La esterilización en la sala y material si se necesita para el procedimiento.
- Atender la compresión hemostática si ha habido cateterismo.
- Hacer las recomendaciones pertinentes al paciente para las 24 horas siguientes.

El personal de Enfermería debe cuidar que el paciente haya leído y comprendido la técnica y riesgos de la prueba y firme su consentimiento de manera voluntaria, en la circunstancia de las pruebas radiológicas en las que se usa contraste. En caso de que el paciente no esté en condiciones para ello, será el familiar responsable el que lo haga.

Lograr la cooperación del paciente es primordial, tanto durante la exploración como en las 24 horas posteriores. Para ello, hay que conseguir su confianza y hacerlo saber el personal de Enfermería está allí para cuidarle, y, para que ello sea eficaz, el paciente debe comunicar cualquier sensación que pueda ayudar al mejor desarrollo del procedimiento. En esto también es fundamental, desde el principio, crear un clima de confianza.

Los cuidados enfermeros comienzan con la identificación del paciente y la revisión de las medidas de seguridad correspondientes. Si la prueba consista se trata de una Resonancia Magnética (RM), el personal debe comprobar que el paciente no porta marcapasos ni ningún otro objeto metálico, tales como horquillas, pendientes o relojes. Además, se procederá a indagar si el sujeto tiene alguna prótesis de titanio que

pueda afectarlo durante la prueba, o incluso causar algún daño al propio imán de la RM.

Es fundamental que el personal de Enfermería del servicio de Radiodiagnóstico conozca perfectamente los cuidados que requieren los pacientes a quienes se les indicó el uso de las Unidades de Imagen para el Diagnóstico. Hay que tomar muy en serio los riesgos que implica la utilización de estas técnicas que pueden implicar riesgo y malestar para el paciente, lo que requiere experiencia y habilidad técnica para la realización de la prueba de manera segura. El personal de Enfermería del servicio de Radiología será el encargado de la preparación del instrumental, el equipo, material y medicación necesaria para la prueba antes de que el paciente se encuentre en la sala de radiología vascular, siguiendo un protocolo estricto de asepsia.

Es muy importante la colocación adecuada de los sueros, el bisturí, las gasas y compresas, el yodo, la jeringa con anestésico, el inyector con el medio de contraste y los catéteres de distinto tamaño (dependiendo del estudio a realizar). Asimismo, es de gran utilidad la preparación del aspirador, del equipo de reanimación y de la de medicación por reacción alérgica al medio de contraste (o cualquier otra medicación que se considere necesaria).

El personal de Enfermería a la llegada del paciente verificará su identificación, comprobará si tiene antecedentes de alergias conocidas y evaluará el estado de éste. Si no tiene ninguna limitación en comprensión y capacidad de toma de decisiones, le informará sobre los contrastes yodados y sus riesgos, para que el paciente firme el consentimiento para la administración del contraste y verificará, así mismo, que el consentimiento para la prueba diagnóstica también esté firmado. Si el paciente no estuviese capacitado, hablará con el familiar responsable, para que éste firme dichos consentimientos.

El personal de Enfermería ayudará a colocar al paciente en la posición adecuada sobre la mesa de exploraciones, y procurará dar todo el apoyo psicológico al paciente.

Las recomendaciones generales para la realización de una radiografía, coinciden con las que se hacen para realizar una TC, a saber:

- El día del estudio se requiere una adecuada higiene corporal
- Presentación de la orden y la autorización vigente para el estudio y resultados paraclínicos que apliquen.
- Los pacientes con limitación de movilidad o mayores de 60 años y/o con déficit neurológico requieren acompañamiento adulto.
- Los pacientes con antecedentes alérgicos deberán informar al personal asistencial del servicio previo al procedimiento.
- Ahora bien, para las radiografías de abdomen simple, con fines de diagnóstico de posibles patologías del colon, los requerimientos son los siguientes:
- Dos días antes del examen: una dieta baja en fibras (sin residuos): vegetales, frutas. Puede consumir sopas, pollo o pescado asado o sudado, papa cocida. Evitar carnes rojas, arroz y los granos (frijol, lentejas, etc.)
- El día anterior al examen el paciente solo podrá cumplir con una dieta líquida sin residuos sólidos, ni semillas de fruta, puede consumir té, jugos con agua, sopas o consomé colados.
- Colocación a las 7 am de un edema de monofosfato de fosfato de sodio rectal y retenerlo por 15 minutos y luego evacuar.
- Ayuno de 8 horas.

Hay que tomar en cuenta que el paciente de colon solo estará listo para el examen de Rayos X cuando su evacuación adquiera un color amarillo y/o claro como la orina. No debe hacerse el examen mientras las evacuaciones sean oscuras y turbias, de color castaño, naranja oscuro o naranja pálido.

Otra es la situación de aplicación de rayos X de esófago, estómago y duodeno. Entonces, se requiere un ayuno de 6 horas.

En cuanto a la Histerosalpingografía (HSG) se realiza para evaluar la forma del útero y verificar si las trompas de Falopio están abiertas. Se la utiliza para investigar abortos espontáneos debidos a problemas del útero. Para realizar este procedimiento, la paciente debe estar entre el quinto y el séptimo día del ciclo menstrual. Además, ya no debe tener sangrado. Como requisito indispensable, debe mostrar el resultado de una prueba de embarazo hecho en un tiempo no superior a dos días. Además, debe abstenerse de tener relaciones sexuales dos días antes del estudio. Otros requisitos se refieren al necesario rasurado de la zona genital y tener dispuestas dos toallas sanitarias.

Otro análisis que se hace con rayos X, es la Uretrosistografía. Ella se realiza para estudiar las características anatómicas y funcionales de la vejiga y la uretra, conducto que comunica a la vejiga con el exterior. Cuando se le realiza a los niños, sirve para analizar infecciones o incontinencia urinaria.

Un requisito para realizar la uretrocistografía es disponer y revisar el resultado del parcial de orina, así como asegurar que le usuario disponga de seis horas para el proceso. Lo mismo se solicita para una variedad de este mismo procedimiento que es la uretrocistografía miccional (sistouretrografía miccional).

Por otra parte, para la realización de una TC (13), aparte de las indicaciones del medico tratante, los centros asistenciales que suelen brindar este servicio suelen solicitar que, los estudios que requieren ayuno, deben ser programados a primera hora de la jornada en el caso de los pacientes diabéticos y en personas mayores de 70 años.

La primera obligación es realizar una adecuada higiene corporal. Se debe presentar la orden y autorización vigente para el estudio, y resul-

tados de paraclínicos que apliquen. Los pacientes con limitación en la movilidad, mayores de 60 años y/o con déficit neurológico deben venir con acompañante adulto. Además, las personas a ser sometidas al examen que tengan antecedentes de alergias deberán informar al personal asistencial del servicio, previo al procedimiento.

Estos requerimientos son similares en todas las clases de TC, que incluyen el de abdomen superior con contraste, de abdomen y pelvis (Abdomen Total) con contraste, de articulación temporo mandibular con contraste, de columna (Cervical, dorsal, torácica, lumbosacra o lumbar). Igualmente, para lo TC utilizando medios de contraste, tales como los TC de cráneo contrastado, de cráneo simple, de cuello (Tejidos blandos) con contraste, de miembros inferiores y articulaciones con contraste, de miembros superiores y articulaciones con contraste, de orbitas con contraste, de pelvis con contraste, de peñasco y conducto auditivo interno con contraste, de senos paranasales o cara (Cortes axiales y coronales) con contraste, de silla turca o hipófisis con contraste, osteoarticular de miembro inferior contrastado, osteoarticular de miembro superior contrastado.

Hay algunas TC que tienen indicaciones diferenciales. Ellas requieren un ayuno de seis horas, la presentación del reporte de creatinina hasta 1,3 mg/dl, de un mes o menos de elaborado. Esto se aplica a las TC siguientes: TC de abdomen superior simple, de abdomen y pelvis (Abdomen total) simple, de articulación temporo mandibular simple, de columna (Cervical, dorsal, torácica, lumbosacra o lumbar) de tres espacios simple, de cráneo simple, de cuello (Tejidos blandos) simple, de miembros inferiores y articulaciones simple, de miembros superiores y articulaciones simple, de orbitas simple, de pelvis simple, de peñasco y conducto auditivo interno simple, de senos paranasales o cara (Cortes axiales y coronales) simple, de silla turca o hipófisis simple, osteoarticular de miembro inferior simple y osteoarticular de miembro superior simple.

Entre las enfermedades del ID que se consideren en estas indicaciones, se cuentan las siguientes:

- Enfermedad Inflamatoria Intestinal (Colitis ulcerosa, Enfermedad de Crohn).
- Hemorragia digestiva oculta en ID.
- Obstrucción intestinal por cirugía.
- Tumores de ID.
- Enfermedad celíaca.

Para la realización de este tipo de estudios, no es necesaria la preparación del paciente, más allá de las recomendaciones generales. Ni tampoco se precisa ingreso hospitalario. Si se solicita hacer una dieta líquida sin residuo 24 horas antes del día de la prueba. En la mañana del día de la exploración, el paciente mantendrá ayunas de 6 horas. Así mismo, se deberá cuidar de una higiene corporal completa y conseguir el consentimiento informado, cumplimentado y firmado por el paciente y facultativo que solicita la prueba diagnóstica.

Así mismo, es necesario comprobar historial de alergias medicamentosas. Si se tiene sospecha de alergia al contraste yodado, se deben seguir las recomendaciones correspondientes. En caso de pacientes diabéticos, si procede, comprobar la aplicación del protocolo correspondiente. También hay que revisar la analítica previa los niveles de creatinina en sangre. También hay protocolos de cada centro asistenciales para los pacientes con alto riesgo de presentar nefropatía inducida por contraste.

Puntualizando, podemos resumir las actividades de enfermería relacionadas con las actividades de radiología diagnóstica, en las siguientes tareas:

- Recepción del paciente y comprobación de su correcta identificación.
- Valorar el estado general del paciente, procediendo a informarle sobre la prueba diagnóstica a realizar, así como cuidados y



- Vigilar síntomas de reacciones adversas al contraste tardías (disnea, erupción cutánea, etc) durante 10 minutos.
- El paciente puede volver a su domicilio.

El personal de enfermería debe estar pendiente de informar y reiterar las recomendaciones para los pacientes en su casa. Ellas son:

- Ingesta de agua abundante para forzar la eliminación del contraste yodado por la orina.
- El contraste oral no será absorbido por el cuerpo y será excretado por heces, por lo que experimentará una consistencia blanda de las mismas durante varias horas. Así mismo puede causar diarrea, náuseas o calambres abdominales. Si estos síntomas empeoran o no desaparecen en un periodo de tiempo corto, debe consultar con su médico de cabecera.

Todos los estudios que usan rayos X implica la producción y la emisión de una energía capaz de ionizar los átomos de los tejidos. Esto puede tener graves consecuencias para la salud de los individuos. Por ello, son necesarias algunas medidas específicas para reducir al mínimo los riesgos que ello implica a los pacientes, evitando cualquier exposición a la radiación que no sea imprescindible para obtener las imágenes que se necesitan para realizar el diagnóstico.

Siempre el operador del equipo de rayos X controla la producción y emisión del haz de radiación que está dirigido al paciente en estudio. Este técnico es el responsable de ajustar las características del haz de rayos X para optimizar, buscando un adecuado equilibrio entre la calidad de imagen y la exposición del paciente. Este balance se logra controlando dos variables claves: la tensión eléctrica (o diferencia de potencial) aplicada al tubo de rayos X, que se expresa en kilovoltios (kV), y el de la carga del mismo (también llamada “producto de la intensidad de corriente por el tiempo de exposición”), que se expresa en mA. La optimización del proceso se basa en gran medida en el adecuado equilibrio entre kV y mA para cada exploración de rayos X.

Aunque hay ciertos principios comunes de protección, aplicables a todos los métodos de imagen por rayos X, gran parte de las principales cuestiones y medidas de protección dependen de los métodos y modalidades ya mencionados.

Como el ritmo de innovaciones tecnológicas se ha intensificado en los últimos años, también se ha incrementado en la misma medida el uso del diagnóstico por imágenes. Esto ha permitido alcanzar diagnósticos más rápidos y precisos, incluso si no se han presentado evidencias clínicas. El desarrollo de nuevos equipos y procedimientos, hoy en día, logra identificar incluso pequeñas alteraciones morfológicas y funcionales en segundos, con una exactitud que no se podía concebir hace algunos años. Esto ha conseguido que las enfermedades sean detectadas en sus fases más tempranas, lo cual aumenta la efectividad de los tratamientos.

También la innovación tecnológica ha permitido detectar procesos que antes eran prácticamente desconocidos, lo cual ha redundado en la mejor adecuación de los tratamientos. Esta rapidez y acierto de los diagnósticos también ha incidido en la disminución de la ocurrencia de algunas enfermedades, y en la reducción en la aparición de ciertas complicaciones en el curso de muchas otras. Incluso, se estima que aumenten las aplicaciones de la radiación con fines médicos, así como las dosis resultantes, a consecuencia del cambio de los hábitos de atención médica propiciado por los adelantos de la tecnología y el desarrollo económico.

Consecuencia inevitable de este aumento en el uso de los equipos imagenólogos, es el riesgo del incremento del riesgo de la exposición a las radiaciones. Pero si bien los riesgos radiológicos han aumentado, esto se compensa con la mejora en la calidad de vida a causa de los avances de la medicina, tanto en el diagnóstico como en los tratamientos, gracias a los equipos de rayos X, la TC y la IRM. Por otra parte, los riesgos radiológicos pueden contrarrestarse con las medidas de

precaución debida, que forma parte de la práctica médica correcta. Al ajustar cuentas, los beneficios resultan ser siempre mucho más que los riesgos, si los procedimientos se ajustan estrictamente a las normas de la buena práctica médica.

Por supuesto, es imprescindible tomar todas las medidas de protección necesarias para el paciente, evitando exposiciones innecesarias, para obtener más beneficios y disminuir los riesgos. Hay una tendencia creciente en el número de prácticas de imagenología, así como la cantidad de instalaciones, por lo que la calidad de ellas es un tema fundamental en los eventos de intercambio científicos de las organizaciones internacionales dedicadas a la salud, las agrupaciones gremiales de profesionales de la salud y los organismos reguladores a nivel nacional, internacional e incluso en cada centro de atención sanitaria.

Los estudios científicos incrementan la conciencia acerca de las consecuencias del uso de la radiación, cualquiera sea su tipo o energía. Siempre existe la posibilidad de que estos rayos interactuarán con los tejidos vivos del cuerpo y se producirán efectos deletéreos que pueden ser visibles o “latentes”. Los efectos biológicos de la radiación se clasifican dos tipos:

- a. Efectos determinísticos con expresión visible temprana o tardía (eritema, quemaduras graves, cataratas, depilación, otros). La frecuencia y severidad de estos efectos crece con la dosis de radiación recibida y tienen una dosis umbral para su ocurrencia.
- b. Efectos estocásticos, somáticos o hereditarios (efectos carcinogénicos o teratogénicos) que tienen carácter probabilístico con manifestaciones en el mediano o largo plazo, luego de un período de latencia. Estos efectos no tienen un umbral de ocurrencia cuantificado y es la probabilidad de ocurrencia la que varía con la dosis.

Las precauciones en relación a las radiaciones utilizadas en los estudios de imagenología, deben extremarse cuando se trata de dos seg-

el feto, y retrasar una intervención fundamental hasta que esté más avanzado el embarazo puede hacer que aumente el riesgo tanto para el feto como para la madre.

Si no puede descartarse el embarazo, pero todavía no hay retraso de la menstruación y la técnica hace que el útero reciba una dosis relativamente baja, puede procederse a la exploración. No obstante, si la exploración exige dosis relativamente altas (en casi todos los servicios, las exploraciones habituales de esta categoría serán seguramente la TC abdominal y pélvica, el urograma excretor, la radioscopia y los estudios de MN), habrá que debatir su conveniencia, de acuerdo con las recomendaciones consensuadas en el ámbito local.

En todos los casos, si el radiólogo y el médico están de acuerdo en la justificación clínica de la irradiación de un útero grávido o potencialmente grávido, hay que dejar constancia de tal decisión. Asimismo, es fundamental el consentimiento informado de la paciente. Luego, el radiólogo debe asegurarse de que la exposición se limite al mínimo imprescindible para obtener la información que se busca.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO IV RADIOGRAFÍA



Historia

Se puede afirmar que la radiografía fue la primera técnica para producir imágenes de las estructuras internas del cuerpo con fines de realizar un diagnóstico más preciso acerca del malestar o patología que presenta un paciente.

La historia de esta importante herramienta de apoyo técnico para la profesión médica en su combate contra el dolor y la enfermedad, se confunde con el descubrimiento de los rayos X en general, que ya se ha narrado en el capítulo I. Como se sabe, fue el físico Wilhelm Konrad Roentgen quien descubrió este tipo de radiaciones experimentando con varios tipos de tubos catódicos, sorprendiéndose él mismo por sus características y visualizando pronto sus múltiples aplicaciones, especialmente relacionadas con la medicina. Hay que tomar en cuenta que para el momento de hacer este hallazgo, la física como disciplina sufría muchos estremecimientos en sus concepciones clásicas, derivadas de la mecánica de Newton, con el estudio de otros fenómenos vinculados entre sí como el efecto fotoeléctrico y el mismo estudio de las características de la luz y sus relaciones con las estructuras profundas del átomo. Este descubrimiento de Roentgen no encajaba con las ideas aceptadas en su tiempo acerca de las ondas electromagnéticas, y de hecho la física tuvo que esperar las investigaciones de otros científicos para poder determinar una explicación completa del fenómeno, con las herramientas de la física cuántica.

Roentgen expuso, en sus publicaciones acerca de sus experimentos, que los rayos X se originan en la pared de vidrio cuando los rayos catódicos lo golpean, que viajan en línea recta desde su fuente original y que oscurecen una placa fotográfica, después de atravesar, de varias maneras, sustancias tales como el papel, la madera, el aluminio el platino y el plomo. Incluso Roentgen hizo lo que puede considerarse las primeras radiografías, al exhibir unas fotografías en las que se podían apreciar las sombras de los huesos de la mano. Anotó también el científico que los rayos recién descubiertos, no eran desviados por campos

magnéticos, ni mostraban fenómenos de reflexión, refracción o interferencia medidos por aparatos ópticos ordinarios. También observó que, a su paso, el haz de radiación cargaba electrónicamente a los gases que atravesaba, ionizando las partículas, como si dividiera las moléculas. Estas propiedades misteriosas lo llevaron a bautizar esas radiaciones como rayos X (15).

Aunque las versiones de la narración del descubrimiento de Roentgen difieren en detalles, siempre en ella figuran los elementos fundamentales: el tubo catódico de Crookes, cartón negro y pantalla de platino y cianuro de bario.

Generalidades

Actualmente hay un consenso en cuanto a que la radiografía es la mejor forma de observar y evaluar médicamente las fracturas de huesos, sí como las lesiones de las articulaciones y la espalda. Con estos fines, es necesario tomar al menos dos imágenes desde diferentes ángulos. También se considera que si el problema que presenta el paciente tiene que ver con una articulación (rodilla, codo o muñeca), es conveniente tomar hasta tres imágenes.

Pero las radiografías son igualmente una orientación fundamental para la cirugía ortopédica y el tratamiento de las lesiones deportivas. También con esta herramienta se pueden descubrir formas avanzadas de cáncer en los huesos. Por otra parte, para detectar de forma temprana el cáncer son convenientes otros procedimientos (16).

Hoy en día, hay muchos tipos de radiografías, como se muestra en la Tabla.



Tabla 1. Tipos de radiografías.

TIPOS DE RADIOGRAFIAS
<p>Radiografía de Hombro de frente en antero-posterior. Radiografía de Omoplato de frente. Radiografía de Omoplato lateral. Radiografía de Brazo de frente. Radiografía de Brazo lateral. Radiografía de Codo de frente. Radiografía de Codo lateral. Radiografía de Antebrazo de frente y de frente en pronación. Radiografía de Antebrazo lateral. Radiografía de Muñeca de frente. Radiografía de Muñeca lateral interna. Radiografía de Escafoide (Schreck I). Radiografía de Articulación Trapezo-Metacarpiana. Radiografía de Mano de frente. Radiografía Mano oblicua. Radiografía de Dedo de frente. Radiografía de Dedo lateral. Radiografía de Dedo Pulgar de frente. Radiografía de Dedo Pulgar lateral. Radiografía de Pelvis de frente de pie y/o acostado. Radiografía de Cadera de frente.</p>
<p>Radiografía de Pelvis en rana. Radiografía de Fémur de frente. Radiografía de Fémur lateral. Radiografía de Rodilla de frente. Radiografía de Rodilla lateral. Radiografía Axial de Rótula 30º, 60º y 90º. Radiografía de Pierna en AP. Radiografía de Pierna lateral. Radiografía de Tobillo en AP. Radiografía de Tobillo lateral. Radiografía de Pie de frente. Radiografía de Antepié de frente. Radiografía de Pie y Antepié lateral y oblicuo. Radiografía de Calcáneo lateral. Radiografía de Columna Cervical lateral. Radiografía de Columna de frente. Radiografía de Columna Cervical oblicua. Radiografía Especial para Odontoides. Radiografía de Columna Dorsal de frente. Radiografía de Columna Dorsal lateral Radiografía de Columna Lumbar de frente. Radiografía de Columna Lumbar lateral. Radiografía de Columna oblicua. Radiografía de Dorso-Lumbar. Radiografía de Columna Lumbosacra de frente y lateral.</p>

Radiografía de Esternón oblicua.
Radiografía de Esternón lateral.
Radiografía de Costilla de frente.
Radiografía de Costillas oblicua.
Radiografía de Cráneo Antero-posterior.
Radiografía de Cráneo Postero-Anterior.
Radiografía de Cráneo lateral.
Radiografía de Cráneo Towne.
Radiografía de Cráneo Caldwell.
Radiografía de Cráneo Basal.
Radiografía Water.
Radiografía de Hueso Propio de la Nariz.
Radiografía de Arco Cigomático.
Radiografía de Mandíbula Postero-Anterior.
Radiografía de Mandíbula Lateral-Oblicua.
Radiografía de Mandíbula Sínfisis.
Radiografía de Tórax de frente en PA .
Radiografía de tórax lateral.
Radiografía de Tórax Portátil de frente en Antero-posterior.
Radiografía de Tórax de frente en Niño.
Radiografía de Abdomen Simple de frente.
Radiografía de Abdomen Simple de pie

Fuente: elaboración propia

El método más utilizado sigue siendo la radiografía simple de tórax, sumamente útiles para precisar los diagnósticos de pacientes con dolores o problemas ubicados en el tórax. Para tales fines, el profesional de la medicina debe determinar la cantidad de radiografías simples sistemáticas que pueden ser suficientes, además de hacer las indicaciones necesarias para poder implementar modificaciones en las técnicas radiográficas para poder incrementar su eficacia diagnóstica.

La descripción del proceso de la radiografía es sencilla: los fotones de los rayos X que atraviesan al paciente se transforman en luz cuando impactan en el material de la pantalla. En resumen, la radiografía de tórax tradicional utiliza un método de película y pantalla. Así, la luz generada cuando los fotones impactan en la pantalla, expone la película y genera una imagen. Últimamente se ha desarrollado la radiografía de tórax digital, como una alternativa más avanzada al método de película y pantalla. Por supuesto, la ganancia en visibilidad y poder de manipulación de la imagen para detallar todavía más las observaciones,

los diversos tipos de sistemas digitales, comparten el mismo principio de aprovechar la energía de los fotones de los rayos X para generar una señal eléctrica que a su vez se emplea para crear una imagen radiográfica. Cada uno de los sistemas digitales usa un paso intermedio diferente durante el cual los fotones de los rayos X se transforman en luz o carga eléctrica antes de que su energía pueda utilizarse para generar la señal eléctrica.

El nuevo equipamiento permite que las imágenes digitales puedan observarse, bien en un monitor, o bien impresas en una placa. Las nuevas tecnologías digitales tienen importantes ventajas sobre las imágenes creadas con la técnica de película y pantalla. Estos sistemas pueden generar una imagen interpretable a pesar de que se produzcan variaciones en la cantidad de fotones de rayos X que penetran al paciente. Esto determina la reducción del número de radiografías sobre-expuestas o subexpuestas. Otra ventaja que ofrece la tecnología digital es que las imágenes pueden transmitirse o almacenarse electrónicamente, al tiempo que ofrecen la posibilidad de poder manipularse, magnificarse, oscurecerlas, etc., con el fin de mejorar la interpretación de la imagen. Con cualquier equipamiento o tecnología utilizada, la radiografía de tórax posteroanterior (PA) con el paciente con el tórax en posición vertical de pie o sentado continúa siendo el más útil e indicado de los estudios iniciales. Con esta proyección, se evitan los artefactos asociados con la proyección anteroposterior (AP). Muchas veces también es conveniente una proyección lateral para poder identificar anomalías en los ángulos costofrénicos posteriores, en el mediastino y en áreas próximas a la columna. La utilidad de estas proyecciones tiene que ver con que estas áreas no se ven con claridad en las proyecciones frontales, pero constituyen un 40% del área y un 25% del volumen de los pulmones. Por ello, ha ocurrido que sean inadvertidas las masas tumorales grandes, de hasta 2 cm de tamaño, en las localizaciones.

Proyecciones en radiografías

Son muy frecuentes las radiografías simples de tórax obtenidas con equipos portátiles colocados al lado de la cama del paciente, para evaluar la colocación de catéteres y tubos. Se han presentado situaciones en que estas radiografías detectan también una enfermedad aguda. Por otra parte, la radiografía de tórax puede no ser suficiente para apreciar los cambios del tamaño cardíaco y el ancho del mediastino presenta limitaciones.

En la proyección AP, el corazón y el mediastino aparecen aproximadamente un 15% más anchos que en la proyección PA. esto se debe a que la radiografía portátil se realiza con el tubo de rayos X más cerca del paciente que en la radiografía obtenida en un servicio de radiología, pues la colocación del chasis con la placa radiográfica por detrás del paciente magnifica las estructuras anteriores del tórax, principalmente el corazón y los grandes vasos, en un grado mayor que las estructuras posteriores. Debido a estos factores, la comparación de una proyección AP con una proyección previa PA puede distorsionar la evaluación y sugerir erróneamente un agrandamiento de la silueta cardíaca o un ensanchamiento del mediastino, lo cual puede hacer sospechar en forma errónea una ruptura aórtica en un paciente traumatizado.

Otro problema que se presentan con la radiografía AP, obtenida con equipo portátil, es que no muestran con nitidez los detalles anatómicos en las regiones del tórax de mayor espesor. Además, el número y la energía menor de los fotones producidos por un equipo portátil deben compensarse mediante tiempos de exposición más largos. Esto produce una menor nitidez de la radiografía a causa del movimiento y es un problema particular en pacientes de gran tamaño, que requieren los tiempos de exposición más prolongados.

Otras dificultades asociadas con las radiografías que se obtienen en los pacientes internados se deben al hecho de que muchas imágenes se obtienen con el paciente en decúbito supino. Ante estos problemas, es

conveniente que el médico indique la necesidad de que el paciente se levante y se coloque de pie o sentado en la cama, con el tórax vertical, para obtener la placa. La única contraindicación a esta recomendación es que el paciente esté hipotenso y en la posición de Trendelenburg.

Otra dolencia que pudiera pasar desapercibida en las radiografías AP, son los derrames pleurales sobre todo cuando son tomadas en posición decúbito supino. Esto se debe a que el líquido se desplaza hacia la región posterior. Está ausente el menisco que se observa en la radiografía en posición vertical, y todo lo que puede verse es una turbiedad difusa a través de la cual son visibles los vasos sanguíneos. Otra razón para estas distorsiones es que el flujo sanguíneo no favorece a los lóbulos inferiores cuando el paciente se encuentra en posición supina. Por el contrario, el flujo puede aparecer distribuido en forma homogénea en los lóbulos superiores e inferiores. Este patrón se parece al que se observa en la sobrecarga de volumen y a veces confunde y conduce al diagnóstico equivocado de insuficiencia cardíaca.

Existen otras sutiles diferencias entre las proyecciones PA y AP que tienen menor importancia clínica. Por ejemplo, la proyección PA muestra con mayor claridad las costillas anteriores que la proyección AP porque se logra una mejor resolución en las áreas próximas al chasis radiográfico.

Además, debido a que en la proyección PA el paciente a menudo tiene que levantar sus brazos, se superpone menos hueso escapular con el parénquima pulmonar. Estas observaciones en ocasiones son útiles para determinar si una radiografía no rotulada corresponde a una proyección AP o PA.

Los estudios en decúbito lateral constituyen las placas adicionales de tórax solicitadas con mayor frecuencia. Se realizan en forma habitual cuando se sospechan derrames pleurales y se explican más detalladamente en el capítulo 11. Si se requieren proyecciones en decúbito late-

ral, aun si se sospecha que el líquido pleural es sólo unilateral, deben ordenarse radiografías con el paciente acostado sobre el lado derecho y sobre el lado izquierdo.

Las placas bilaterales en decúbito lateral permiten apreciar mejor visualización del parénquima pulmonar subyacente al derrame que lo que brinda una única placa. Las radiografías con el hemitórax afectado “hacia arriba” (no declive) también pueden determinar si el derrame está tabicado. Además, los signos de derrame pleural en una radiografía sistemática pueden ser mínimos, especialmente si el líquido es subpulmonar. La realización de ambas proyecciones en decúbito lateral a veces revela que un derrame aparentemente unilateral es en verdad bilateral, un hallazgo que en ocasiones modifica el diagnóstico diferencial (fig. 1-5). Las radiografías en decúbito lateral también pueden ser útiles para demostrar un neumotórax en pacientes incapaces de sentarse o ponerse de pie.

Hay que tener cuidado con los errores inducidos por ciertos oscurecimientos en zonas de las placas. Tal es el caso de los pezones y lunares grandes simulan ocasionalmente nódulos pulmonares. Para evitar los errores y confirmar la observación de un posible nódulo en las estructuras extrapulmonares, es conveniente colocar un marcador metálico para identificar la lesión cutánea y repetir la radiografía.

La proyección lordótica apical (descentrada de vértices) se diseñó para evaluar las convexidades superiores del parénquima pulmonar proyectando las clavículas y la primera costilla por encima de los vértices pulmonares. Esta proyección se utiliza para confirmar que una opacidad observada en el vértice es realmente parte de la región anterior de la primera costilla. Si la proyección lordótica apical muestra de manera concluyente que la opacidad es parte de la primera costilla, no se requiere ningún estudio posterior. Si queda alguna duda, es mejor continuar con una TC de tórax.

Las proyecciones oblicuas o la radioscopia también pueden ser útiles en la evaluación de un nódulo pulmonar, si el área de la opacidad se proyecta en forma repetida con la misma porción de una costilla durante una radioscopia o en las proyecciones oblicuas. Aplicando esta modalidad de radiografía se demuestra que el nódulo está dentro de la costilla antes que en el parénquima pulmonar.

Las placas radiográficas en espiración son útiles para diagnosticar neumotórax y obstrucción endobronquial. Las proyecciones laterales con el haz horizontal se utilizan ocasionalmente para confirmar un neumotórax en los pacientes de la unidad de cuidados intensivos (UCI), pero son difíciles de interpretar en los adultos. Una placa en decúbito lateral (con el lado del neumotórax hacia arriba) es otra alternativa, pero algunas veces se requiere la TC para diagnosticar un neumotórax en los pacientes con enfermedad parenquimatosa difusa y pulmones rígidos.

Los conocimientos de los médicos son fundamentales para poder extraer toda la información posible y útil para el diagnóstico en las radiografías simples. Esta capacidad interpretativa, lograda con saberes de la clínica y la anatomía, puede evitar el requerimiento de estudios adicionales, como la TC o la RM de tórax. En esas observaciones e interpretaciones pueden manifestarse las diferencias de formación entre los médicos, pues los clínicos y los radiólogos suelen dar diversos enfoques de las mismas radiografías de tórax. Los radiólogos están entrenados para mirar cada radiografía en forma sistemática y evaluar la imagen en forma completa. Esto es análogo a la anamnesis y el examen físico de un internista, con una lista de verificaciones rutinarias junto con la búsqueda más exhaustiva de hallazgos asociados cuando se descubre una anormalidad.

Hay diferentes interpretaciones debido a las características de los enfoques del radiólogo y del médico conocedor de la anatomía. Eso se debe a la apreciación de cierto detalles de la anatomía del tórax no

nen aire aparecen como radiotransparencias muy pequeñas dentro del pulmón opacificado. Estas áreas normales, interpuestas entre alvéolos opacificados, se conocen como alveologramas aéreos. Lamentablemente, a veces es difícil decidir si las radiotransparencias minúsculas son alveologramas aéreos o representan pequeños espacios en la opacidad reticular causada con frecuencia por una fibrosis. Por el contrario, los broncogramas aéreos son una evidencia segura de una enfermedad que ha llenado con líquido los alvéolos.

Otro signo ante el cual el médico y el radiólogo deben estar pendientes, son las transparencias anormales. Estas son pocas frecuentes en comparación con las opacidades anormales. Muestran con un aspecto negro algunas áreas del tórax, lo cual indica la existencia de áreas anormales en las que grandes cantidades de fotones de rayos X penetran el tórax. Dada su forma pueden describirse como sombras anulares, quistes o cavidades. Alternativamente, una radiotransparencia puede ser más generalizada e involucrar un hemitórax o ambos pulmones. Aunque grandes áreas de radiotransparencia son con frecuencia ocasionadas por anomalías de la pared torácica (p. ej., mastectomía), también podrían reflejar una enfermedad pulmonar obstructiva o vascular.

Los neumotórax pueden causar también grandes áreas de radiotransparencia. Habitualmente los neumotórax grandes son fáciles de detectar, pero a veces es difícil determinar que una gran radiotransparencia sea causada por aire en el espacio pleural cuando el neumotórax está tabicado o la placa se realizó con el paciente en decúbito supino. El signo de la silueta es útil al examinar una radiografía para ayudarse a localizar una opacidad en relación con otras estructuras del tórax.

El signo de la silueta puede indicar que el borde del diafragma, el corazón o la aorta, ha sido oculto por un líquido o tejido anormal. En la radiografía de tórax se pueden distinguir normalmente los contornos mediastínico, hiliar y diafragmático, delimitados en la imagen por el

pulmón lleno de aire que frena apenas unos pocos fotones y que por esa razón aparece negro. Si el pulmón con aire no forma más el borde del diafragma, del mediastino o del hilio, sus márgenes quedan enmascarados.

De esta manera, si el pulmón está lleno de agua o pus que detiene más fotones, aparece más opaco en la radiografía de tórax. Donde sea que contacte con el diafragma, se junta la opacidad del pulmón anormal con la del diafragma, por lo que no se puede visualizar más el borde del diafragma. Cuando queda enmascarado el borde de una estructura normal como el diafragma, se dice que está presente el signo de la silueta. (Algunos médicos dicen que “se borra la silueta” del diafragma). El líquido o el tejido anormal que evidencia la silueta, está en contacto directo con la estructura normal. De tal manera que, si una masa parece superponerse al hilio en la placa de frente, pero no oculta sus bordes, significa que la masa no está en contacto directo con el hilio.

El signo de la silueta se encuentra ausente y una placa de perfil mostrará que la masa se localiza realmente por delante o por detrás del hilio. El signo de la silueta puede servir para evaluar la localización del colapso pulmonar (atelectasia), el derrame pleural encapsulado, los tumores y las neumonías. En las radiografías de frente, la desaparición del borde derecho o izquierdo del corazón puede indicar una enfermedad del lóbulo medio o de la língula, respectivamente. Además, un aumento de la opacidad sobre la misma área en la proyección frontal puede deberse a la presencia de la neumonía del lóbulo inferior, que no hace desaparecer, sin embargo, el borde del corazón. Por el contrario, una neumonía del lóbulo inferior que comprometa la región anterior del lóbulo inferior puede hacer desaparecer la silueta del diafragma.

El signo de la silueta también es útil para estudiar estructuras medias-tínicas que no sean el corazón o la aorta. Así, si hay opacidades que oculten el borde lateral del cayado aórtico por lo general se localizan dentro del segmento apicoposterior del lóbulo superior del pulmón iz-

quierdo o en el mediastino central. Si la opacidad se superpone al cayado aórtico pero no oculta su borde lateral, debe localizarse en la región anterior o en la más posterior del tórax. Entonces, la opacidad del tejido anormal se agrega a la de la aorta, y la aorta aparece más radiopaca de lo normal. De la misma manera, el corazón puede aparecer más opaco en la proyección frontal si detrás de él, hay una neumonía o atelectasia del lóbulo inferior del pulmón izquierdo.

La pérdida de una silueta puede servir para localizar una enfermedad dentro del tórax, pero también para confirmar una enfermedad cuando otros hallazgos radiográficos son dudosos. Un caso es el de la desaparición de la silueta de la aorta descendente en la proyección frontal, lo cual hace significativa la observación de una opacidad sutilmente aumentada detrás del corazón, lo cual puede representar una neumonía o atelectasia. La dificultad con esta orientación de la búsqueda es que sólo el 10% del pulmón se halla en contacto con el corazón o el diafragma, por lo que se reduce la sensibilidad de estas siluetas para detectar enfermedades.

El médico debe tomar en cuenta que la utilidad del signo de la silueta tiene ciertas limitaciones, pues en virtud de ciertas circunstancias que no indican patologías, pueden inducir en un error de apreciación. Por ejemplo, el borde cardíaco puede hallarse oculto por estructuras no patológicas, como las deformidades del pectus excavatum, las cuales hacen desaparecer el borde cardíaco derecho. También puede presentarse la situación en que la abundancia de grasa pericárdica oculte los bordes cardíacos derecho o izquierdo. Algo parecido puede ocurrir cuando la silueta cardíaca desaparece cuando los vasos que tienen un trayecto paralelo al corazón. Incluso puede presentarse la circunstancia de que la misma técnica radiográfica afecte la eficacia diagnóstica del signo de la silueta. Esto ocurre si los rayos X son pocos, o si los fotones tienen una energía demasiado baja para penetrar el corazón y el mediastino. Entonces, esas estructuras de la línea media aparecen uniformemente blancas. Incluso, puede hacer desaparecer en la radio-

grafía la silueta del diafragma y de otras estructuras. Lo mismo sucede si la columna vertebral se proyecta sobre el borde cardíaco derecho, quitando visibilidad a la silueta cardíaca, al tiempo que se impide una adecuada penetración de los rayos X.

Otra situación con la que hay que tener un cuidado especial la constituyen las cisuras lobulares. Si cabe determinar que una opacidad anormal se encuentra en el interior del parénquima pulmonar, puede ser de utilidad localizarla en un lóbulo específico del pulmón. Por ejemplo, en un paciente con tos crónica y producción de esputo la enfermedad parenquimatosa de ambos lóbulos inferiores plantea la posibilidad de aspiración. Por otro lado, una enfermedad limitada a los segmentos posteriores de los lóbulos superiores o al segmento apical del lóbulo inferior sugiere una reactivación tuberculosa. Identificar las cisuras pleurales contribuye a localizar la opacidad anormal. Además, observar que una de las cisuras está anormalmente posicionada es clave para reconocer que un lóbulo ha perdido volumen (atelectasia lobular), un signo que indicaría que un cáncer ha obstruido un bronquio central. Las proyecciones PA, al igual que las laterales, permiten observar la cisura menor (horizontal) que separa el lóbulo superior derecho del lóbulo medio derecho. Las radiografías de perfil permiten visualizar mejor las cisuras mayores (oblicuas) separan bilateralmente los lóbulos inferiores de los lóbulos superiores, y se observan mejor en las radiografías de perfil. La cisura mayor derecha puede diferenciarse de la izquierda por su intersección con la cisura menor. La cisura mayor izquierda se identifica por su unión con el hemidiafragma izquierdo, el que con frecuencia pierde su borde nítido cuando entra en contacto en la región anterior con el ventrículo izquierdo. En las placas con el paciente de pie o sentado la cámara gástrica también puede emplearse para confirmar la identidad del hemidiafragma izquierdo.-

La placa de tórax tiene un gran rendimiento diagnóstico pues una sola equivale, clínicamente hablando, a un examen físico sin anamnesis. Lo recomendable es realizar siempre que sea posible, al menos dos

proyecciones (p. ej., PA y lateral). También son recomendables las proyecciones en decúbito, incluso si se sospecha sólo una patología unilateral.

El estado de un volumen, que puede referirse a una masa extraña o hasta a un tumor, hallado en el paciente, la radiografía portátil debe obtenerse en posición vertical (de pie o sentado). Por otra parte, las sombras hiliares son difíciles de interpretar, pero contienen importante información. El análisis debe contar con amplios conocimientos anatómicos referentes al hilio en la proyección lateral.

En general, deben complementarse los análisis de los signos de la suma como el de la silueta, pues ambas modalidades pueden contribuir a confirmar la presencia de una opacidad anormal en el tórax. Suele ocurrir en las UCI que una atelectasia del lóbulo inferior izquierdo ocasione la pérdida de la silueta del hemidiafragma izquierdo.

Patologías detectables a través de la radiografía

Las principales patologías observables a través de una radiografía son aquellas relacionadas con problemas óseos: fracturas, ciertos tumores o masas anormales, neumonía y ciertos tipos de lesiones, calcificaciones, objetos extraños, problemas dentales. También pueden mostrar algunos órganos y tejidos blandos, aunque otras técnicas de imagen sean mejores. Igualmente, Las radiografías de tórax permiten detectar cáncer temprano en los pulmones, infección o acumulación de aire en el espacio alrededor del pulmón, lo que puede provocar su colapso. También muestran enfermedades pulmonares crónicas, como el enfisema pulmonar o la fibrosis quísticas, así como complicaciones relacionadas con estas enfermedades.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO V ECOGRAFÍA



Historia

Innovaciones tecnológicas como el ecógrafo son el resultado de búsquedas en diferentes sentidos, que en un momento determinado de sus desarrollos específicos, convergen en un invento que puede aportar importantes beneficios de la Humanidad. De hecho, para llegar a este dispositivo y técnica hoy muy importante como parte de la panoplia instrumental de la Medicina para acertar mejor con los diagnósticos, fue necesario desarrollar el conocimiento de las ondas sonoras, la variante del ultrasonido, el descubrimiento de la viabilidad técnica de producir ultrasonidos por medio de fenómenos piezoeléctricos, del estudio del sentido de orientación del murciélago, del desarrollo de la electrónica y de la investigación clínica. Muchos de estos desarrollos y descubrimiento tuvieron usos muy distantes de la medicina, como es el caso del sonar de los submarinos, que tuvo y tiene una destacada utilidad bélica en la guerra en los mares.

En todo caso, los adelantos alcanzados se han logrado orientar hacia el desarrollo de una importante herramienta diagnóstica, con muchas ventajas, que comprenden bajo costo, su inocuidad y reproductibilidad. Además, el uso del ultrasonido de la ecografía no tiene los riesgos de los rayos X, ni requiere una formación especializada. Como tecnología, muestra una excelente visualización de los tejidos blandos y logra evidenciar las diferencias entre sólidos y líquidos. Además, puede obtener imágenes en tiempo real y con ausencia de radiación con efectos cancerígenos. En fin, se trata de una tecnología diagnóstica que significa un progreso extraordinario, lo cual contribuye al objetivo general de la Medicina de mejorar la calidad de vida del hombre y de preservar su salud (17).

La posibilidad técnica de producir y aprovechar los ultrasonidos con los fines que requiera el desarrollo social, se abrió con el descubrimiento de la piezoelectricidad en 1890 debido al destacado físico Pierre Curie y su hermano, Jacques, en 1880, cuando observaron los efectos de las presiones sobre una lamina delgada de un cristal de cuarzo, tallado

perpendicularmente a un eje óptico. Detectaron que en los bordes del cristal aparecen potenciales eléctricos que pueden detectarse por un electrometro. Más tarde, en 1990, Galton y Edelman, Galton y Edelman (1900) obtuvieron frecuencias hasta de 170.000 ciclos por segundo (ultrasonidos, frecuencia' superiores a los 16.000 **CIS**) en sus experimentos con un silbato de aire comprimido. Así, comenzaron los experimentos con la energía acústica fuera de los límites percibidos para el oído humano (infrasonidos, ultrasonidos). Ya en 1876, W. Rosicky (1876), O. Logde (1889) y (W. Altberg 1907) produjeron ultrasonidos por medio de los estallidos de un centelleo eléctrico. Poco más tarde, Neeklepajew (1911), por este procedimiento, obtuvo ultrasonidos hasta de una frecuencia de 400.000 ciclos por segundo.

La piezoelectricidad es un fenómeno que ocurre en algunos cristales que se deforman por la acción de fuerzas internas al ser sometidos a una energía eléctrica, al tiempo que producen ondas sónicas (oscilaciones en el aire) inaudibles para el ser humano. A diferencia del sonido perceptible por los humanos, la onda que produce la piezoelectricidad tiene una frecuencia muchísimo mayor.

En 1912, el inglés L.F. Richardson propuso utilizar ondas sonoras para localizar obstáculos por medio del eco. El francés Langevin (1916) presentó sus procedimientos para localizar submarinos mediante la producción de señales emitidas en el agua por un generador de ultrasonidos. Es en la primera Guerra Mundial cuando estos descubrimientos científicos, obtuvieron aplicaciones militares. Pierre Langeven desarrolló entonces el Sonar, que sirvió para poder detectar los barcos alemanes que con mucha frecuencia se introducían por el canal de la Mancha. Cuando se produce la II Guerra Mundial, se llevó a cabo una investigación sobre los ultrasonidos, sobre todo en la Marina de los U. S. A., que lo utilizó para observar las grietas que podían tener las naves después de los combates.

Pero, al poco tiempo, algunos investigadores exploraron si la nueva tecnología podía tener fines médicos y comenzaron experimentos con el cuerpo humano. Se menciona como un pionero en estas exploraciones al Dr. John Wild, un cirujano de Minnessotta (USA), que estudiaba mediante modo A los cambios de las ondas en especímenes de tejido mamario. Poco más tarde, empezaron en Europa estudios aplicados sobre el cerebro. Pero fue en 1942 que los ultrasonidos fueron introducidos como instrumento para perfeccionar los diagnósticos, por Dussik quien exploró con este instrumento las anomalías cerebrales. En 1949, George Ludwing y Francis Stuthers, basados en la técnica descrita por Firestone, estudiaron la utilización de los ultrasonidos para detectar cuerpos extraños tales como metal, vidrio, madera, plásticos, cálculos biliares, etc., incluidos experimental mente en diferentes tejidos orgánicos. Este trabajo fue la primera aplicación del metoda eco-impulso, con finalidades biológicas; las frecuencias utilizadas en estas experiencias oscilaron entre uno y 2.5 MHz.

Los cardiólogos también empezaron a usar el ultrasonido para estudiar oscilaciones de la válvula mitral. En 1951, Douglas Hopwry que era residente en el Hospital de Denver se asoció con un nefrólogo Joseph Holmes, para desarrollar una innovación tecnológica que incluía un transductor en un anillo rotador, que se movía dentro de una cubeta semicircular, que quedaba hermética al cuerpo del paciente, y por lo tanto eliminaba la necesidad de la inmersión completa. Más tarde, en los primeros años de la década de los 60, Howry y sus colaboradores desarrollaron un scanner de contacto directo. Estos formaron la Physionics Inc. que fue la primera empresa en sacar un prototipo con brazo articulado en el año 62.

Se abrió entonces un proceso de innovaciones consecutivas que aquí se reseñan brevemente. El grupo de Lehman, y el grupo de Filadèlfia. Lehman empezó a hacer ecografía abdominal y pélvica y convencieron a Picker Inc. En 1962, Homes produjo un scanner que oscilaba cinco veces por segundo sobre la piel del paciente y permitía una imagen

de una perspectiva de uso masivo de esta técnica inocua, de bajo costo y portátil.

En 1982 Aloka anunció el desarrollo del Doppler a color en imagen bidimensional y en 1983 introdujo al mercado el primer equipo de Doppler a color que permitió visualizar, en tiempo real y a color, el flujo sanguíneo. En 1983 Lutz usó la combinación de gastroscopio y ecografía para detectar cáncer gástrico y para el examen de hígado y páncreas. De tal manera, que los desarrollos e innovaciones tecnológicas perfeccionaron los transductores, incorporando la digitalización de imágenes, incrementando una mayor calidad de las imágenes. Apareció el Doppler espectral y a color y el power Doppler, con los cuales se pudo iniciar el estudio de los vasos con ultrasonido, además de la caracterización de los tumores de acuerdo a su vascularización. Otra importante innovación fue la introducción de los armónicos, que permitieron delimitar mejor los contornos de una lesión.

Generalidades.

El diagnóstico por ultrasonido ha adquirido una gran relevancia en la práctica de la Medicina, pues ha mejorado considerablemente la interpretación de las imágenes ultrasónicas obtenidas con la técnica convencional después de la incorporación de la escala de grises a mediados de los setenta. Ha habido una masiva aceptación del diagnóstico por ecógrafos porque ha aumentado la resolución de sus imágenes y las sondas de examen se han hecho de mayor maniobrabilidad, en diferentes áreas de la Medicina con óptimos resultados.

Los avances de la técnica incluso han permitido establecer una mayor unión emocional entre los neonatos y sus madres, gracias a una calidad de imagen que permite ver el aspecto del futuro bebé en fotografía (3D) o en imagen en movimiento (4D). Para ello, el ecógrafo emite los ultrasonidos en cuatro ángulos y direcciones, mientras que a la paciente se le aplica, en la zona abdominal, un gel para mejorar la eficiencia del proceso y se le pasa el emisor suavemente. Los ultrasonidos rebo-

Así, por ejemplo, es posible ver cuál es el patrón de vascularización de un tumor, el que da pistas sobre su naturaleza. En el futuro quizás sea posible administrar fármacos como los quimioterápicos ligados a burbujas semejantes para que los liberen únicamente en el órgano que se está insonando, así se conseguiría una dosis máxima en el lugar que interesa y disminuiría la toxicidad general.

Técnicas ecográficas

Para formar un haz de ultrasonidos, los pulsos de corriente que llegan del generador al transductor causan la emisión de pulsos de ultrasonidos. Esto significa que el transductor no está emitiendo ultrasonidos de forma continua, sino grupos de ciclos o pulsos de ultrasonidos, al tiempo que se alternan dos fases: emisión de ultrasonidos-recepción de ecos-emisión de ultrasonidos- recepción de ecos (18).

La frecuencia con la que el generador produce impulsos eléctricos cada segundo se denomina frecuencia de repetición de pulsos (PRF), y es igual a la frecuencia de repetición de pulsos de ultrasonidos: número de veces que los cristales del transductor son estimulados por segundo. La PRF, por lo tanto, determina el intervalo de tiempo entre las dos fases: emisión y recepción de los ultrasonidos. Ese intervalo de tiempo debe ser el adecuado para que un pulso de ultrasonido alcance un punto determinado en profundidad y vuelva en forma de eco al transductor antes de que se emita el siguiente pulso. Cada uno de los pulsos recibidos y digitalizados pasa a la memoria gráfica, se ordena y es presentado en forma de puntos brillantes en el monitor. En este se emiten secuencias de al menos 20 barridos tomográficos por segundo para ser visualizados en tiempo real.

Son varios los modos de los ultrasonidos. El modo A muestra los ecos mediante picos y, con ellos, es posible medir la distancia entre las distintas estructuras, es utilizado en encefalografía y oftalmología. Por su parte, el modo B es útil para lograr imágenes bidimensionales en las que la amplitud del eco se expresa por puntos más o menos brillantes,

es aplica fundamentalmente en estudios de abdomen. El tercer modo en el M que puede mostrar el movimiento en función del tiempo, es utilizado en ecocardiografía.

Los tipos de imagen han evolucionado desde su comienzo, siendo el modo A el primero que se utilizó como modulaciones de ecos en una línea horizontal. Los siguientes fueron el modo B (1D), el modo M, el modo B (2D) estático biestable y con escala de grises, el modo B (2D9) y de tiempo real.

Las innovaciones tecnológicas en el campo de la ecografía se han sucedido de manera impresionante. Se ha pasado rápidamente de los transductores lineales, sectoriales, a los convex. Hoy en día, se utilizan los equipos de más alta frecuencia, entre 2,5 y 10 MHz. Los aparatos actualmente sin en su mayor parte, digitales, dejando atrás los analógicos. Esto ha permitido mejorar la imagen de modo B para tener cada vez mayor resolución.

Se anota como las mejores innovaciones actuales las siguientes: la ecografía endocavitaria, la Duplex-Doppler, el Doppler color, el Power color-energía, los Contrastes en ultrasonidos. Todo ello asociado a un bidimensional con escala de grises de alta definición.

Son muchas las ventajas de la ecografía. En primer lugar, es inocua pues carece de radiación ya que se basa en el empleo de los ultrasonidos; como técnica diagnóstica no tiene efectos biológicos sobre el organismo. Además, es rápida y bien tolerada. La presencia del explorador y que el paciente no está aislado en espacios reducidos y cerrados facilitan tolerancia y colaboración en la prueba. También la ecografía es una técnica sumamente económica, tanto en relación con el coste del equipo, como en el espacio que se requiere para su operación. Además, no necesita aislamiento especial.

Otra ventaja de la ecografía es que permite controles repetidos. Cuestión muy importante para conocer la evolución en traumatismos, litiasis, patología crónica, postcirugía, etc. También se debe anotar a favor de la ecografía, el **fácil acceso y su característica de ser desplazable**. El ecógrafo puede desplazarse sin necesidad de mover al paciente: en una unidad de cuidados intensivos (UCI) o en un box de Urgencias, o también llevar un equipo portátil a un domicilio. El tiempo real cobra aun mayor importancia en exploraciones como: movimiento de las válvulas cardiacas, flujo vascular, deslizamiento de un tendón, desplazamiento de un cálculo, etc.

En la realización de los diagnósticos es muy importante la ecopalpación que permite esta tecnología. Ello consiste en la compresión dirigida con el transductor puede ser una gran ayuda: se observa la consistencia de una masa, si hay dolor selectivo o no en una zona sospechosa (por ejemplo: colelitiasis con Murphy ecográfico positivo), si una colección fluctúa o si una vena con sospecha de trombosis no se deprime, etc. La sistemática exploratoria en ecografía se ha estandarizado y permite reproducir un estudio por otro ecografista. Además, la ecografía puede ser utilizada para guiar una punción con fines diagnósticos o terapéuticos: aspiración para citología, drenaje o infiltraciones precisas. También hay que anotar que se está avanzando en el campo de los contrastes ecográficos, que mejora las prestaciones en determinados estudios vasculares y de tumores.

Por otra parte, hay algunos inconvenientes y límites de la ecografía que hay que tomar en cuenta.

La presencia de gas o de superficie ósea pueden impedir la observación de lo que hay detrás mediante ecografía. Para salvar estos inconvenientes, es preciso conocer y emplear “ventanas acústicas”: vías de acceso y maniobras para que los ultrasonidos alcancen la zona que se quiere estudiar. Por ejemplo, el contenido líquido de la vejiga hace de ventana para valorar la pelvis.

Aunque la ecografía tiene una alta capacidad para detectar lesiones, no la tiene suficiente para diferenciarlas. Esto es un inconveniente cuando se trata de tumores. De hecho, una imagen nodular, una masa, puede corresponder a más de una entidad. Por otra parte, el eco distingue muy bien una imagen quística de una sólida y hace una buena aproximación en cuanto a benignidad o malignidad.

La interpretación de las imágenes ecográficas no es sencilla y ello incrementa la dependencia con el ecografista. Esto puede contrarrestarlo el médico, mediante la permanente actualización en los conocimientos de anatomía y de los principios físicos, además de aplicar prudencia y sentido común.

Patologías más comunes diagnosticadas en ecografía

La ecografía es una técnica diagnóstica dominada por los Especialistas en Radiología, pero progresivamente diferentes especialidades han comenzado a utilizarla de forma independiente (Cardiología, Ginecología, Gastroenterología, Angiología, Cirugía, Reumatología y Medicina Deportiva). En 1997 Balint y Sturrock publicaron sus hallazgos del uso de la ecografía en Reumatología, principalmente, en la evaluación de la enfermedad articular y periarticular y en los tejidos blandos, con adecuada reproducibilidad y con altas sensibilidad y especificidad; otras utilidades son la medición del cartílago y para determinar erosiones en artritis reumatoide,(20) con lo que se demuestra su superioridad sobre la placa simple de rayos X. Además se ha demostrado su utilidad en la valoración de la enfermedad de nervios periféricos.

Actualmente el ultrasonido es un medio diagnóstico muy útil en la atención de pacientes con enfermedades del sistema músculo esquelético. Sus áreas de desarrollo apenas comienzan, sus posibilidades son inimaginables y constituyen una de las principales motivaciones del Especialista en Imagenología del aparato locomotor.

El US funcional incluye entre sus aplicaciones el ultrasonido Doppler y el Doppler a color para medir y visualizar el flujo sanguíneo en los vasos dentro del cuerpo o en el corazón, así como la velocidad del flujo sanguíneo y la dirección del movimiento.

Otra forma funcional del ultrasonido es la elastografía, un método para medir y mostrar la rigidez relativa de los tejidos, la que se puede utilizar para diferenciar los tumores del tejido sano. El ultrasonido es también un método importante para producir imágenes de intervenciones en el cuerpo, por ejemplo, la biopsia mediante agujas guiadas por ultrasonido ayuda a los médicos a ver la posición de una aguja mientras es guiada hacia un objetivo seleccionado (una masa o un tumor en el seno). El ultrasonido se utiliza para producir imágenes en tiempo real de la localización de la punta de un catéter mientras se inserta en un vaso sanguíneo y es guiado a lo largo del vaso. También se puede utilizar en la intervención quirúrgica mínimamente invasiva para guiar al Especialista en Cirugía con imágenes del interior del cuerpo en tiempo real -ultrasonido intervencionista-

Por otra parte, hay que considerar el valor predictivo de la ecografía en síntomas y signos en el diagnóstico del cáncer de colon y gástrico es bajo. Además, muchos pacientes son remitidos para descartar una neoplasia digestiva, sin síntomas que sugieran su localización, siendo el VPP de la clínica aún menor. En este trabajo evaluamos la utilidad de la ecografía como primera aproximación diagnóstica. En los pacientes remitidos para descartar una neoplasia digestiva, con síntomas inespecíficos, se diagnostica con frecuencia de patología neoplásica ajena al tubo digestivo. Si consideramos, además, la elevada precisión diagnóstica de la ecografía, esta podría ser una muy buena primera aproximación diagnóstica (19).

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO VI MAMOGRAFÍA



La mamografía o mastografía es una imagen de la mama tomada con rayos X, que suelen incluir más de dos vistas, tomadas desde diferentes ángulos. En el procedimiento, las mamas se comprimen con placas de plástico para lograr optimizar la visualización del tejido mamario y detectar las anormalidades. Pero, principalmente, los médicos usan las mamografías para identificar signos de cáncer de mama, sobre todo en sus etapas iniciales, por cuanto el uso de esta tecnología producen las mejores pruebas con que se cuenta hoy en día para detectar el cáncer de mama en sus etapas iniciales, a veces hasta tres años antes de que se puedan sentir.

La práctica de la imagenología mamaria ha experimentado grandes cambios gracias a una variedad de innovaciones tecnológicas desde que comenzó a utilizarse, a mediados del siglo XX, hasta la actualidad. La técnica de la mamografía se estableció desde un comienzo como el *gold standard* para el estudio de la mama, pasando desde la mamografía de película de exposición directa a la mamografía digital y tomosíntesis actual.

Historia

El diagnóstico de cáncer de mama, desde prácticamente la antigüedad, se basaba en la palpación y la visualización para poder reconocer el tumor maligno. El esfuerzo médico se concentraba en evitar la morbilidad a consecuencia del mal. En el siglo XIX se comenzó a utilizar la analgesia y la antisepsia, al mismo tiempo que se profundizaban las investigaciones anatómicas y surgió la hipótesis de que el surgimiento del tumor estaba relacionado con problemas hormonales.

Afortunadamente, el descubrimiento de los rayos X se produjo, y en pocos años, hacia principios del siglo XX, se realizaron experiencias para aplicar el nuevo avance científico en el diagnóstico del cáncer de mama, por parte del Dr. Albert Salomon quien publicó los resultados de sus estudios radiológicos en la mama. El mismo científico también logra distinguir el carcinoma infiltrante del carcinoma circunscripto y

Más tarde, en 1934, el Dr. Walter Vogel, presentó una clasificación ante la Sociedad Médica de Leipzig haciendo hincapié en la descripción de lesiones benignas y malignas, al mismo tiempo que describía la técnica de obtención del roentgenograma en una posición oblicua, con el haz de Rayos X de medial a lateral, tangencial al tórax, incluyendo la axila. Además, aporta nuevos elementos para apoyar la hipótesis de que la imagen de un carcinoma mamario infiltrante activo en una radiografía, difiere de manera importante de la radiografía de una mama normal. Señaló también que el procedimiento diagnóstico aún, en ese tiempo, se halla en una etapa temprana de desarrollo, pero expresa su optimismo de que las placas podían llegar a convertirse en un método eficaz de diagnóstico de los tumores mamarios.

Pero no fue sino en la década de los 1960, que las mamografías se convirtieron en el centro de los esfuerzos para reducir la mortalidad por cáncer de mama, como resultado de factores como la presión pública por la detección temprana del cáncer de mama, la profesionalización de la radiología, el activismo contra la enfermedad fatal y el creciente atractivo de las imágenes visuales en la medicina (20).

De esta manera, la mamografía ha evolucionado mucho, desde la experimentación de las décadas de 1930-1940, cuando se probaron diferentes métodos y tecnologías para obtener mejores imágenes, aunque sin advertir acerca de los riesgos que entraña el nivel de dosis de irradiación. De esa etapa de esta historia, se destacan los pioneros y visionarios que lograron establecer la factibilidad del examen de la mama: Salomon, Kleinschmidt, Warren, Vogel y Seabold.

En los 1950, la mamografía se introdujo en la práctica clínica con diferentes protocolos. Leborgne fue el primero en describir su técnica y los ajustes de la máquina de Rayos X. Una década después, se implementaron ampliamente los protocolos descritos por Egan y por Gershon-Cohen. Para realizar el diagnóstico se aplicaron de una a tres películas por mama, mediante las vistas craneocaudal, mediolateral y mediolate-

ral oblicua. Los trabajos de Gershon-Cohen, Leborgne, Egan, Gallager, Martin, Dodd, Strax y sus colegas, confirmaron hasta la saciedad que la mamografía, junto al examen físico de mujeres asintomáticas, podía detectar las etapas tempranas del cáncer de mama, contribuyendo de esa manera a reducir significativamente la mortalidad por ese mal.

En las décadas posteriores, los protocolos se modificaron para incorporar desarrollos tecnológicos, como la introducción del Senographe, la tecnología de película de pantalla y la xerorradiografía. Al mismo tiempo, se implementaron encuestas a nivel nacional de Evaluación de Tendencias de Rayos X (NEXT) en los Estados Unidos con el fin de evaluar la calidad general de la mamografía práctica y así estimar las dosis de la radiación.

En los 1990, la FDA de los Estados Unidos elaboró el Reglamento de la Ley de Estándares de Calidad de la Mamografía (MQSA, por sus siglas en inglés) para regular el uso de la mamografía y proporcionar acreditaciones. Al mismo tiempo, se proveyó a la comunidad médica, guías de práctica de usuario. La introducción de nuevas pantallas, nuevas películas y grillas, fue ampliamente aceptada.

Hoy en día, el uso de la mamografía digital se ha venido generalizando. Al mismo tiempo, se introducen nuevos métodos de imágenes para el diagnóstico y control de la patología mamaria, con diferentes grados de desarrollo y con estudios multicéntricos en curso, métodos que brindan la posibilidad de aportar mejoras en ciertos aspectos, entre ellos sobresalen la tomosíntesis y la mamografía con contraste.

Hoy día, las técnicas intervencionistas mamarias y la biopsia percutánea, han sustituido, debido a un menor costo y menos riesgo de morbilidad, a la biopsia quirúrgica. Otros métodos y protocolos permiten hoy, además, la localización de lesiones no palpables para facilitar la cirugía, el marcado de lesiones para neoadyuvancia y la localización de lesiones para la biopsia selectiva de ganglio centinela.

La utilización cada vez más amplia de la mamografía ha implicado una mayor detección del cáncer mamario, lo cual a su vez se ha traducido en un aumento del registro la incidencia. Otros datos importantes respecto al impacto de la implementación de la mamografía como método diagnóstico, es el ascenso de las proporciones de supervivencia, de 63 y 68% respectivamente, a 87,9% en la década del 90. Los estudios indican que esta importante diferencia se debe a la implementación de los programas de **screening** o tamizaje que llevan a la disminución notoria de las cifras de mortalidad. Los beneficios del **screening** mamario han sido demostrados en numerosos estudios randomizados, desde mediados de la década de 1980 a la fecha. Dichos estudios reconocen una reducción del índice de mortalidad por cáncer de mama en por lo menos un 25%. Esto quedó claramente demostrado en la población de 50 años o más, y, en los últimos años, gran parte de las sociedades científicas internacionales recomendaron comenzar el “tamizaje o **screening**” partir de los 40 años en forma anual.

Generalidades

Las mamografías de diagnóstico se utilizan para diagnosticar trastornos de mamas en mujeres que tienen síntomas mamarios, masas mamarias palpables y hallazgos anormales en mamografías que requieren otras evaluaciones para confirmar el diagnóstico de cáncer mamario en sus primeras fases.

El cáncer de mama es el carcinoma más frecuente a nivel mundial y la primera causa de muerte por cáncer en mujeres en todo el mundo, como se expresa en la proporción del 31% de todos los tumores en la población femenina. Se estima que una de cada ocho mujeres que alcancen la edad de 85 años habrá desarrollado un cáncer de mama en el curso de su vida. Por ello, es necesario dar la mayor importancia al nivel de prevención de la atención médica, reforzando los programas de prevención y detección nacionales para disminuir de manera global el número de muertes por cáncer de mama. Esos planes deben incluir el estudio mamográfico, con una frecuencia de por lo menos uno al

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO VII

TOMOGRAFÍA



Historia

Se señalan como inventores de la Tomografía a un físico norteamericano, A.M. Cormark, mientras que se reconoce como desarrollador técnico al ingeniero inglés Goodfrey N. Hounsfield. Lo curioso es que no se conocieron entre sí y, por tanto, su aporte a la historia de la Medicina no fue producto de una cooperación interdisciplinario.

El aporte del primero, Cormark consistió en que demostró, en 1963, que podía determinarse los coeficientes de absorción de una estructura plana y medir desde un determinado número de direcciones las variaciones de intensidad de los haces transmitidos. Más tarde, en 1967, el ingeniero Hounsfield, desarrolla los procedimientos y el equipamiento necesario para el reconocimiento de imágenes y técnicas de almacenamiento de datos en el ordenador, cuando estaba al frente de la sección médica del laboratorio central de investigación de la compañía discográfica EMI Capitol (Electric and Musical Industries), sin saber que ya Cormark había resuelto las matemáticas teóricas útiles para la invención de tal dispositivo.

La hipótesis del programa de investigación E.M.I. (Electric and Musical Industries), era que las medidas de transmisión de los Rx a través de un cuerpo a partir de todas las direcciones posibles, contiene la totalidad de la información sobre los constituyentes de ese cuerpo como para poder construir una imagen tridimensional. Hounsfield en sus experimentos logró detectar los Rayos X mediante un cristal que emitía luz visible cuando era tocado por la radiación. Con estas experiencias, el ingeniero propuso la construcción del escaner EMI, que fue la base de la técnica para desarrollar el TAC, como una máquina que unía el cálculo electrónico a las técnicas de rayos X, con el propósito de crear una imagen tridimensional de un objeto tomando múltiples mediciones del mismo con rayos X desde diferentes ángulos y utilizar una computadora que permita reconstruirla a partir de cientos de “planos” superpuestos y entrecruzados.

Con estos conocimientos básicos y aplicados, el 1 de Octubre de 1971 se realiza el primer escáner craneal en un hospital de Londres. Desde entonces, esta técnica radiográfica se ha convertido en un método insustituible para el estudio de múltiples procesos patológicos. Por esos descubrimientos, los descubridores y desarrolladores de la TC recibieron el Premio Nóbel en 1979.

Al principio, el 90% de las exploraciones hechas con TC eran neurológicas (TC craneales), pero progresivamente fueron surgiendo indicaciones para el estudio del resto de las regiones corporales. Esto convirtió a la TC en una técnica diagnóstica esencial en procesos neoplásicos (hernias discales, patologías cerebrales, etc.). De esta manera, hoy por hoy el TC es considerado como el mayor avance en radiodiagnóstico desde el descubrimiento de los Rayos X. Su uso se ha generalizado en los hospitales de todo el mundo.

Si se observan los componentes técnicos de un tomógrafo, se identificará en un tomógrafo computarizado un aparato de Rayos X en el cual la placa radiográfica ha sido sustituida por detectores. El tubo gira alrededor del paciente y los detectores situados en el lado opuesto, recogen la radiación que atraviesa al paciente. Los datos recogidos por los detectores se envían a un ordenador que integra y reconstruye la información obtenida y la presenta como una imagen morfológica en el monitor.

La reconstrucción de la sección anatómica estudiada se realiza mediante ecuaciones matemáticas adaptadas al ordenador que recibe el nombre de algoritmos.

Generalidades

La **Tomografía computadorizada (TC)** se le llama también **Tomografía Axial computerizada (TAC)**, dado que el plano de la imagen es paralelo al eje longitudinal del cuerpo y se obtiene cortes sagitales y coronales del paciente. Otra denominación es **Tomografía Transaxial**

o **Tomografía Transversa Computerizada (TTC)** ya que la imagen es perpendicular al eje longitudinal del cuerpo. Otras denominaciones son: **Tomografía computadorizada de reconstrucción (TCR)**, **Tomografía Axial Digital (TAD)**, o también **Escáner** al basarse en el principio de scan o barrido exploratorio de un objeto. A los scanner capaces de practicar tomografías de cualquier parte del cuerpo se les llama scanner de cuerpo entero (body scanner), para diferenciarlo de los que tienen aplicación cerebral (body scanner). En Francia se denomina **Tomodensitometría** (medida de las densidades de los cortes). El nombre adoptado finalmente es el **Tomografía computadorizada** o **TC**, ya que muchos autores mantiene que el término axial debe suprimirse siendo correcto el término tomografía computadorizada (TC).

La gran diferencia que marca la TC es el logro e imágenes en tres dimensiones, que corresponden más a la realidad del cuerpo, que una radiografía convencional que es una imagen en solo dos dimensiones. Esto último es una limitación, no solo porque no aporta datos suficientemente precisos, sino también porque se pierde ya que existe una superposición de las estructuras anatómicas de esta región.

Existen diversas técnicas tomográficas desarrolladas para maximizar las ventajas de la TC, y superar las desventajas de la tomografía lineal convencional, en la cual los rayos X realizan un barrido de todo el grosor del cuerpo, consiguiéndose la imagen deseada por el movimiento conjunto del foco de la radiación y de la placa, que borra y desdibuja los planos inferiores y superiores al plano deseado. La cantidad de radiación que recibe el paciente en este estudio, es grande y la nitidez de la imagen se resiente por el barrido.

Se han desarrollado otras técnicas para superar las dificultades de las anteriores. Una de las soluciones técnicas es enfrentar, con suma precisión, un tubo emisor de rayos X a una columna de detectores, para lograr distintas proyecciones del objeto mediante un movimiento sincronizado en giros de los dos dispositivos. De esta manera, cada

detector corresponde a un canal por el cual se envían las señales a la computadora, para reconstruir adecuadamente la imagen, al mismo tiempo que se archivan en la memoria del ordenador para poder utilizarse siempre que sea necesario.

Los detectores convierten la señal de radiación en una señal electrónica de respuesta analógica (sí o no, es decir, hay pulso o no hay pulso) que a su vez se convierte en “señal digital” por medio de una conversión que traduce al código binario del lenguaje informático las imágenes. De esta manera, se unifica el lenguaje con que se conectan los componentes del equipo.

Precisamente la posibilidad del almacenamiento de las imágenes y su disposición inmediata es la una ventaja de la computadora. Además, puede ser impresa en una placa convencional a través de una impresora láser conectada al monitor de visualización.

Cuando el conjunto fuente de Rayos X y detector realiza un barrido o escáner a través del cuerpo del paciente, las estructuras de este atenúan el haz en función de la densidad y del número atómico de los tejidos de la zona. De esta manera, se crea un perfil de intensidades o proyección. Al final de un barrido, el conjunto fuente-detector gira y comienza un segundo barrido. Durante este barrido, la señal del detector vuelve a ser proporcional a la atenuación del haz provocada por las estructuras atómicas internas, y se obtiene una segunda proyección. El procesamiento de los datos que realiza el ordenador supone la superposición efectiva de cada proyección para reconstruir la estructura anatómica correspondiente a ese corte. Cuanto mayor sea el número de barridos exploratorios que efectúe el sistema, mayor será el número de datos que enviará al ordenador y por lo tanto se reproducirá con mayor fidelidad la imagen.

Por otra parte, la cantidad de barridos tiene que ver con el tiempo que se tome para la exploración, así como por la dosis de radiación que se

emplee y que recibe el paciente. Por eso, es inversa la relación entre la rapidez de la exploración y la posibilidad de movimientos del paciente, por una parte, y por la otra, la cantidad de imágenes. En consecuencia, es necesario buscar la relación más adecuada entre el mínimo tiempo de exploración y la menor dosis de radiación, que nos permita obtener la cantidad de proyecciones necesarias para que la computadora pueda reconstruir una imagen de buena calidad.

La evolución tecnológica de la TC es impresionante, por lo que hoy en día existen varias clases de exploradores. Así, actualmente se habla de las generaciones de TC, agrupadas de acuerdo al método de recolección y almacenamiento de los datos y en el número de detectores. Esto implica diferencias en el tiempo que se tarda en realizar un corte. Vale destacar que la rapidez de las exploraciones ha aumentado significativamente, pasando de 5 minutos con el equipo de 1972, a 2 segundos apenas cinco años después. Actualmente, el tiempo de los exámenes se mide en milisegundos.

Otro criterio de clasificación de las TC es el tipo de rotaciones del tubo alrededor del paciente. Ya han quedado obsoletas la primera y la segunda generación, pues el tiempo de exploración empleado daba una mala definición radiográfica. En la actualidad se utilizan escáneres de tercera y de cuarta generación que logran imágenes en tiempos que oscilan entre los 2 y los 4 segundos, con una calidad alta. Útil para diagnósticos más precisos.

Generalmente, el proceso de exploración de las primeras generaciones de la TC comprendía las fases siguientes:

- a. El tubo y los detectores se mueven en línea recta de los pies a la cabeza del paciente, en lo que dura el disparo, luego se paran.
- b. El tubo y los detectores rotan primero, comienza de nuevo el movimiento lineal y el disparo. Ahora el sentido del movimiento es de cabeza a pies. Terminando el disparo se paran.

Este proceso que oscila entre trasladarse, detenerse, rotar y de nuevo parar, y así sucesivamente, debe ser repetido unas 180 veces para poder obtener un corte, por lo que los primeros equipos fabricados (por la EMI) exigían 180 barridos, con un giro de 1° entre cada uno. El modo de corte era por un haz puntual de radiación monoenergético, con un simple destello de rayos x dirigido al detector.

Es evidente que el principal inconveniente de estos equipos era el tiempo que se tardaba en realizar un estudio completo, que con un equipo de 1ª generación era de casi 5 minutos por proyección. Este equipo con un fino haz de rayos enfrentado a un detector exigía múltiples traslaciones (más o menos 200) para cada proyección (a cada distinta angulación del tubo). El tiempo de exploración era largo y la dosis de radiación elevada. Estas máquinas estaban diseñadas solo para estudios craneales ya que este elevado tiempo imposibilitaba los estudios abdominales y torácicos (por el movimiento del paciente). La imagen se reconstruye en una matriz de 80×80 . En estos escáneres se utilizaba una bolsa llena de agua para colocar al paciente y lograr una detección uniforme durante el barrido, ya que el agua suavizaba el cambio brusco de atenuación del haz entre el aire y los huesos del cráneo.

Los escáneres de segunda generación también eran del tipo traslación-rotación. Su principal ventaja era que eran más rápido que los de la primera generación. Tenían entre 5 y 35 detectores de radiación y, por tanto, conseguía tiempos de barridos mucho menores (20 seg./proyección). Además al ser el haz de rayos en abanico no era necesario realizar tantas traslaciones, ya que la apertura del haz permite que el giro posterior a cada barrido sea de 5 ó de más grados (con un giro de 10° solo se necesitan 18 barridos para obtener una imagen de 180°). Esto y la existencia de un conjunto de detectores permiten que con una sola traslación se obtenga el mismo resultado que con varias traslaciones en un equipo de primera generación (para cada proyección solo se realizaba 2 traslaciones) reduciendo el tiempo de exploración de tres minutos a veinte segundos. La detección simul-

tánea a través de varios detectores aumenta además la calidad de la imagen.

Los escáneres de tercera generación, introducidos a partir de 1977, cubre casi la totalidad de TC. En esta generación se vuelve a reducir considerablemente el tiempo de corte, gracias al aumento del número de detectores y a la incorporación de los nuevos avances en el software informático. Los escáneres de la tercera generación ya no realizan la traslación, el método de recopilación de datos está basado en un movimiento de rotación, con lo que abarcan un ángulo de giro de alrededor del paciente de 240° a 360°, según la velocidad.

Otra característica de estos equipos es que el modo de corte es por continuos destellos pulsados durante la rotación, con un haz de radiación monoenergético y en abanico amplio (se abre entre 30-60°). Además, hay un mayor número de detectores: entre 260 y 750, colocados en una matriz curvilínea. De esta manera, con estas innovaciones tecnológicas, el tiempo empleado en realizar un corte y representarlo en pantalla se reduce a entre 4.8 y 10 segundos.

En los equipos de TC de tercera generación, el haz cubre por completo al paciente durante todo el examen, permitiendo la matriz curvilínea que la distancia entre fuente y detector sea siempre constante, lo que facilita la reconstrucción de las imágenes. Esto permite también una mejor colimación, lo que reduce la radiación dispersa. Este tipo de colimación se llama COLIMACIÓN PREDETECTOR o POST-PACIENTE que tiene un funcionamiento parecido al de una rejilla en la radiografía convencional y COLIMACIÓN PRE-PACIENTE, que reduce la dosis que recibe el examinado. La colimación pre-paciente determina además el grosor de la sección de tejido que va a ser explorada.

Los escáneres de cuarta generación, igual que los de la tercera, solo tienen movimiento de rotación, pero en este caso solo gira el tubo y los detectores permanecen fijos. La detección de la radiación se consigue

Però la innovaci3n tecnol3gica no ha parado. Con el TC helicoidal, que comprende un hardware m1s potente, se aprovecha el giro continuo de detectores y del tubo que irradia los rayos X con el movimiento continuo de la mesa de estudio. El conjunto de todos estos movimientos hace que la resultante sea una espiral o h3lice. Con esta forma de estudio se consigue que el tiempo 1til sea el 100%, mejorando considerablemente el tiempo de exploraci3n. El TC espiral o helicoidal se utiliza desde 1989, siendo un instrumento de diagn3stico nuevo y de mejores prestaciones que los anteriores. Con esta t3cnica es posible obtener mejores im1genes de estructuras anatómicas implicadas en los movimientos respiratorios, resultando muy adecuada en el estudio del t3rax, abdomen y pelvis, aunque tambi3n nos permite obtener im1genes de otras regiones del cuerpo en las que no existen problemas de movimiento como son la cabeza, la columna y las extremidades.

La TC Helicoidal logra producir y manejar una gran cantidad de datos, gracias a nuevos tipos de computadoras, cada vez m1s r1pidas y con mayor capacidad de almacenamiento de informaci3n. Esto implic3 el desarrollo de nuevos algoritmos de reconstrucci3n para hacer el equipo capaz de reconstruir las im1genes en los distintos planos.

Cuando se inicia un examen, el tubo de rayos X gira de forma continua sin invertir su movimiento, mientras la camilla se desplaza con el paciente a trav3s del plano de rotaci3n del haz de RX. En todos los barridos de TC espiral se recogen los datos de manera continua. Con estos datos despu3s podremos reconstruir la imagen de cualquier corte transversal del paciente a lo largo del eje Z.

Como en la TC espiral los datos se reciben de forma continua, al construir la imagen, el plano de la misma no contiene los datos suficientes para su reconstrucci3n. Por ello, para poder reconstruir la imagen en cualquier punto del eje Z se aplica un programa inform1tico llamado "algoritmo de interpolaci3n" (nos permite determinar un valor desconocido entre otros 2 conocidos).

diación sobre la zona, sino que son producto de un complejo proceso matemático.

Las reconstrucciones planares permiten lograr planos axiales, coronales, sagitales y también planos inclinados y curvos. Todo ello con buena calidad y en muy poco tiempo, lo cual va a ayudar mucho en la delimitación espacial de la patología. Con la reconstrucción tridimensional podemos además manejar el color que asignamos a un rango determinado de densidad, su transparencia e incluso su textura, por lo que asignando colores diversos a los diferentes rangos de densidad obtenemos unas imágenes espectaculares y de gran realismo.

A finales de los años 90, se produce una mejora en la TAC helicoidal surgiendo la **Tomografía Computada Helicoidal Multicorte**, donde el tiempo de exploración ya se reduce a 0,5 segundos. Para lograr esto, se rediseñaron los generadores de Rayos X (incorporados al Gantry), los Tubos de Rayos X, y las placas electrónicas que están en la parte móvil. Además, se desarrollaron equipos con varias matrices de detectores para producir varios cortes al mismo tiempo en que antes se producía uno solo (los detectores Matriciales permitían la adquisición simultánea de 4 cortes por giro).

El siguiente paso de la innovación tecnológica fue realizar 8 y 16 cortes simultáneos. Y actualmente ya se habla de 32 y 64 cortes por giro. Es obvio que esta tecnología ha revolucionado el diagnóstico por imagen ya que las ventajas introducidas son enormes.

Los cortes más anchos para un mismo miliamperaje tienen mejor contraste, ya que la señal detectada es mayor, pero tiene menos resolución espacial por el aumento del tamaño del vóxel. También se puede analizar un volumen de tejido más grande con el mismo contraste y un menor mA.



no están más de 10 minutos en la sala de examen, lo que implica que se puede incrementar la agenda hasta 5 pacientes por hora.

- 7. Optimización del contraste endovenoso:** por la rapidez de adquisición de las imágenes.
- 8. Eliminación de cortes adicionales,** ya que al manejar un volumen, es posible, luego de finalizado el estudio, hacer todas las reconstrucciones que uno quiera y en los planos que uno desee.

Técnicas Tomográficas.

Actualmente, la mayoría de las tomografías se realizan mediante la técnica helicoidal. En ella, el tubo de rayos X realiza revoluciones continuas de 360 grados, mientras el paciente es desplazado lentamente a través del haz de rayos X que lo circunda. La información para las imágenes se obtiene como un cilindro virtual, y ya no a través de una serie de cortes transversales uno después del otro. Este “cilindro” de datos se divide a menudo en cortes individuales que tienen el mismo espesor que el haz de rayos X.

El número y la localización de los cortes axiales de la TC pueden seleccionarse de manera que los cortes sean contiguos o superpuestos. Estas últimas, son útiles para detectar lesiones más pequeñas que el espesor del corte. Los cortes más delgados generan imágenes con más detalles aprovechables para la interpretación debida, especialmente si se utilizan los datos para la reconstrucción de imágenes en los planos sagital y coronal. Para obtener imágenes del tórax que carezcan de los artefactos que genera el movimiento, lo mejor es obtenerlas conteniendo el aire durante una única respiración. Por esa razón, en algunos pacientes es necesario limitar el tiempo de barrido no más de 20 a 30 segundos.

La TC helicoidal multicorte se ha difundido ampliamente. En lugar de utilizar una única fila de detectores que recibe los fotones de un haz de rayos X, estos equipos usan múltiples filas de detectores que reciben

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

CAPÍTULO VIII

RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR



Como antecedentes de la RM, se cuenta, en primer término, el desarrollo matemático denominada la transformada de Fourier, la cual es una fórmula por la cual se expresa la suma de integral de funciones trigonométricas en 1822. Ya en 1820, Oersted descubriría el electromagnetismo o la relación entre el magnetismo y la circulación eléctrica. André Ampere desarrolla una teoría completa del electromagnetismo a partir del descubrimiento de Oersted (la ley de Ampere) que describe matemáticamente la fuerza magnética que interactúa entre dos corrientes eléctricas. Faraday, en 1830, descubrió y describió cómo los imanes pueden inducir una corriente eléctrica, fenómeno denominado inducción electromagnética. A estos notables descubrimientos que consolidaron al electromagnetismo como una rama de la física, hay que agregar los nombres de aquellos que dieron vida a la electricidad y el electromagnetismo durante los siglos XVIII y XIX. Entre ellos destacan hombres como Benjamín Franklin (1706-1790) con sus investigaciones primigenias de electricidad; Charles Coulomb (1736- 1806) con el estudio de las fuerzas electrostáticas; Alessandro Volta (1745-1827) con su invención de la batería; Luigi Galvani (1737-1798) con sus estudios de la relación entre actividad muscular y electricidad; Thomas Edison (1847-1931) con sus avances hacia el tendido eléctrico y la invención del bulbo eléctrico; Georg S. Ohm (1787-1854) con sus estudios de la resistencia eléctrica; G.R. Kirchhoff (1824-1887) con sus leyes de conducción en los circuitos; H.K. Onnes (1853-1926) con el descubrimiento de la superconducción; Nikola Tesla (1856-1943) con sus trabajos en ondas electromagnéticas; Edwin.H. Hall (1855-1938) con sus experimentos de campo eléctrico; Heinrich Hertz (1857-1894) y James C. Maxwell (1831-1879) y sus trabajos en ondas electromagnéticas; Joseph Henry (1797-1878) con sus trabajos en inducción magnética; Pierre E Weiss con sus trabajos en ferromagnetismo; Heinrich Lenz (1804- 1865) con sus trabajos de inducción electromagnética. Todos ellos contribuyeron al desarrollo de la tecnología que hoy hace posible la aplicación de la resonancia magnética en medicina.

Más tarde, se agregan, en el campo de la física, los hallazgos de Pauli, quien en 1924 formula un nuevo número cuántico (el cuarto), el del spin del electrón (movimiento rotatorio de esa subpartícula) y el principio de exclusión, por el cual se sabe que dos electrones en el mismo átomo no pueden tener los mismos números cuánticos. Pauli, en los años veinte demostró que muchas de las características de la estructura hiperfina de los espectros atómicos se podían explicar si los núcleos atómicos presentaban también *spin* y su respectivo momento magnético. En 1933, los experimentos de Otto Stern (1888-1969) y Walther Gerlach (1889-1979) separaron haces de átomos en un campo magnético no homogéneo de acuerdo a la orientación del momento magnético de sus electrones desapareados. Gorter y Rabi logran un esclarecimiento de los aspectos teóricos y explicativos de la resonancia magnética, consiguiendo el segundo científico el premio Nóbel por su avance en la espectroscopia por radiofrecuencia que permitía un nuevo método para medir el momento nuclear.

La era médica comienza con Eric Odeblad y Gunnar Lindstrom(2), el primero médico y fisiólogo suizo (Figura 9), muy reconocido por sus estudios de las propiedades físico-químicas e inmunológicas del moco cervical. Ambos, en 1955 obtuvieron espectros del protón de eritrocitos, músculo e hígado de ratas y fluidos humanos. Posteriormente a éste y otro trabajo pionero del mismo Odeblad, Lindstrom y B. N. Bhar en 1956, en la década de 1960 comenzaron a trabajar los grupos de Jhon Mallard y Jim M.S. Hutchison, ambos físicos, en la Universidad de Aberdeen en Escocia, el médico Raymon V. Damadian en el Downstate Medical Center de Brooklyn y el bioquímico Donald P. Hollis en la Universidad John Hopkins de Baltimore.

Entre 1963 y 1971 Mallard en conjunto con P.D. Cook primero, con M. Kent después y luego con J. Hutchison mostraron las diferencias en los espectros de resonancia de los electrones (*electrón spin resonance*) entre tumores de hígado y riñón y fallaron al intentar obtener señales de un ratón vivo(27). En 1971, apareció en escena Raymond V. Damadian

con un trabajo hoy clásico y que, como se refleja en los trabajos posteriores de Mallard y de Hollis, fue un aporte desafiante que estimuló el desarrollo posterior de la RM. Se publicó en Science bajo el título “Tumor detection by nuclear magnetic resonance”.

Aquí, Damadian propone: “Las medidas de resonancia *spin-eco* pueden ser usadas como un método para discriminar entre tumores malignos y tejido normal”. El encontró diferencias en T1 y T2 entre seis muestras de tejidos normales y dos tumores sólidos del hígado y el riñón de la rata. Además, comparó fibroadenomas con dichos tumores, encontrando que también se diferenciaban de ellos. Así, los valores de T1 y T2 de tumores se encontraban fuera del rango de los valores normales y de los fibroadenomas. Damadian apodó al método analítico para diferenciar los valores de relajación “FONAR” (*field focused nuclear magnetic resonance*). Sus resultados los corroboró con tejido humano en 1974(29). Siguió trabajando con su equipo construyendo el primer tomógrafo de RM de cuerpo entero que llamaron “el indomable”, obteniendo la imagen de un tumor en una rata, publicada en la revista Science en 1976.

Generalidades

La imagen por resonancia magnética (IRM) tiene como principales ventajas: a) su capacidad multiplanar, con la posibilidad de obtener cortes o planos primarios en cualquier dirección del espacio; b) su elevada resolución de contraste, que es cientos de veces mayor que en cualquier otro método de imagen, c) la ausencia de efectos nocivos conocidos al no utilizar radiaciones ionizantes, y d) la amplia versatilidad para el manejo del contraste.

La resonancia magnética se fundamenta en el descubrimiento físico de la absorción de energía por un núcleo de un átomo, pues es magnéticamente activo, debido a dos características fundamentales: un número impar de protones y un espín;. Estas características las reúne el átomo de hidrógeno que existe en las moléculas de agua, que es el



- Implantes cocleares
- Cuerpos extraños metálicos en el cuerpo
- Bombas de medicación

La RM deben indicarse con precaución en mujeres embarazadas y pacientes con implantes no ferrosos de menos de 2 semanas de realizados. El contraste de Gadolinio utilizado en esta técnica está contraindicado con la lactancia, hasta pasadas las 48 hs. En cuanto al uso médico y normado del Ultrasonido no existen efectos adversos mayores detectados (20).

Las técnicas de RM hace tiempo establecidas compensaban el movimiento respiratorio al monitorizar la respiración del paciente y sincronizar de varias maneras la adquisición de las imágenes con el ciclo respiratorio. Las técnicas de RM más recientes permiten obtener imágenes del tórax tan rápidamente que permiten completarlas durante una sola respiración. Estas técnicas han mejorado en forma marcada la capacidad de la RM para estudiar el corazón y los grandes vasos, en particular la aorta torácica.

Las adquisiciones más rápidas y los métodos mejorados para sincronizar la adquisición de la imagen con el electrocardiograma del paciente (gatillado cardíaco) pueden utilizarse para registrar imágenes seriadas del corazón a lo largo del ciclo cardíaco. Gracias a estos avances es posible, mediante un equipamiento actualizado de RM, realizar un exhaustivo examen cardíaco, para determinar la motilidad parietal, la isquemia miocárdica, el flujo de sangre arterial y la función valvular.

Todavía existen limitaciones para las aplicaciones de la RM en el tórax. La resolución espacial

de la RM en el tórax aún es inferior a la resolución de la TC, y la elevada intensidad del campo magnético necesario para la RM también constituye un problema cuando los pacientes requieren sostén vital o una monitorización fisiológica compleja. Los exámenes de RM también

llevan todavía mucho más tiempo que la TC helicoidal del tórax, en particular si se utilizan equipos con múltiples filas de detectores.

Existe consenso de que los pacientes que requieren una evaluación adicional luego de la radiografía de tórax deben ser estudiados con una TC torácica. En ese momento la RM debe utilizarse como una modalidad secundaria de diagnóstico por la imagen en los pacientes que tienen hallazgos no concluyentes en la TC o en los que se requiere alguna información específica, como por ejemplo la evaluación de invasión tumoral de la caja torácica (cuadro 1-7). Tanto la RM como la TC helicoidal con múltiples filas de detectores son muy eficaces en el diagnóstico del corazón y el sistema vascular. La capacidad de la RM para evaluar el sistema cardiovascular sin medios de contraste nefrotóxicos o radiación ionizante se contrapone con la mayor velocidad y facilidad de la TC helicoidal con múltiples filas de detectores.

La elección de la modalidad varía entre las instituciones y muchas veces se adapta a cada paciente en particular.

Técnicas en Resonancia Magnética Nuclea

Hay básicamente dos modalidades de RM

Las denominadas T1 y la T2. La primera, muestra en forma óptima la anatomía normal de tejido bñando y la grasa (lo cual puede servir, por ejemplo, para confirmar que la masa detectada tiene grasa). La utilidad básica de las imágenes potenciadas en T1 en neuroimágenes, radica en que estas proporcionan un excelente detalle de la anatomía y, si se usa medio de contraste intravenoso, como se verá más adelante, estas imágenes también pueden demostrar entidades patológicas. Las imágenes ponderadas en T2 muestran de maenra óptima líquido y alteraciones, por ejemplo: tumores, inflamación y traumatismos.

Comúnmente se manipulan varios parámetros técnicos, como el tiempo de repetición, el tiempo de eco y el ángulo de deflexión de la magnetización, para lograr un contraste diferente entre los tejidos, es decir,

información acerca de su T1 o de su T2. Los más comúnmente manipulados son: (23).

Existen dos secuencias básicas a partir de las cuales se han modificado ciertos parámetros para generar la multiplicidad de secuencias con las que se cuenta en la actualidad. Se llaman secuencia *spin echo* y secuencia gradiente de *echo*. Lo importante es entender que, sea cualquiera de estas dos la que se use, las imágenes que se pueden obtener están igualmente potenciadas en T1, en T2 o en densidad de protones.

La secuencia más frecuentemente empleada es la secuencia *spins*, conocida también como eco de *spin*. Se caracteriza por la aplicación inicial de un pulso de radiofrecuencia de 90 grados, seguido más adelante por uno de 180 grados; luego del doble del tiempo entre estos dos pulsos se recibe una señal o eco proveniente del tejido. Se produce un pulso inicial de 90 grados seguido de pulso de 180 grados. Luego del doble del tiempo entre estos dos impulsos, se recibe la señal o eco que proviene del tejido estimulado. Se aplican sucesivamente varias secuencias de pulsos de 90 y 180

grados, cada una de las cuales produce un eco que conformará la onda de radiofrecuencia que provee la información molecular.

Las imágenes potenciadas en T1 se obtienen usando tiempo de repetición y tiempo de eco cortos. Al usar tiempos de eco cortos, la información se adquiere antes de la relajación transversal; es por esto que las diferencias en el componente de la magnetización longitudinal entre los tejidos aparecen como las diferencias en la intensidad de señal.

Debido a esto, estructuras con tiempos de relajación muy cortos, como la grasa, aparecen con alta intensidad de señal con respecto a aquellas con tiempos de relajación más prolongados, como el agua, por lo que estructuras ricas en agua, como el líquido cefalorraquídeo, se ven

de muy baja intensidad de señal. Así mismo, la sustancia blanca del cerebro, por ser rica en grasa, se ve con mayor señal en relación con la sustancia gris, que tiene una baja señal por su alto contenido de agua. Con un tiempo de repetición largo, los tiempos de relajación longitudinal entre los tejidos serán aproximadamente iguales. Usando tiempos de eco largos, las diferencias en el tiempo de relajación transversal entre los tejidos aparecen como las diferencias en el contraste en las imágenes. Por lo tanto, usando tiempos de repetición y tiempos de eco largos, se elimina el efecto T1 y se obtienen imágenes potenciadas en T2. Esta secuencia deja ver la grasa como una señal de baja intensidad y, el líquido, como una señal de alta intensidad, por lo que es útil en la identificación de lesiones patológicas que suelen caracterizarse por un aumento en el contenido de agua. Se produce también inversión en la intensidad de señal de la sustancia blanca, que se observa de menor intensidad de señal con respecto a la sustancia gris.

Cuando se combinan un tiempo de repetición largo y un tiempo de eco corto, las diferencias en el componente de la magnetización longitudinal entre los tejidos corresponde a la diferencia en la densidad de protones en el núcleo de las moléculas de hidrógeno para cada tejido y se obtienen imágenes potenciadas en densidad de protones. Las estructuras líquidas producen una señal intermedia y hay una pobre diferenciación entre sustancia blanca y sustancia gris. Esta secuencia antes se usaba para caracterizar lesiones de la sustancia blanca; sin embargo, ha sido remplazada por otras secuencias por lo que ya no se usa en el protocolo de rutina en neuroimágenes.

Una variante de la secuencia *spin echo*, consiste en añadir un pulso inicial de 180 grados antes de la secuencia *spin echo*. A este pulso inicial de 180 grados se le conoce como pulso de inversión e implica un parámetro adicional conocido como tiempo de inversión (TI), usado para invertir o anular selectivamente la señal de algún tejido.

Si el tiempo de inversión es corto, se obtiene una imagen en la cual se cancela la señal del tejido graso; a esta secuencia se le denomina STIR (*Short Time Inversion Recovery*). No suele hacerse de rutina, sino cuando interesa evaluar estructuras con alto contenido graso, como la órbita ocular.

Un proceso denominado de adquisición de ecos por inversión de gradientes logra una forma de adquirir señales o ecos sin la aplicación de pulsos de 180 grados después del pulso inicial de 90 grados. En lugar de esa operación, se invierte sucesivamente la polaridad del campo magnético externo al que está siendo expuesto el tejido. Es una técnica en la cual se inicia con un pulso similar al usado en la secuencia *spin echo*, pero de menor duración, esto hace que la orientación de los campos magnéticos de los átomos en precesión sea modificada en un ángulo menor de 90 grados. En esta secuencia el parámetro que se debe tener en cuenta es el ángulo de deflexión de la magnetización, ya que es más importante que el tiempo de repetición y el tiempo de eco para determinar el tipo de información que se pretende obtener.

En general, los ángulos mayores de 45 grados proporcionan información potenciada en T1 y los pequeños (menos de 30 grados) tienen muy bajo impacto T1. Esto significa que con ángulos tan pequeños no se obtiene información potenciada en T2, sino que simplemente tiene muy poca influencia de T1, por lo que la información que se obtiene es potenciada en T2 o susceptibilidad magnética, secuencia sensible a las heterogeneidades del campo magnético causadas por múltiples factores, entre ellos, los productos de degradación de la hemoglobina. Por esto, su utilidad se basa en la detección de hemorragias y en la evaluación de la transformación hemorrágica de las lesiones.

Patologías más comunes diagnosticadas en RMN.

Se utiliza generalmente para diagnosticar los aneurismas de los vasos del cerebro, los trastornos del ojo y el oído interno, la esclerosis múltiple, los trastornos de la médula espinal, el accidente cerebrovascular,



tumores, lesiones cerebrales a causa de un traumatismo.

Anexos

Imágenes de aspectos normales y patologías de diferentes enfermedades.

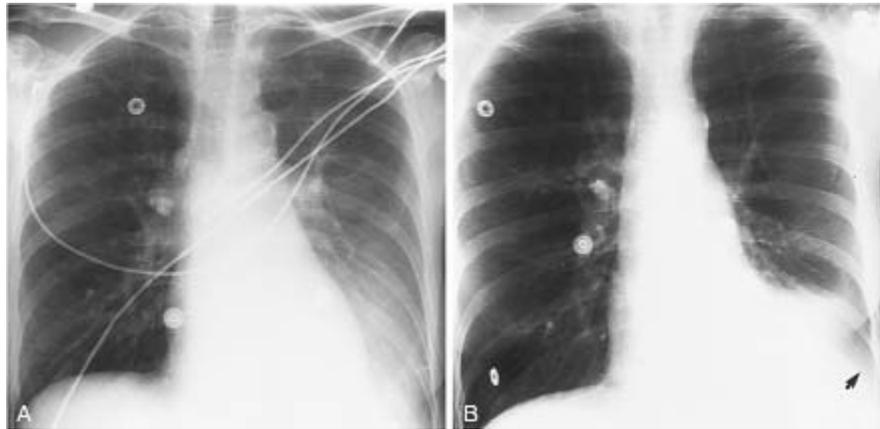


Figura 1. Proyección anteroposterior del tórax en decúbito supino: derrame pleural. **A**, Se observa una opacidad aumentada en la base izquierda que gradualmente disminuye a medida que alcanza el nivel del hilio, lo que indica un derrame pleural libre en la cisura mayor o un derrame pleural declive en el espacio pleural posterior. Los vasos pulmonares inferiores se definen nítidamente por la densidad del líquido, lo que indica la localización extraparenquimatosa del líquido.

B, La placa frontal en posición vertical del mismo paciente muestra un cambio de aspecto, ya que el derrame ahora se acumula en la base izquierda (flecha).

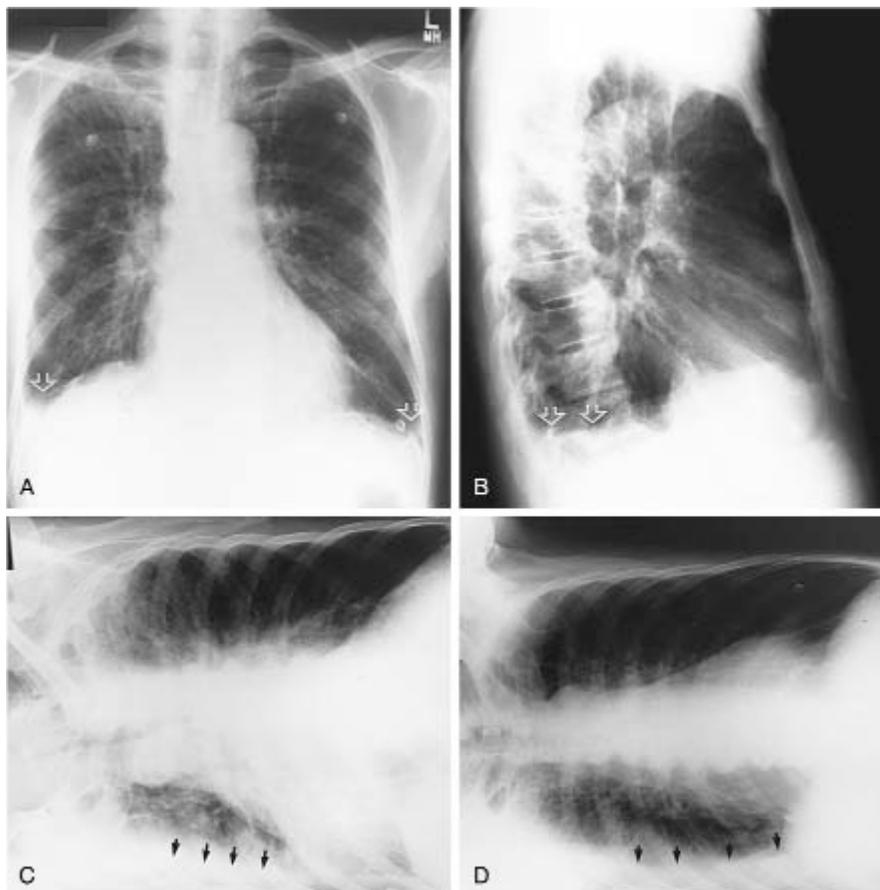


Figura 2. Radiografías bilaterales en decúbito lateral: derrame pleural bilateral. Las proyecciones posteroanterior **(A)** y lateral **(B)** en posición vertical muestran un borramiento mínimo de los ángulos costofrénicos y de los surcos como evidencia de derrames (flechas abiertas), porque son predominantemente subpulmonares. En el espacio subpulmonar pueden estar ocultos hasta 300 mL de líquido. Las placas en decúbito lateral izquierdo **(C)** y derecho **(D)** (denominadas según el lado del paciente que mira hacia abajo) muestran derrames libres de considerable volumen que se desplazan a lo largo de las goteras torácicas declives (flechas). Los ángulos costofrénicos no declives tienen bordes definidos, lo que indica que el derrame no está tabicado.

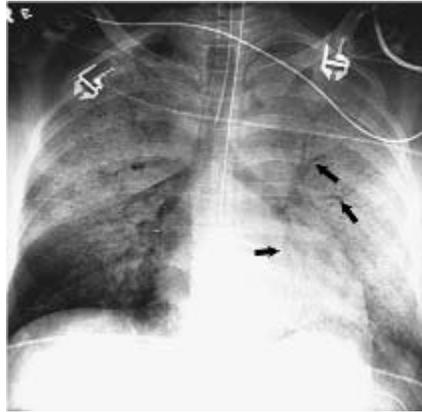


Figura 3. Radiografía de tórax, proyección posteroanterior: broncogramas aéreos en el síndrome de distrés respiratorio del adulto. Los broncogramas aéreos (flechas) indican la presencia de alvéolos sin aire con bronquios permeables. El patrón de ramificación tubular indica que la anomalía está con seguridad presente en el parénquima pulmonar.

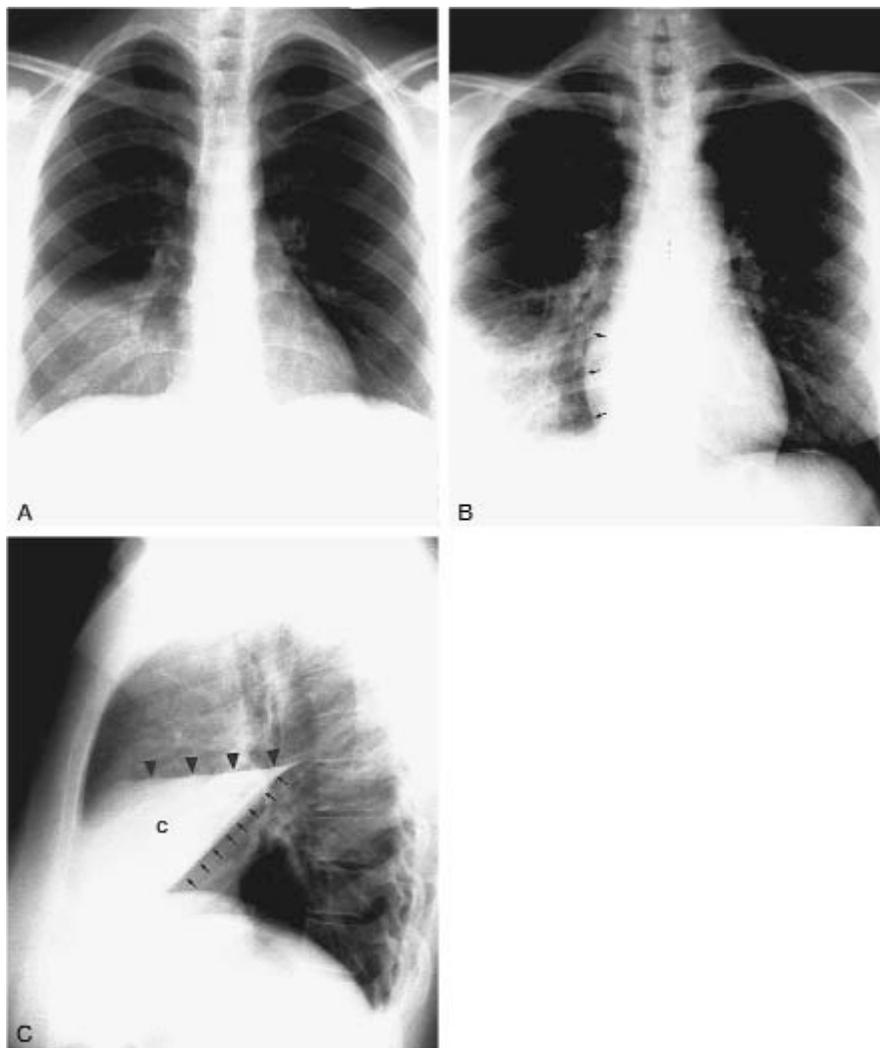


Figura 4. Examen del tórax de frente y perfil: se observa el signo de la silueta en una neumonía del lóbulo medio del pulmón derecho. En la proyección frontal (**A**) no se observa un borde cardíaco lateral derecho definido. La silueta está oculta por un infiltrado en el lóbulo medio derecho. Este no es el caso si la neumonía se localiza en el lóbulo inferior (**B**) ya que queda fácilmente visible el borde cardíaco derecho (flechas). **C**, La placa lateral del mismo paciente que en A muestra la totalidad del lóbulo medio ocupado por la enfermedad del espacio aéreo. Obsérvese la posición de la cisura menor (puntas de flecha) que separa el lóbulo medio del superior y la cisura mayor u oblicua (flechas) que separa el lóbulo medio del lóbulo inferior. C, consolidación.

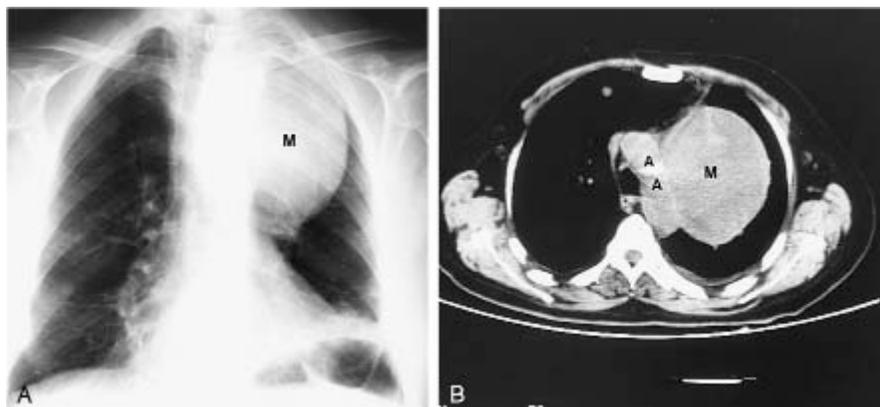


Figura 5. Radiografía de tórax posteroanterior (PA) y tomografía computarizada (TC): una masa en el centro del mediastino oculta la silueta del cayado aórtico. **A**, La radiografía de tórax en proyección PA muestra una gran masa que se proyecta en las adyacencias del lóbulo superior del pulmón izquierdo y enmascara la silueta del botón/cayado aórtico. **B**, La TC a nivel del cayado aórtico muestra la voluminosa masa (M) lindante con el margen lateral del cayado aórtico (AA).

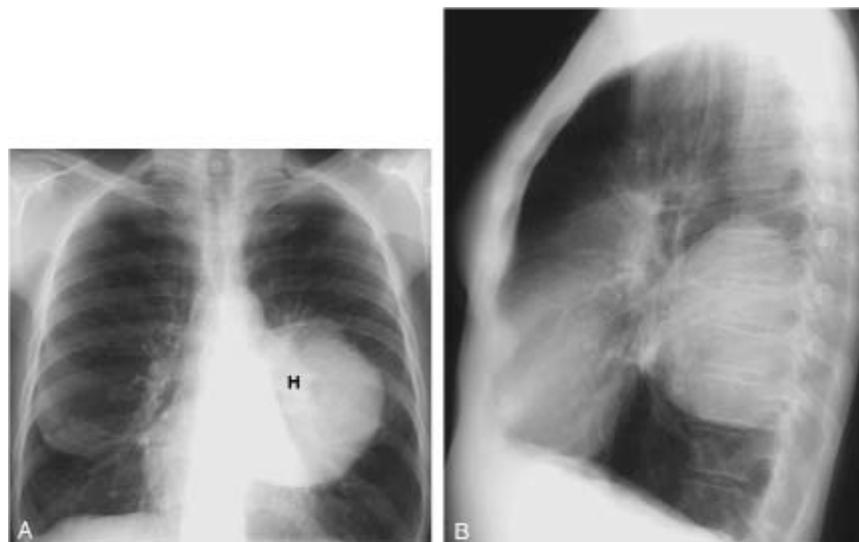


FIGURA 6. Radiografía de tórax posteroanterior (PA): Masa de gran tamaño en el lóbulo inferior del pulmón izquierdo que se superpone al borde del corazón y del hilio izquierdo, pero que no los oculta. **A**, Radiografía PA de un paciente con carcinoma de pulmón no microcítico. En el pulmón izquierdo está presente una masa voluminosa. La masa está superpuesta al borde del corazón y del hilio, pero no hace

desaparecer ninguna de las dos siluetas. Por consiguiente, la masa debe encontrarse detrás del corazón y del hilio pulmonar. Obsérvese que el hilio izquierdo y una porción del corazón aparecen más opacas que lo habitual. Esto es un ejemplo del signo de la suma. H, hilio. **B**, La radiografía en proyección lateral muestra que la masa está en el lóbulo inferior izquierdo, posterior al hilio y al corazón.

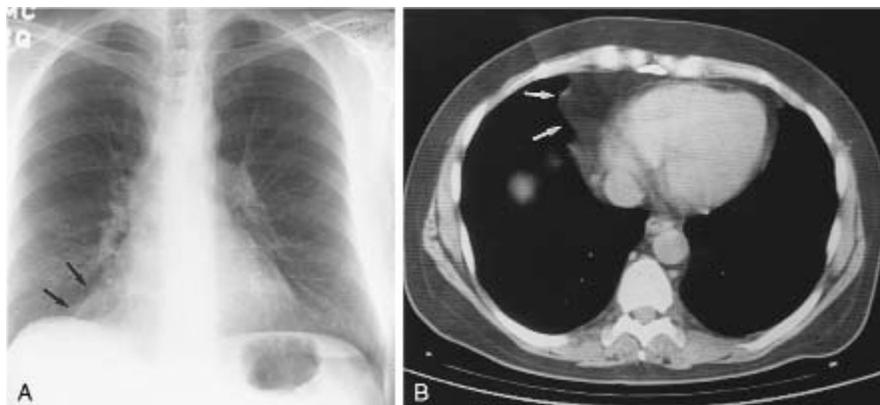


Figura 7. Radiografía de tórax posteroanterior y tomografía computarizada (TC) sin administración de contraste: cuerpo adiposo pericárdico. **A**, En la radiografía, el cuerpo adiposo cardiofrénico (flechas) está bien definido y puede estar presente en ambos ángulos cardiofrénicos, derecho e izquierdo. En este caso enmascara parte de la silueta cardíaca. **B**, La TC de tórax sin administración de contraste es diagnóstica (flechas), al mostrar el aspecto característico de los tejidos grasos. Los números de atenuación (Hounsfield) son específicos para el diagnóstico de tejido graso (–40 a –100).

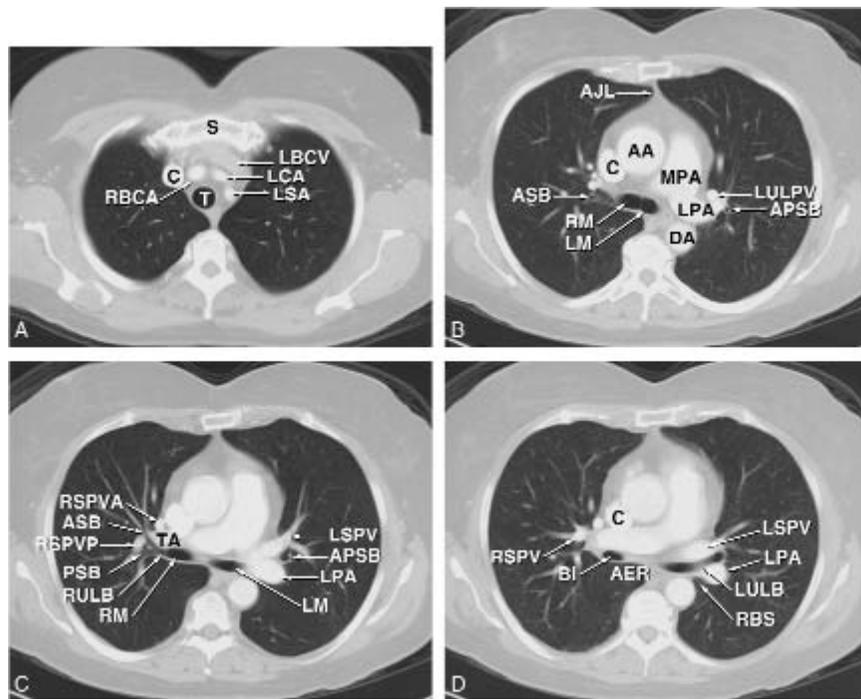


Figura 8. Anatomía normal del tórax en una tomografía computarizada (TC) utilizando ventanas pulmonares. **A**, Sección por encima del nivel de la carina. C, vena cava superior; LBCV, vena braquiocefálica izquierda; LCA, arteria carótida izquierda; LSA, arteria subclavia izquierda; RBCA, arteria braquiocefálica derecha; S, esternón; T, tráquea. Obsérvese que los vasos se encuentran al lado de la pared izquierda de la tráquea, pero no al lado de la pared derecha. Esta disposición determina que el borde externo de la pared derecha de la tráquea se visualice claramente en la radiografía de tórax. **B**, Sección a nivel de la carina. AA, aorta ascendente; DA, aorta descendente; AJL, línea de unión anterior; APSB, bronquio del segmento apicoposterior del lóbulo superior izquierdo; ASB, bronquio del segmento apical del lóbulo superior derecho; C, vena cava superior; LPA, arteria pulmonar izquierda; LULPV, vena pulmonar del lóbulo superior izquierdo; MPA, tronco pulmonar; RM y LM, bronquios principales derecho e izquierdo. **C**, Sección 1 a 2 cm por debajo de la carina. Obsérvese en este nivel la buena definición de la anatomía segmentaria del lóbulo superior, particularmente del pulmón derecho. ASB, bronquio del segmento anterior; LM, bronquio principal izquierdo; LPSV, vena pulmonar superior izquierda y arteria del segmento anterior; RSPVP, vena pulmonar posterior y superior

derecha; RULB, bronquio del lóbulo superior derecho; TA, tronco anterior. **D**, Imagen axial a nivel del bronquio intermedio y de los bronquios del lóbulo superior izquierdo. AJL, línea de unión anterior; BI, bronquio intermedio; LPDA, arteria pulmonar descendente izquierda; LSPV, vena pulmonar superior izquierda. Obsérvese el trayecto horizontal del bronquio principal izquierdo que se dirige lateralmente y se bifurca a nivel del bronquio del lóbulo superior izquierdo (LULB). El pulmón aireado está normalmente presente en el receso acigoesofágico (AER) y adyacente a la estría retrobronquial (RBS).

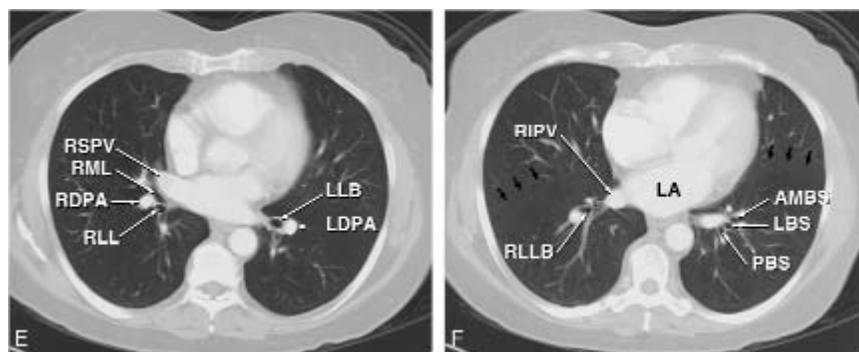


Figura 9. TC axial a nivel de los bronquios del lóbulo medio y del lóbulo inferior. LPDA, arteria pulmonar descendente izquierda; RDPA, arteria pulmonar descendente derecha; RSPV, vena pulmonar superior derecha. Obsérvese la bifurcación del bronquio intermedio en los bronquios del lóbulo inferior (RLLB) y bronquio del lóbulo medio (RML) del pulmón derecho. La llingula (no se muestra en la figura) se origina del bronquio principal izquierdo ligeramente por arriba del nivel de esta sección. **F**, TC axial a través de los lóbulos inferiores. AMBS, bronquio del segmento basal anteromedial; LA, aurícula izquierda; LBS, bronquio del segmento basal lateral; PBS, bronquio del segmento posterior basal; RIPV, vena pulmonar inferior derecha; RLLB, bronquios del segmento basal del lóbulo inferior derecho.

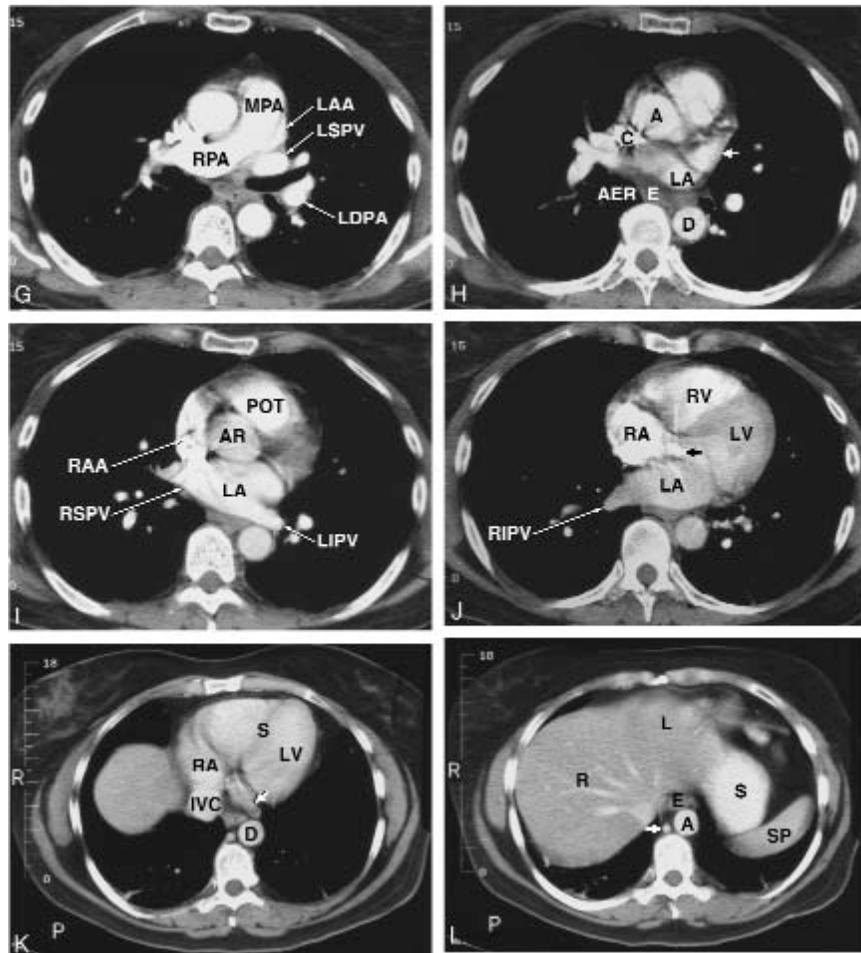


Figura 10. La TC con administración de contraste ligeramente más abajo que en F muestra el tronco pulmonar (MPA) y la arteria pulmonar derecha (RPA). La arteria pulmonar descendente izquierda (LDPA) se observa detrás del bronquio del lóbulo superior izquierdo. La vena pulmonar superior izquierda (LSPV) se observa nuevamente, e inmediatamente enfrente de ella se encuentra la orejuela de la aurícula izquierda (LAA). **H**, TC con administración de contraste ligeramente más abajo que en G. Se distinguen claramente la aorta ascendente (A), la vena cava superior (C), la aorta descendente (D) y el esófago (E). Son visibles la aurícula izquierda (LA) y la orejuela de la aurícula izquierda (flecha). Adyacente al esófago, el receso acigoesofágico (AER) es cóncavo, lo que es normal.

Escalas usadas en Diagnósticos por imagen

La clasificación de los niveles de evidencia se ha traducido en grados de recomendación en base al sistema desarrollado por la Agency for Health Care Policy and Research del Departamento de Salud de los EEUU [6-7]). Los niveles son:

[A]

- Estudios diagnósticos de alta calidad en los cuales una prueba es comparada de forma ciega e independiente con un estándar de referencia en un espectro apropiado de pacientes.
- Revisión sistemática y metaanálisis de estudios de alta calidad.
- Guías de práctica clínica diagnósticas/reglas de decisión clínica validadas.

[B]

- Estudios de comparación ciega e independiente del nuevo test y el estándar de referencia en un grupo de pacientes no consecutivos o en un grupo limitado de pacientes.
- Estudios en los que el estándar de referencia no fue realizado en todos los sujetos.
- Revisiones sistemáticas de tales estudios.
- Guías de práctica clínica diagnósticas o reglas de decisión clínicas no validadas.

[C]

- Estudios en los que el estándar de referencia no era objetivo.
- prueba experimental y el estándar de referencia no era ciega o independiente.
- Estudios en los que los resultados de la prueba, tanto positivos como negativos, fueron verificados usando diferentes estándares de referencia.
- Estudios realizados en un grupo no adecuado de pacientes.
- Opiniones de expertos.



Radiografías	Dosis efectivas (mSv)	Número equivalente de Rx tórax
Extremidades y articulaciones	≤0,01	≤ 0,5
Tórax (simple, postero-anterior)	0,02	1
Cráneo	0.06	3
Columna dorsal	0,7	35
Columna lumbar	1.0	50
Cadera	0,4	20
Pelvis	0,7	35
Abdomen	0,7	35
UIV	2,4	120
Esofagograma	1,5	75
Papilla baritada	2,6	130
Tránsito intestinal	3	150
Enema opaco	7,2	360
TC de cabeza	2,0	100
TC de tórax	8	400
TC de abdomen o pelvis	10	500

Glosario

Angiografía:

Examen de los vasos sanguíneos que utiliza imágenes por rayos X, TC o RM y una inyección de un material de contraste radiopaco para obtener imágenes de las arterias de cerebro, corazón, riñones, tracto gastrointestinal, aorta, cuello, pecho, extremidades y del sistema circulatorio pulmonar.

Antena endorrectal:

Un alambre que se inserta en el recto y como parte del examen de resonancia magnética (RM) para obtener imágenes más detalladas de la próstata u otras estructuras internas del cuerpo.

Biopsia guiada por imágenes:

Consiste en el uso de técnicas imagenológicas como TC, rayos X o RM para encontrar una lesión demasiado pequeña para ser palpada.

Colangiografía transhepática percutánea (CTHP):

Procedimiento de rayos X que consiste en inyectar un medio de contraste directamente dentro del hígado para producir fotografías de los conductos biliares

Cámara Gamma:

Se trata de un dispositivo utilizado en medicina nuclear para explorar a pacientes a los que se les han inyectado pequeñas cantidades de materiales radioactivos.

Endoscopía:

Este término hace referencia a la visualización del interior del cuerpo y los órganos con un instrumento óptico con una luz.

Ensayo de CEA:

Es una prueba que se encarga de medir en la sangre el nivel de una proteína llamada antígeno carcinoembrionario, que a menudo se encuentra elevado en los casos de cáncer.

Exploración de huesos por radioisótopo:

Se trata de examen nuclear de imágenes que produce cuadros de los huesos para detectar anomalías causadas por enfermedades o lesiones.

Flebografía:

Este término radiológico es un tipo de rayos X en el que se inyecta medio de contraste en una vena para mostrar los detalles de su estructura y ver si hay anomalías presentes.

Gadolinio:

Es un elemento usado en los medios de contraste para la resonancia magnética nuclear.

Histerosalpingografía

Este término se refiere a dos tipos de exámenes. Por un lado, se trata de un examen de una cavidad del cuerpo, como la pelvis, con un tubo con luz que se inserta a través de una pequeña incisión y, por el otro, también se puede referir al examen del revestimiento de la pared abdominal con un laparoscopio.

Linfangiografía

Examen por rayos X del sistema linfático reemplazado por la linfogammagrafía.

Linfogammagrafía:

Un tipo especial de imágenes por medicina nuclear no invasiva que provee cuadros llamados gammagrafías del sistema linfático.

Mamografía:

Examen radiológico de los senos con rayos X para detectar y diagnosticar patologías de la mama.

Marcador de referencia:

Es una pequeña esfera, solenoide o cilindro metálico que se coloca en un tumor para ayudar a guiar la administración de haces de radiación durante el tratamiento.

Medicina nuclear:

Es una disciplina clínica encargada del uso para fines de diagnóstico y tratamiento, que excluye el uso terapéutico, de fuentes selladas de radiación.

Pancreatografía:

Examen por imágenes de los conductos pancreáticos.

Pielograma:

Estudio radiológico de los riñones, réteres y generalmente de la vejuga.

RAD

Es la unidad científica de medición de la cantidad de energía radiante absorbida en una cierta cantidad de tejido.

Radiación gamma:

Radiación electromagnética de alta frecuencia que consisten en fotones emitidos por elementos radiactivos.

Radiación ionizante:

Radiación que dispone de suficiente energía para disociar átomos o moléculas en átomos o radicales con carga eléctrica en el material irradiado.

Radiocirugía estereotáctica:

Radioterapia de alta precisión que dirige delgados haces de radiación en distintos ángulos hacia un tumor o anomalía en el cerebro.

RMN endorectal:

Imagen por resonancia magnética (RMN) realizada en el interior del recto.

Roentgen (R,r):

Se refiere a la unidad internacional de dosis de exposición a rayos X o rayos gamma.

Sigmoidoscopia:

Es un estudio en que se inserta en el colon un tubo flexible con una pequeña cámara en el extremo, con el objetivo de capturar imágenes del interior de la parte inferior del colon y del recto.

Technecio-99m:

Es una radiosonda que se usa de forma común en la medicina nuclear para muchos diferentes tipos de examen. Se descompone en 24 horas y sin dejar ninguna radiación residual.

Ultrasonido de diagnóstico:

Se trata de un procedimiento que utiliza una sonda para generar ondas sonoras de alta frecuencia para producir imágenes de las estructuras internas del cuerpo con fines diagnósticos.

Frecuencia del sonido:

La frecuencia del sonido se mide en número de ciclos por unidad de tiempo. Normalmente como unidad de tiempo se utiliza el segundo. La unidad de frecuencia (ciclos/seg) se denomina Hertzio (Hz), 1 ciclo/seg = 1 Hz, siendo un KiloHertzio: 1.000 ciclos/seg = 1.000 Hz = 1 KHz y un MegaHertzio: 1.000.000 ciclos /seg. = 1.000.000 Hz = 1 MHz. A

mayor frecuencia mayor calidad de imagen, pero menor penetración en el cuerpo.

Sonido:

Es el resultado del recorrido de la energía a través de la materia en forma de una onda que produce alternativamente los fenómenos de compresión y rarefacción.

Ecos:

Son sonidos, ondas sonoras, que se reflejan, rebotan, tras chocar contra una superficie o barrera capaz de reflejarlos. La interfase reflectante es la superficie o barrera capaz de reflejar los sonidos y por tanto también los ultrasonidos. Esta barrera o interfase existe entre dos medios contiguos o adyacentes con diferente impedancia acústica. La impedancia acústica es la resistencia que un medio opone al paso de los ultrasonidos. La impedancia acústica (Z) es el producto de la densidad (D) del medio por la velocidad (V) a la que el ultrasonido lo atraviesa.

$$Z = D \cdot V$$

Cuanto mayor sea la diferencia entre las impedancias de ambos medios, mayor será la intensidad del eco. De menos a más la impedancia acústica del cuerpo es: aire, agua, músculo y hueso.

Reflexión:

Cuando un haz de ultrasonidos llega a una interfase reflectante experimenta un fenómeno de reflexión: una parte del haz se refleja en forma de ecos (ultrasonidos reflejados) y la otra parte continúa hacia la siguiente interfase. Cuanto mayor sea la diferencia de impedancia acústica entre los dos medios que separa la interfase, mayor será el eco. El principal parámetro de este fenómeno es la amplitud de la onda acústica reflejada y su relación con la amplitud de la onda incidente.

Atenuación:

Es la pérdida de energía que experimenta un haz de ultrasonidos al atravesar un medio como consecuencia de su absorción, reflexión, refracción y/o difusión. La atenuación guarda directa relación con la profundidad y con la frecuencia. Cuanto mayor es el camino que deben recorrer los ultrasonidos resultará que los ecos originados en zonas más distantes tendrán menor amplitud que los originados en zonas superficiales. Este inconveniente se compensa en los aparatos de ecografía con la ganancia: se puede amplificar la señal de forma selectiva en las zonas más profundas.

Intensidad:

Es la cantidad de energía recibida por unidad de superficie. Como unidad de energía se utiliza el Watio (W) y como unidad de superficie el cm²: (W/cm²). Al aumentar la intensidad de una onda sonora aumentan los desplazamientos de las partículas del medio que atraviesa, aumentando por lo tanto el número y tamaño de los ecos que devuelven. Los ultrasonidos que se emplean en ecografía son de muy baja intensidad (10-50 mW/cm²) para evitar cambios en el medio que atraviesan. En la práctica la intensidad se expresa en decibelios (dB) y mide la diferencia de intensidades entre dos puntos: a) I₁ en el punto de origen, b) I₂ en un punto concreto del medio que atraviesa. Esta diferencia de intensidad se expresa en decibelios:

$I_1 - I_2 = 10 \cdot \text{Log}_{10} (I_1/I_2)$:

Si decimos que la intensidad en un determinado punto es de -40 dB estamos diciendo que en ese punto la intensidad es 40 dB menor que en el punto de partida.

Potencia:

Cantidad total de energía producida por unidad de tiempo.



Resolución:

Es la capacidad que tiene un equipo de ecografía para que dos puntos o interfases muy próximas entre sí se representen como ecos diferentes.

Resolución axial:

Cuando es capaz de diferenciar dos puntos o interfases muy próximas en la dirección del haz de ultrasonidos. La resolución axial está inversamente relacionada con la longitud de onda, ya que si la distancia entre los dos puntos problema es menor que la longitud de onda, el equipo de ecografía no tendrá capacidad para identificarlos por separado y los mostrará como un único eco.

Resolución lateral:

Cuando es capaz de diferenciar dos puntos o interfases muy próximas situados en un eje perpendicular a la dirección del haz ultrasónico. A menor longitud de onda mayor resolución axial. A mayor longitud de onda menor resolución axial.

Resolución dinámica:

Capacidad de un ecógrafo para la reproducción del movimiento de algunas estructuras y del movimiento de barrido del transductor. Está en relación con el número de imágenes por segundo.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

BIBLIOGRAFÍA



1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen



Publicado en Ecuador
Noviembre 2022

Edición realizada desde el mes de febrero del 2022 hasta
septiembre del año 2022, en los talleres Editoriales de MAWIL
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito

Quito – Ecuador

Tiraje 50, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman; en
tipo fuente.

1^{RA} EDICIÓN

Fundamentos Radiológicos

y proyecciones de

Diagnóstico por Imagen

Autores Investigadores

Méd. Pedro Andrés García Delgado
Méd. Freddy Israel Cabezas Díaz
Méd. Diane Carolina Nieto España
Méd. Viviana Nathalie Mogrovejo del Saltó

ISBN: 978-9942-622-15-0



© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.

CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.

