

INTRODUCCIÓN A LA

▶▶ IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES



INTRODUCCIÓN A LA

 **IMAGENOLOGÍA**

CONCEPTOS ACTUALES



www.mawil.us

INTRODUCCIÓN A LA



IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Md. Roxana Valentina Barrezueta Román
Médica
roxivalent@hotmail.com

Md. Ana Belén Ortiz Burbano
Médica Cirujana
anabelen2787@gmail.com

Md. José Leonardo Castro Zambrano
Médico Cirujano
leonardo10_gato@hotmail.com

Md. Paola Fernanda Sánchez Pucha
Médico General
pfernanda92@hotmail.com

Md. Ximena Alejandra Celi Loaiza
Médica General
anemix10_cl@hotmail.com

Md. Carlos Alfredo Vélez Bermúdez
Médico Cirujano
alfredov_10@hotmail.com

Md. Mariana Rosalía Falcones Centeno
Médico
dra.marianitafc.86@gmail.com

Md. Luis Ángel Miranda Borja
Médico General
luis23mb@hotmail.com

Md. Cecilia Isabel Moyano Vega
Médica Cirujana
cheoychabe@hotmail.com

Md. Lizeth Alejandra Navas Balarezo
Médico General
lizzethale@hotmail.it

INTRODUCCIÓN A LA



IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

REVISORES

MD. Fátima Yadira Rivera Rasury
Posgradista de Imagenología
Universidad de Guayaquil

MD. Carlos Augusto Figueroa Jorda
Posgradista de Imagenología
Universidad de Guayaquil



DATOS DE CATALOGACIÓN

AUTORES: Roxana Valentina Barrezueta Román
José Leonardo Castro Zambrano
Ximena Alejandra Celi Loaiza
Mariana Rosalía Falcones Centeno
Luis Ángel Miranda Borja
Cecilia Isabel Moyano Vega
Lizeth Alejandra Navas Balarezo
Ana Belén Ortiz Burbano
Paola Fernanda Sánchez Pucha
Carlos Alfredo Vélez Bermúdez

Título: Introducción a la Imgenología: Conceptos Actuales

Descriptor: Radiología; Imagen; Medicina.

Edición: 1^{era}

ISBN: 978-9942-787-35-4

Editorial: Mawil Publicaciones de Ecuador, 2019

Área: Educación Superior

Formato: 148 x 210 mm.

Páginas: 167

DOI: <http://dx.doi.org/10.26820/introducción-a-la-imgenologia>



Texto para Docentes y Estudiantes Universitarios

El proyecto didáctico *Introducción a la Imgenología*, es una obra colectiva creada por sus 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 General: PhD Student. Lenin Suasnabas Pacheco

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

*Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador: Aymara Galanton.

*Editor de Arte y Diseño: Eduardo Flores



CONTENIDO



www.mawil.us

Contenido

| | |
|---|-----------|
| Introducción..... | 9 |
| Capítulo 1. Generalidades de la Imagenología..... | 13 |
| 1.1. Definición de imagenología..... | 15 |
| 1.2. Importancia de la imagenología en las ciencias de la salud..... | 16 |
| 1.3. Principales áreas de conocimiento de la imagenología..... | 17 |
| 1.4. Origen y evolución de la imagenología..... | 18 |
| Capítulo 2. Perfil del profesional de la imagenología..... | 21 |
| 2.1. Competencias profesionales..... | 23 |
| 2.2. Campo de trabajo y ámbitos de aplicación..... | 26 |
| 2.3. Bioseguridad Del Profesional De La Imagenología..... | 27 |
| 2.4. Principios bioéticos en imagenología..... | 37 |
| Capítulo 3. Técnicas y equipos en el radiodiagnóstico..... | 43 |
| 3.1. Rayos x..... | 44 |
| 3.2. Radiología digital..... | 50 |
| 3.3. Fluoroscopia..... | 51 |
| 3.4. Ortopantomógrafo..... | 56 |
| 3.5. Arco en C..... | 58 |
| 3.6. Angiografía..... | 60 |
| 3.7. Tomografía computarizada..... | 65 |
| Capítulo 4. Técnicas y equipos de medicina nuclear..... | 71 |
| 4.2. Gammacámara..... | 72 |
| 4.3. SPET..... | 74 |
| 4.4. PET..... | 76 |
| 4.5. Sonda de captación tiroidea..... | 78 |
| 4.6. Sonda para cirugía radioguiada..... | 80 |
| Capítulo 5. Métodos y técnicas alternas al radiodiagnóstico..... | 83 |
| 5.1. Ecografía..... | 85 |
| 5.2. Resonancia magnética..... | 88 |
| Capítulo 6. Rol del profesional de la imagenología de la radioterapia..... | 93 |

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

| | |
|---|------------|
| 6.2. Requerimientos y posibilidades de aplicación de la radioterapia..... | 97 |
| 6.3. Tipos de administración de radioterapia..... | 99 |
| 6.4. Importancia del imagenólogo en el equipo profesional de la radioterapia..... | 100 |
| 6.5. Localización y simulación del tratamiento..... | 101 |
| 6.6. Dosimetría en radioterapia..... | 105 |
| 6.7. Vigilancia, registro y documentación en radioterapia..... | 109 |
| 6.8. Bioética en la radioterapia..... | 114 |
| Capítulo 7. Retos y perspectivas de la imagenología..... | 121 |
| 7.1. Aportes de la física médica a la constitución y desarrollo de la imagenología..... | 123 |
| 7.2. Presencia de la imagenología en los centros de salud..... | 124 |
| 7.3. Últimos avances de la imagenología y su aporte a las ciencias de la salud..... | 128 |
| Referencias..... | 137 |



INTRODUCCIÓN



www.mawil.us

Este libro representa una manera sencilla y amena, pero rigurosa, de introducir al estudiante a la disciplina de la medicina de mayor desarrollo y avance de los últimos tiempos como lo es la imagenología. Se hace un breve recorrido por las principales elementos y dimensiones de esta rama del saber que es tributaria de la física, la medicina, la ingeniería de sistemas y la informática y el cuidado del paciente. El libro está organizado de tal forma que la lectura se amena y secuencial, pero al mismo tiempo, puede servir de consulta de temas específicos.

Se inicia con el Capítulo 1 que consiste en las generalidades de la imagenología donde se define su objeto de estudio, finalidad, historia y relevancia para las ciencias de la salud y la calidad de la vida humana. En el capítulo 2, se detalla el perfil profesional y las competencias del imagenólogo, como un campo laboral cada vez más pertinente que involucra conocimientos científicos, técnicos, humanistas y bioéticos.

Del capítulo 3 al 5 se organiza el libro con los principales métodos, técnicas y equipos imagenológicos. En el capítulo 3 se desarrolla el radiodiagnóstico como técnica primigenia y básica de obtención de imágenes del cuerpo humano, base y origen de la imagenología como disciplina científica y tecnológica. En el capítulo 4, se especifican los procedimientos de captación de imagen por medicina nuclear. En el siguiente capítulo, que es el número 5, se presentan las técnicas alternas al radiodiagnóstico y que han alcanzado en la actualidad avances y aportes insospechados.

En el capítulo 6, se describe las acciones dentro de la radioterapia y la participación del profesional de la imagenología en este complejo proceso, donde ha conquistado el espacio de administrador y vigilante de dicho protocolo, estando más cerca del paciente, por ende, requiere de actitudes científicas, técnicas, gerenciales y humanistas basadas en normas de bioética y bioseguridad. Se cierra con el capítulo 7, donde se presentan los retos y perspectivas actuales de la imagenología ciencia tributaria y enlazada a una disciplina de gran auge como es la física médica, se expone la importancia de contar con un área de imagenología para asegurar la calidad de servicio y competitividad de los centros de salud, así como los últimos avances de la imagenología, donde se destacan sus aportes y soluciones problemas prácticos de ciencias de la salud.

Este libro es una excelente contribución a estudiantes y docentes de ciencias

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

de la salud, así como cualquier persona interesada en los avances médicos o bien preocupada por la forma como el cuerpo humano es estudiado por los profesionales de la salud, un tema muy interesante y fascinante tanto para especialistas como para el público en general.



CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA IMAGENOLOGÍA



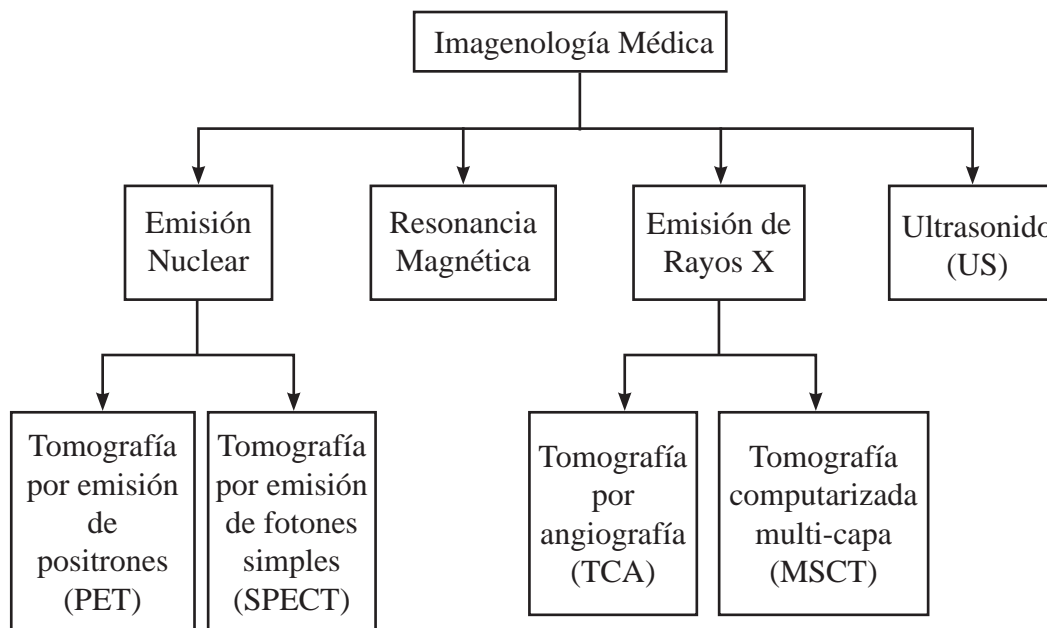
www.mawil.us

1.1. Definición de imagenología

La imagenología es una disciplina de las ciencias de la salud que se encarga de obtener diversidad de tipos y modalidades de imágenes del cuerpo humano, mediante diferentes equipos, métodos y técnicas, para lograr de forma eficiente y eficaz, confiable y segura a la detección de enfermedades. De forma específica, la imagenología es una disciplina de las ciencias de la salud que se encarga del “estudio de imágenes obtenidas del cuerpo humano y la tecnología para su obtención y procesamiento” (Passarielo & Mora, 1995, pág. 7). Su principal función es generar imágenes precisas del cuerpo humano para establecer un diagnóstico exacto y proceder a diseñar y aplicar el tratamiento o intervención más adecuada a la patología diagnosticada.

El principal objetivo de la imagenología es producir información necesaria para la caracterización de la fisiología y anatomía de diversos órganos o partes del cuerpo humano, desde los órganos internos, hasta el sistema musculoesquelético, incluyendo las glándulas y el sistema circulatorio. En síntesis, la imagenología comprende la realización de todo tipo de análisis diagnósticos y terapéuticos, en los cuales se utilizan equipos que reproducen imágenes del organismo humano.

Ilustración 1



Principales métodos de la imagenología. Fuente: (Passarielo & Mora, 1995)

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Los métodos más comunes de la imagenología son muy diversos, dentro de los más usados se tiene: los rayos x, el ultrasonido, la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) (ver Ilustración 1).

1.2. Importancia de la imagenología en las ciencias de la salud

La imagenología se vale de diferentes modalidades de imágenes del cuerpo humano, obtenidas principalmente por los métodos y técnicas de ultrasonido, tomografía axial computarizada, resonancia magnética nuclear, radiología convencional y digital, para llegar en forma eficiente y eficaz, es decir, rápida, veraz y confiable, a la detección de muchas enfermedades. Por eso se ha convertido en una herramienta tecnológica para la atención adecuada y calificada de los pacientes. La ventaja más destacada de la imagenología es la posibilidad de avanzar en el tratamiento de alguna enfermedad humana sin intervenir quirúrgicamente al paciente; es decir, reduce los tratamientos no invasivos, y con ello, el riesgo que supone para el paciente, máxime el ahorro de recursos y tiempo.

La imagenología interviene desde el mismo momento en que el médico da la orden para realizar el diagnóstico, luego el imagenólogo, recibe la solicitud del examen, interpreta la indicación y controla si cumple las normas de bioseguridad. En caso afirmativo, registra el estudio, procede a determinar los factores técnicos correspondientes, coloca al paciente en la posición de elección, operando el equipamiento para la realización del estudio indicado; aplica el procedimiento y a la evaluación técnica y, finalmente, estimación del valor diagnóstico del mismo en función de la información clínica aportado.

Esto quiere decir que la labor del imagenólogo no es solo operar el equipo y preparar al paciente, sino que interviene dentro del proceso de diagnóstico, reportando informes y ayudando al médico a interpretar la información obtenida. También interviene en la aplicación y seguimiento del tratamiento cuando se trata de radioterapia, o simplemente coadyuva en la registrar la evolución del paciente en respuesta a determinado tratamiento.

De ser antes un elemento auxiliar en el diagnóstico, hoy en día la imagenología se ha transformado para la medicina en un pilar del diagnóstico, pues cada

vez es más importante y crucial contar con imágenes para poder realizar análisis, sobre todo, en patologías agudas. Cada vez más la tecnología, por ejemplo, de resonancia magnética y ecosonografía son más potentes que hace diez años, por eso, su precisión aumenta, y con ella, los diagnósticos oportunos de enfermedades agresivas o que requieren ser detectadas de forma precoz.

La imagenología siempre ha tenido una relevancia crucial en el traumatismo, pero sin duda alguna, hoy por hoy, se hace mucho más aplicado, pues hay certeza que en un paciente politraumatizado la forma rápida y más precisa de obtener un diagnóstico es con scanner, mientras que el tercer grupo que por añadidura ha ido creciendo mucho es el diagnóstico de la patología neurológica, con aplicación de resonancia tanto en columna como en cerebro, con técnicas nuevas que han ido implementando y demostrando su utilidad, gracias a los avances de la tomografía

Como alternativa del estudio de la patología musculoesquelética sigue siendo la resonancia, indudablemente, el examen más útil cuando hay sospecha de algo que no fue captado en su totalidad por una ecografía. Los órganos son los principales objetos de estudio de la ecografía abdominal queda reducida a la patología biliar, colelitiasis, cálculos de la vesícula o problemas de la vía biliar, donde este tipo de auxilios sigue siendo el más útil, pero todo el resto de las patologías presentes en el tronco del cuerpo humano, se resuelve con scanner; por ejemplo, en dolor abdominal agudo o dolor torácico agudo. Por su parte, en patologías neurológicas, la resonancia es el procedimiento diagnóstico por excelencia, tanto en columna como en cerebro, pues permite confirmar o descartar ciertos diagnósticos.

1.3. Principales áreas de conocimiento de la imagenología

Es difícil precisar las áreas de conocimiento de la imagenología, por la gran diversidad de métodos, equipos y técnicas que existen, pero en este libro se agrupan en tres grandes áreas básicas: (a) radiodiagnóstico, (b) medicina nuclear y (c) radioterapia, en estos tres campos la carrera adquiere su valor diagnóstico y terapéutico. La fundamentación principal de la instauración de esta disciplina es el radio de acción de un profesional competitivo tanto cognoscitivamente

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

como laboralmente; no obstante, existen otras áreas como la investigación, la docencia y la venta y asesoría de equipo médico. También es preciso acotar que, aunque las ciencias de la salud es el campo de acción principal, la imagenología es utilizada en la agricultura, a nivel industrial, en el área de la física, veterinaria, sistemas de seguridad, el arte entre otros.

1.4. Origen y evolución de la imagenología

Como es conocido, las primeras imágenes de utilidad para las ciencias de la salud, fueron obtenidas a finales del siglo XIX gracias al descubrimiento de los rayos X. Esto dio un aporte insospechado al avance y el desarrollo de las ciencias de la salud originando lo que actualmente se conoce como la especialidad de la imagenología. Todo comenzó cuando Röntgen descubrió los rayos X en 1895 y, luego, en 1896 Becquerel hiciera el hallazgo de un compuesto de uranio capaz de emitir espontáneamente radiaciones ionizantes, luego en 1898 el matrimonio Pierre y Marie Curie dieron con el resultado de sus pesquisas de que el Torio también emitía el mismo tipo de radiación, base para el descubrimiento posterior del radio y la radiactividad artificial.

Cabe destacar, que la radiación se define como energía en movimiento. Es imperceptible para nuestros sentidos y, es por eso, que puede ser peligrosa e inclusive letal. En consecuencia, es necesario crear algún método o dispositivo que ayude a identificar el paso de la radiación y, para ello, auxiliarse de ciertos instrumentos que, por un proceso físico, sean sensibles al paso de esta energía en movimiento. Estos instrumentos son los detectores de radiación.

El principio de funcionamiento de un detector de radiación se basa en los diferentes mecanismos físicos de interacción de la radiación con la materia, los cuales consisten principalmente en el desprendimiento de electrones de los átomos que conforman el material del detector. Estos electrones pueden ser recolectados por algún dispositivo, comúnmente llamado anodo, y constituirán la señal que el detector nos muestra como prueba del paso de la radiación original. Los científicos mencionados, fueron los pioneros en diseñar este tipo de dispositivos que sin duda fueron el origen de la imagenología.

En este contexto, luego del descubrimiento de la radiación, la siguiente tarea fue saber cuáles eran sus elementos constituyentes. Se distinguieron tres tipos

de radiación, que fueron llamadas alfa, beta y gamma. La radiación o partículas alfa son núcleos de helio (dos protones y dos neutrones). Estas partículas trasladan casi toda su energía al colisionar con algún material y, por ello, son frenadas fácilmente. La radiación o partículas beta (electrones negativos o positivos) transfieren menos energía al material que las partículas alfa y, por ende, pueden traspasar mayor volumen; sin embargo, bastan pocos metros cúbicos de aire para frenar este tipo de radiación. Finalmente, los rayos gamma son fotones, es decir, partículas de luz que no tienen masa; pueden atravesar mucho más material y su captación es compleja, por lo que se requieren materiales de alta densidad como el plomo o el concreto.

Al estudiarse los tipos de radiación mencionados, se fueron creando instrumentos para su identificación. El desarrollo de la radiología creció eficazmente hasta la Segunda Guerra Mundial. Para los primeros 50 años de la radiología, los exámenes estaban enfocados en los rayos x a través de un lugar específico del cuerpo e inmediatamente plasmados en un casete especial de filmación. En ese entonces, los pacientes debían ser expuestos a la radiación durante 11 minutos para poder obtener un diagnóstico del cerebro.

En 1972, el británico Hounsfield presentó en Londres el primer tomógrafo computarizado, en el cual la imagen no es analógica, como en la radiología convencional, sino digital. El equipo, que le valió un premio Nobel, fue desarrollado sobre la base de estudios matemáticos realizados por el australiano Radon, en 1917, y a los de un sudafricano, Cormack, efectuados en 1950, sobre la distribución de las dosis de radioterapia causada por la heterogeneidad de las regiones del cuerpo.

Una de las más recientes contribuciones de la tecnología al diagnóstico por la imagen es la resonancia magnética. Su descubrimiento les valió el premio Nobel de Física en 1952 a Bloch y Purcell, pero no fue hasta 1981, que se publicaron los estudios de los primeros pacientes sometidos a la técnica de resonancia magnética, con la espectroscopía, lo que permitiría una localización precisa de la fuente de la actividad metabólica en vivo (Passarielo & Mora, 1995).

Cabe destacar que, en la actualidad, se utilizan técnicas distintas de rayos x, las cuales permiten conseguir un diagnóstico en milisegundos y además, la radiación es el 2% de lo que se utilizaba antes. Asimismo, la resolución y el

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

contraste ha mejorado permitiendo el diagnóstico de patologías complejas las cuales no podían ser detectadas por la tecnología antigua. Así mismo, con el pasar de los años, se empezó a utilizar las pantallas fluorescentes que facilitaban la interpretación de las imágenes.



CAPÍTULO II

PERFIL DEL PROFESIONAL DE LA IMAGENOLÓGÍA



www.mawil.us

2.1. Competencias profesionales

El licenciado en Imagenología es un profesional capacitado especialmente: “para la operación de equipamiento imagenológico diagnóstico basado en el uso de radiaciones ionizantes, así como de otros métodos que utilizan otros fundamentos físicos para la obtención de imágenes (Universidad de la República Oriental del Uruguay, 2006, pág. 6). Para esta institución, resulta inherente a la formación del imagenólogo, la capacitación en protección radiológica y control de calidad el imagenólogo:

Es un profesional que forma parte de un equipo interdisciplinario de la salud, con conocimiento, habilidades y aptitudes para el manejo de equipos radiológicos y de ultrasonido de alta complejidad y obtención de imágenes morfológico-funcionales del cuerpo humana, cumpliendo normas de seguridad y radio-protección vigentes, con fines de diagnóstico y/o de terapia médica, bajo la supervisión del médico especialista (Universidad San Francisco Xavier, 2016, pág. 2).

Otras competencias que cubre este perfil profesional según la universidad previamente citada son:

1. Conformar equipos de investigación en radiología e imagenología con profundo criterio técnico y desempeña funciones docentes dentro del ámbito de su competencia.
2. Prepara soluciones de revelado y aplica correctamente las técnicas necesarias para el procesamiento de placas radiográficas. Además, maneja los diversos equipos de ultrasonido siguiendo protocolos de atención en las diferentes técnicas para la obtención de imágenes.
3. Prepara y administra soluciones de contraste a los pacientes, siguiendo las indicaciones del médico especialista y cuida de ello con empatía.
4. Interviene en situaciones de urgencia y emergencia radiológicas siguiendo los procedimientos que el caso amerite.
5. Organiza eficientemente y lleva el registro estadístico de la documen-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

tación de la unidad en la institución en que trabaja aplicando normas sanitarias establecidas, guardando la confidencialidad de los datos y el Plan de seguridad informática de la unidad.

6. Realiza a su nivel, la gestión administrativa.
7. Elabora procedimientos técnicos para la adquisición de equipos y materiales en su almacenamiento, reposición y mantenimiento del instrumental a su cargo.
8. Pone en servicio y contrata las instalaciones y equipos de obtención de imágenes para el diagnóstico y terapia médica, asegurando su funcionamiento correcto y detectando anomalías puntuales.
9. Se adapta y actualiza a los procesos generados como consecuencia de las nuevas innovaciones tecnológicas y organizativas, introducidas en su área laboral.

Como se puede observar, el profesional de la imagenología trasciende más allá al operario de una máquina o dispositivo, se trata de un profesional que ocupa un lugar relevante y fundamental en los centros de salud, en los diagnósticos y terapias, médicas, realiza labores de investigación, docencia, gerencia; por entrar en contacto con el paciente debe regirse por normas de bioética y bioseguridad, también de su buena gestión depende que los centros de salud se mantengan a la vanguardia de los adelantos tecnológicos de captación de imágenes del cuerpo humano, contribuyendo de forma significativa a su competitividad y permanencia en el tiempo.

Adicionalmente, el imagenólogo, está en capacidad para trabajar de forma individual o articulado a un equipo de salud, e incluso, con otros profesionales, como el físico médico, o bien con profesionales ajenos a las ciencias de la salud, pero que son complementarios como los ingenieros industriales y de sistemas, administradores, personal de control de calidad, entre otros (Universidad de la República Oriental del Uruguay, 2006).

1. De acuerdo a esta casa de estudios, las actividades que puede realizar el experto en imagenología en articulación con el médico especialista

son: Procedimientos diagnósticos y/o terapéuticos, a menudo invasivos, dirigidos por el médico, quien cateteriza vías, administra u ordena la administración de sustancias de contraste, indica los enfoques a realizar y, en general, determina la duración y alcance del estudio; siendo su función la operación del equipamiento imagenológico y procesamiento de los enfoques indicados.

2. También es capaz de realizar todos los exámenes realizados en block quirúrgico, sala de hemodinamia, etc.

Por su parte, para la Universidad de San Francisco Xavier (2016), el especialista en imagenología las actividades que desarrolla de forma individual o interdisciplinaria en el área de salud son las siguientes:

1. A nivel individual:

- Aplica técnica y tecnologías para la obtención de imágenes de alta resolución.
- Aplica sus conocimientos y habilidades en el manejo, cuidado y mantenimiento de equipos de rayos X, radiodiagnóstico y de ultrasonido.
- Interviene en procesos de investigación en el área de su competencia.
- Garantiza protección radiológica en personas, equipos, instalaciones y medio ambiente, cumpliendo normas de radioprotección.
- Organiza los servicios de radiología e imagenología de acuerdo a su nivel.
- Ejerce actividad docente en el área de su formación.

2. A nivel interdisciplinario:

- Conformar el equipo de imagenología en el que se hace responsable de la parte técnica.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- Participa en los procesos de imagenología especializados bajo la supervisión de médicos.
- Participa en tareas de investigación, formando parte de equipos interdisciplinarios.
- Coadyuva en los procesos radioterapéuticos.

2.2. Campo de trabajo y ámbitos de aplicación

El campo de trabajo del profesional experto en imagenología es principalmente desarrollar sus actividades integrando el equipo multidisciplinario de salud, ejerciendo sus labores específicas en correspondencia a la prescripción médica, en servicios asistenciales tanto públicos como privados así como en domicilio; también se puede desempeñar, asimismo, en otras áreas con actividad imagenológica en el campo de la veterinaria, la industria o el arte (Universidad de la República Oriental del Uruguay, 2006). Entre los distintos campos de trabajo de este profesional se encuentran (Universidad San Francisco Xavier, 2016):

- Empleo, manejo e instrumentación de las bases físicas, anatómicas y procedimientos técnicos radiológicos en la, obtención de imágenes.
- Carga de chasis radiográficos, labores de cámara oscura, preparación de soluciones utilizadas en el proceso y cuidado y/o conservación de las pantallas reforzadas y el material de uso en radiología.
- Conocimiento y aplicación de las medidas necesarias para la protección radiológica.
- Administración de sustancias de contraste, habituales, por vía oral.
- Evaluación de la cantidad técnica del registro obtenido y discernimiento sobre la necesidad y posibilidad de efectuar nuevo registro.
- Preparación e indicación de la correcta posición para que se realicen los estudios mediante la tomografía computarizada el ultrasonido o equipos radiológicos.

- Docencia actividades académicas y asesoramiento con relación a radiología Imagenología.

Ilustración 2



Imagenólogo en sus funciones

Fuente: La Nación (2017)

2.3. Bioseguridad del profesional de la imagenología

Durante su actividad, el profesional de la imagenología, sobre todo en lo atinente a los servicios del servicio de rayos X, se responsabiliza por el cumplimiento de las disposiciones que tienen que ver con la protección radiológica, que se presenta a continuación, es responsable del área de imagenología, por ende, vela por el mantenimiento en buenas condiciones del equipamiento y todo el material necesario para el desempeño de su actividad.

Desde 2006 se ha presentado una evolución de la protección contra la radiación ionizante. Este tipo de perjuicios, se dieron a conocer a un año después del descubrimiento de los rayos X (1896), Antoine Henri Becquerel comenzó a

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

explorar otro fenómeno que Marie Curie denominó más tarde “radiactividad”. Ese mismo año, se hizo evidente que los rayos X y la radiactividad causaban daños a la salud, ya que, se observaron problemas de depilación, eritemas, quemaduras o muertes prematuras en las personas que empleaban tubos de rayos X y materiales radioactivos en sus investigaciones (Arias, 2006).

Las fuentes peligrosas producidas por los rayos x, usados, tanto en el radiodiagnóstico como en el tratamiento, producen efectos tanto en el personal de salud como en los pacientes. Los efectos que produce la radiación se agrupan en dos clases: no estocásticos o deterministas y estocásticos. Los no estocásticos sólo se producen cuando la dosis alcanza un valor umbral determinado, su gravedad depende de la dosis recibida y su aparición es inmediata (ejemplo radiodermatitis, cataratas).

Por el contrario, los efectos estocásticos no precisan umbral, la probabilidad de que aparezcan aumenta con la dosis y suelen ser graves y de aparición tardía (ejemplo cáncer radioinducido) (Arias, 2006). Los riesgos asociados con la exposición a las radiaciones dependen de las dosis de radiación que reciben las personas expuestas. Por lo tanto, para reducir dichos riesgos, es necesario minimizar las dosis recibidas y la exposición innecesaria a las radiaciones. En este sentido se han creado normas y medidas de bioseguridad que se exponen a continuación.

2.3.1. La radioprotección

El objetivo de la radioprotección es resguardar de los efectos perjudiciales de las radiaciones, al ser humano, sin interferir con la prueba radiológica. Se protege al paciente, al personal técnico operario y a las personas que puedan entrar en contacto con el área de radiación durante y posterior a la exposición.

También busca prevenir la acción de efectos biológicos deterministas en el cuerpo, es decir, los que tienen probabilidad de aparecer a partir de una dosis umbral de radiación, así como limitar la posibilidad de aparición de efectos secundarios por las personas encargadas de administrar y operar la radiación. Para lograr tal propósito, se establecen límites de dosis lo suficientemente bajos

para que no llegue a alcanzarse la dosis umbral, no solo durante el periodo laboral, sino también durante todo el periodo de vida de la persona; y lo segundo, manteniendo las exposiciones a un nivel muy bajo como sea razonablemente posible, en cualquier caso, por debajo de los límites universalmente aceptados.

En este último aspecto, los profesionales laboralmente expuestos a la radiación son las personas que, por los contextos donde ejecutan su trabajo, bien sea de forma habitual u ocasional, están sujetas a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes y son susceptibles de recibir unas dosis anuales superiores a 1/10 de los límites anuales que determina la ley. Dentro de este grupo de personas, se encuentran los estudiantes y aprendices, durante su periodo de formación, y de forma habitual, se encuentran expuestos a las radiaciones ionizantes. Los trabajadores profesionales se clasifican en:

- **Categoría A:** Pertenecen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSy al año. Estos trabajadores están obligados a usar dosímetro.
- **Categoría B:** Pertenecen a esta categoría aquellos trabajadores expuestos que no sean clasificados como trabajadores expuestos. Todos los trabajadores expuestos deben superar el reconocimiento médico de ingreso, así como los controles médicos periódicos. Antes de iniciar su actividad, los trabajadores profesionalmente expuestos y los estudiantes deben recibir una formación adecuada en materia de radioprotección. Ninguna persona menor de dieciocho años será asignada a un puesto de trabajo que implique su calificación como trabajador profesionalmente expuesto.

El radiodiagnóstico es la primera causa de irradiación artificial de la población por lo que, radiólogos, y técnicos tienen responsabilidades para cumplir, y en alto grado, en materia de radioprotección, hacer un uso racional de la radiología y aplicar con rigurosidad los criterios de justificación de las exploraciones y optimización de las exposiciones a los pacientes, con el fin de reducir la dosis sin pérdida de información diagnóstica.

Ilustración 3



Implementos de radioprotección

Fuente: es.slideshare.net

2.3.2. Protección de los pacientes

Las principales normas de radioprotección de los pacientes son:

1. Evitar las exploraciones radiológicas innecesarias, a partir de una efectiva articulación entre el médico prescrito y el radiólogo, o al menos, una suficiente información clínica para que el radiólogo pueda decidir la exploración o la técnica más apropiada.
2. Disponer, siempre que se pueda, de los estudios previos que a veces dan la clave de un diagnóstico sin necesidad de realizar otro estudio, o permiten sustituir la prueba solicitada por otra alternativa.
3. Evitar los movimientos del paciente. Esta es una de las principales causas de repetición de estudios. Es frecuente en caso de niños y de pacien-

tes no colaboradores.

4. Comprobar que la posición y la técnica utilizadas son las adecuadas y menos arriesgadas para el paciente.
5. El uso de colimadores reduce significativamente el campo de radiación a la zona que pretendemos estudiar y es una forma fácil de limitar la dosis de radiación.
6. Reducirla exposición (número de proyecciones, tiempo, y tasa de dosis en fluoroscopia, técnica) al mínimo compatible con la obtención de información diagnóstica.
7. Al efectuar exámenes contentivos de una larga serie de radiografías es conveniente exponer una, comprobar que se ha realizado en las condiciones adecuadas y, posteriormente, realizar el resto de la serie.
8. Indagaren cada mujer en edad fértil si está o puede estar embarazada. Un letrero en cada sala de rayos X advertirá a la mujer embarazada que lo notifique al personal que le atiende.
9. No se admiten familiares o pacientes en la sala de rayos X mientras se está examinando otro paciente. Durante la exploración, las puertas de la sala deben permanecer cerradas.
10. En radiología dental, el paciente debe colocarse un delantal protector.
11. El cuidado de los chasis, hojas de refuerzo y de los aparatos de revelado no solo tiene como resultado una mejor calidad de la imagen, sino, que también puede conseguirse una reducción de estudios repetidos y una disminución de la dosis de radiación.

2.3.3. Normas de radioprotección en equipos con fluroscopia (telemando y arcos portátiles):

1. La distancia del paciente al intensificador de imagen debe ser lo más pequeña posible. Los equipos modernos suelen tener una compensación automática de exposición, de manera que cuando mayor es la distancia, mayor es la dosis que recibe el paciente.
2. La distancia foco – piel debe ser como mínimo de 30 cm, y mejor, aún de 45 cm.
3. Disminuir el tiempo de fluoroscopia al mínimo posible. Para ello es útil evitar la fluoroscopia para centrar la imagen en radiografía y utilizarla en forma interrumpida, es decir, levantando periódicamente el pie del pedal, lo que permite reducir la dosis de radiación sin menoscabar información diagnóstica. Es importante atender tanto al reloj que mide el tiempo de fluoroscopia como el avisador acústico que emite una señal cuando se supera el tiempo determinado. Los nuevos equipos de radioscopia deben ostentar un dispositivo que informe al personal autorizado sobre la cantidad de radiación producida por el equipo durante el proceso diagnóstico.
4. Disponer y usar los colimadores. Este aspecto es especialmente importante en radiología intervencionista, donde es posible irradiar una determinada zona durante mucho tiempo.
5. Disminuir el número de radiografías al mínimo indispensable.
6. El monitor debe colocarse el lado contrario para disminuir la dosis al cristalino en el operador.

2.3.4. Normas de protección en radiología pediátrica

Es preciso considerar la mayor vulnerabilidad y sensibilidad de los niños al efecto carcinogénico de las radiaciones y la mayor potencialidad, dada su

esperanza de vida en relación con la del adulto, de manifestar los efectos tardíos de la radiación.

1. Adecuar los estudios a la patología prevalente en la edad pediátrica.
2. Sustituir cuando sea posible, estudios radiológicos por otros métodos de imagen que no impliquen radiación.
3. Inmovilizar adecuadamente al paciente. De igual forma el centraje, la coligación y la adecuación de la técnica deben esmerarse en los estudios a niños.
4. Descartar proyecciones comparativas en forma rutinaria.
5. Realizar una sola proyección de tórax en niños.
6. La realización de proyección de cráneo PA, en vez de AP, consigue una reducción de la irradiación al cristalino.
7. Utilizar protectores gonadales, de al menos 0.5 Mm. de plomo.
8. Los cuadros de técnicas estándar deben adecuarse al peso del niño y no a su edad.
9. Evitar el uso de estudios portátiles.

2.3.5. Normas de protección del personal profesionalmente expuesto

1. Empleo del delantal plomado y el protector tiroideo en radiología intervencionista y en aquellas exploraciones que requieran la permanencia del radiólogo en la sala de rayos X. En radiología se evitará introducir las manos en el campo de radiación.
2. El personal técnico debe igualmente utilizar el delantal, el protector de tiroides y los guantes plomados cuando sea necesaria su permanencia

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

en la sala de rayos x y en la realización de estudios portátiles. En este último, caso el técnico se mantendrá lo más alejado del equipo.

3. Se promocionará el uso de protectores en otros grupos de personal expuesto no pertenecientes al área de radiodiagnóstico.
4. En la realización de radiografías con equipo portátiles, se impedirá la permanencia en la sala a personal no protegido.
5. Durante la realización de mamografías el técnico se protegerá tras la pantalla plomada.
6. Mantener la puerta cerrada de la sala en momento del disparo. Las salas deben tener una señal luminosa cuando se emita radiación.
7. Nunca debe orientarse el tubo de rayos X directamente hacia la ventana.
8. Se debe dar a conocer estas normas de radioprotección a todo el personal profesionalmente expuesto, especialmente a los operadores de los equipos.
9. Se deberán limitar los estudios portátiles al quirófano a los casos estrictamente necesarios. Nunca el operador será una trabajadora embarazada.

2.3.7. Limitación de dosis

En cualquier caso, las dosis recibidas no podrán sobrepasar los límites establecidos por la legislación, aún en individuos más expuestos. El límite de dosis no es una frontera entre lo seguro y lo peligroso, y tampoco es una medida del rigor y fiabilidad de la protección radiológica, ya que, el no superarlo no siempre indica que se cumplan adecuadamente todas las medidas protectoras. Es decir, existe siempre un rango de riesgo, aunque se tomen las medidas preventivas.

El límite de dosis para trabajadores expuestos será de 100 mSv durante un periodo de cinco años consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50

mSv en cualquier año. El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 150 mSv por año; el límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 500 mSv por año.

2.3.8. Uso de equipo portátil de RX

1. El técnico operativo del equipo ha de situarse tan lejos como le sea posible de la dirección del haz radiactivo primario, utilizando al máximo el cable de la extensión para bloquear el equipo y, a su vez, resguardarse, detrás de cualquiera posible barrera: como paredes, muebles metálicos, etc.
2. Al equipo se le debe colimar el haz primario lo mejor posible y proteger en el paciente, mediante el uso del delantal plomado, aquellas zonas no involucradas dentro del área a radiografiar.
3. Si el paciente está dentro de una sala general, se le debe aislar, protegiendo a los que están a su alrededor, mediante el uso de biombos plomados y/o delantales plomados.
4. Con el ánimo de reducir el número de personas expuestas a las radiaciones ionizantes y, para tomar medidas de radioprotección complementarias, es importante fijar un horario determinado para la toma de las diferentes placas.

2.3.8. Normas de bioseguridad para el área de imagenología

1. La aplicación de las normas de bioseguridad establecidas es obligatoria.
2. El área para la ejecución de las actividades propias de este servicio, debe contar con suficiente iluminación y ventilación, espacio necesario para el tránsito de pacientes y los profesionales encargados de la toma de placas. Igualmente, superficies de trabajo adecuadas para la labor a

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

desarrollar, de fácil limpieza y desinfección.

3. El servicio debe contar con al menos un lavamanos en buen estado, incluyendo la disponibilidad de agua fría, jabón líquido y toallas desechables.
4. El técnico encargado de este servicio y sus auxiliares si los hubiere, se lavaran las manos antes y después de la atención de cada paciente, antes de colocarse los guantes y después de retirarlos, igualmente después de tocar con las manos desnudas objetos o espacios diferentes al paciente, o cuando se haya estado en contacto con sangre o líquidos corporales.
5. Prohibido, comer, beber, fumar o aplicarse cosméticos en el área de toma y lectura de placas.
6. Los funcionarios de esta área, deben usar el delantal plomado, para la toma de placas, así el operador este detrás de la pantalla.
7. Todos los objetos necesarios para la toma de placas, deben estar debidamente rotulados, o al menos el espacio o los recipientes que los contengan.
8. Puesto que el embarazo conlleva riesgos adicionales por el contagio con infecciones, los trabajadores de la salud que se encuentren en estado de embarazo, deben extremar las precauciones de bioseguridad.
9. La limpieza y desinfección del área no debe ser de manera extraordinaria. La desinfección del piso, paredes, superficies, objetos, máquinas, equipos, muebles, cortinas, sábanas, fundas, y en general todo el instrumental utilizado, requiere de una rutina programada de limpieza y remoción de la suciedad.
10. Los elementos, que puedan tener contacto con el paciente, se limpiarán entre pacientes utilizando agentes desinfectantes. Al finalizar las actividades diarias, las superficies serán limpiadas con paños desechables humedecidos con agentes limpiadores y desinfectados.

11. Los elementos deben ser limpiados antes de la desinfección, utilizando guantes de caucho.
12. El uso de elementos de protección personal (guantes, bata de bioseguridad, delantal), es adicional a la implementación de métodos de control de factores de riesgo biológico. Su uso debe ser rutinario y permanente, hace parte de las buenas prácticas de trabajo.
13. Las batas de bioseguridad y delantales, deben ser lavados en la institución hospitalaria.
14. Las ropas y elementos de protección personal (batas, delantales o vestidos) deben ser retirados antes de abandonar el área de trabajo, en especial si se va a ingresar a zona de descanso, alimentación o donde el riesgo pueda propagarse a la población no expuesta.
15. Los elementos de protección del personal de salud al recibir un paciente por emergencia, se deben cambiar, al momento de ingresar nuevamente al servicio de imagenología, evitando generar contaminación cruzada.
16. Es preciso recordar, que la radioprotección no es el único cuidado que se debe aplicar, pues al laborar, en un centro hospitalario, donde el riesgo predominante es el biológico, siguiendo las indicaciones señaladas, contribuye a reducirlo.

2.4. Principios bioéticos en imagenología

La necesidad de que el profesional de la imagenología es una persona competente en su ejercicio profesional es una exigencia y está contemplado en la bioética. Esta disciplina surge como necesidad “para intentar regular la moralidad de la toma de decisiones racionales en condiciones de incertidumbre en relación a la vida en su totalidad como a la vida humana” (Pérez, 2010, pág. 130). En este contexto, la competencia intelectual del profesional de la imagenología está en proporción de la capacidad científica y técnica recibida, o sea; que el imagenólogo competente es el que posee el conocimiento y las habilidades ne-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

cesarias, para el ejercicio apropiado de su profesión sumado a la competencia ética que no puede ser aislada de la capacidad tecnológica, y que es pilar fundamental para un ejercicio profesional responsable y honesto.

Para desarrollar este aspecto, se debe considerar en primer lugar el origen de la bioética. Este término fue acuñado en 1970 por el bioquímico Van Rensselaer Potter, investigador en el campo de la oncología en la Universidad de Wisconsin, quien lo usó por primera vez en un artículo titulado: “Bioética la ciencia de la supervivencia”. En 1971 publica su libro más conocido, “Bioética un puente hacia el futuro”, en el cual plantea la necesidad de tender un puente entre las ciencias y las humanidades, en particular con la ética. El término viene de la combinación de BIOS: conocimiento biológico y ÉTICA: sistema de valores morales(Castillo, 2006).

En este transcurso de tiempo, la bioética ha logrado dos metas importantes: (a) incluir a toda la sociedad y ya no sólo a los especialistas, en un continuo diálogo de carácter universal y pluralista alrededor dimensiones de ciclo vital:salud, vida, muerte, dignidad, y (b) colocar en reflexión interdisciplinaria a ciencias consideradas excluyente o antagónicas conepistemologías aparentemente opuestas, como las ciencias llamadas “duras” y las ciencias sociales o “blandas”(Garzón, 2003).

Desde un punto de vista ético, en imagenología se tiene como elemento fundamental, la básica relación con el paciente, una relación que desde tiempos inmemoriales ha sido considerada como imprescindible para un adecuado ejercicio profesional del profesional de la salud la cual adopta otras connotaciones en el campo de la imagenología diagnóstica, donde se ha sustituido parcialmente esta relación médico paciente por la interacción médico-método imagenológico, lo que ha propiciado una especie de “virtualización” de la relación médico-paciente,

En este sentido, se establece que los avances científicos y tecnológicos de la imagenología, con la impresionante variedad de procedimientos diagnósticos disponibles, a primera vista, parecen sobrepasar con sus resultados el rendimiento de la sencilla entrevista clínica entre el imagenólogo y su paciente, realizada a cuerpo limpio y con la mano y la palabra como instrumentos fundamentales (Pérez, 2010). Sin embargo, una verdadera relación entre el paciente y su mé-

dico imagenólogo sigue siendo clave en la práctica médica del siglo XXI, pues la medicina debe ser, en su núcleo básico, una empresa moral fundamentada en un pacto de confianza entre ambos. Ese pacto de confianza, que se establece precisamente a lo largo de un diálogo reconfortante para el paciente, obliga a los profesionales de la imagenología a ser competentes, a mantener esta competencia en el transcurso de su vida profesional, a utilizarla siempre en beneficio del paciente y a asumir sus responsabilidades.

Es usual observar al médico, omitir al imagenólogo, y proceder así a evaluar radiografías o cualquier otro estudio imagenológico para llegar a un diagnóstico sin haber observado en ningún momento al paciente y sin contar ni siquiera con un breve resumen de la patología que éste presenta y por la cual le fue indicado el estudio. Es decir, que tanto esta relación, que ha sido soporte histórico del adecuado ejercicio profesional del médico así como el precepto establecido de que en el 95 % de los casos, con una adecuada evaluación clínica del paciente (conocimiento de signos y síntomas) se llega a un diagnóstico, se desvirtúa parcialmente en el ejercicio del diagnóstico por imagen (Ocando, 2000).

Es aquí donde es pertinente el término de virtualización de la relación médico-paciente. Esta cada vez más profunda capacidad diagnóstica del médico sobre el cuerpo del paciente, con la mirada que la tecnología imagenológica le presta como si fuera una prótesis visual aplicada sobre la mirada del médico y que le permite disponer de imágenes numerosas y precisas del cuerpo vivo diseccionado es, sin duda, un riesgo para la relación médico-paciente, si el médico opta por las imágenes del cuerpo/objeto que le conducen rápidamente al diagnóstico de la enfermedad/lesión y se desinteresa de las palabras del paciente como persona. Aquí la función bioética del imagenólogo es fundamental porque entra en contacto con el paciente y se desprende una relación íntima que puede derivar en diversas sesiones (Pera, 2004).

Al considerar al paciente como un ser humano que detenta derechos, es imprescindible que el médico reconozca esa identidad personal y, por ende, asuma la dignidad del paciente, principio fundamental en la bioética. La bioética establece principios inalienables de la persona, cuyas formulaciones varían de acuerdo a los autores. Entre estos principios, se pueden mencionar (Castillo, 2006):

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

1. El principio de la dignidad de las personas que contempla el principio de autonomía cuya norma moral es no coartar la libertad.
2. El principio de beneficencia, cuya norma es promover el bien y, por ende, su obligación es dar una atención respetuosa y de calidad.
3. El principio de privacidad cuya norma moral es mantener el secreto médico.
4. El principio de calidad de la vida y el de justicia distributiva en el cual se defiende la equidad e igualdad de derechos de las personas.
5. El principio de santidad de la vida, que algunos autores sugieren denominar sacralidad de la vida ya que ésta no es santa sino sagrada.

Estos principios han de ser orientaciones obligatorias en el ejercicio del imagenólogo. No existen razones convincentes que permitan ignorar la importancia de mantener y respetar los principios antes mencionados y excluirlos. Es necesario reconocer que la calidad y la calidez de la relación entre el imagenólogo y el paciente son imprescindibles, para conseguir una buena actitud del paciente y en consecuencia, lograr un resultado efectivo. Por otra parte, la empatía y la comunicación, tanto verbal como no verbal son efectos poderosos en el tratamiento de cualquier enfermedad, por lo que no solo no debe prescindirse de este lenguaje, verbal y no verbal, en el cuidado amoroso que se presta al paciente, todos incluidos en lo que se llama el contexto de esta relación, sino que deben tenerse en cuenta en la evaluación de la efectividad de una intervención terapéutica.

De no lograrlo, se caería en una visión reduccionista, donde el médico pierde de vista al propio paciente en su totalidad, a la persona humana, ya que su preocupación se centra erróneamente en la enfermedad. Esta es una de las insuficiencias más preocupantes del modelo biomédico que ha prevalecido hasta la actualidad, que ejerce sin duda una influencia negativa en la relación médico-paciente (Ocando, 2000).

Es aquí donde otro concepto entra en juego, la responsabilidad, la ética de la responsabilidad que normalmente se establece como la aceptación de las con-

secuencias de una acción. En una relación catalogada como virtual esto adopta otras connotaciones, la posibilidad de acciones con consecuencias virtuales. Por otro lado, se han incrementado actitudes críticas en relación con el uso indebido y a veces indiscriminado de la tecnología, en este caso puede caer la imagenología, que encarecen aún más la salud, vulnerando la equidad (Hans, 1995).

Es por esto que los aspectos éticos de la tecnología deben discutirse sustentados en la responsabilidad. Existe un principio de responsabilidad, ninguna ética anterior tuvo que tener en cuenta las condiciones globales de la vida humana ni la existencia misma de la especie. Bajo el signo de la tecnología, la ecología, el mercado mundial y en definitiva, los procesos de mundialización, la ética tiene que ver con acciones de un alcance causal que carece de precedentes y que afecta al futuro, toda acción incide en la vida humana tanto en lo particular como en lo global, se arriesga una vida individual que está en relación con una familia y comunidad, y se pone en riesgo al mismo tiempo la vida del planeta.

Los problemas éticos se presentan continuamente en la práctica médica y especialmente en relación con los adelantos tecnológicos de carácter diagnóstico y terapéutico vinculados a la imagenología.

El acelerado, necesario e indetenible desarrollo de la tecnología médica en su aplicación concreta, como tal es el caso del avance de la imagenología, puede provocar la vulnerabilidad de los principios bioéticos, sobre todo, el de la justicia y el de la beneficencia, así como el irrespeto de los principios de la dignidad de la persona humana, con detrimento de los beneficios que se pretenden alcanzar en los pacientes.

Como en todos los campos de la medicina, la relación imagenólogo/paciente debe basarse en el respeto mutuo, la independencia de opinión del médico, la autonomía del paciente y la confidencialidad profesional. Es esencial que el médico y el paciente se puedan comunicar con confianza, sin embargo, esa relación interpersonal se pierde o modifica en el diagnóstico por imágenes, virtualizándose, lo que podría conllevar a una inadecuada visión de los derechos del ser humano como persona, aspecto bioético fundamental a considerar en el ejercicio de la medicina, acá el imagenólogo puede hacer un rol de mediador al no perder nunca su carácter humanista (Pera, 2004).

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Específicamente, con respecto al principio de justicia distributiva, el alto costo de la tecnología obliga a un manejo selectivo y es cuando surge el conflicto de decidir quiénes deben beneficiarse y quiénes no. Sumado a esto, se han incrementado actitudes críticas en relación con el uso indebido de la tecnología imagenológica lo que vulneraría los principios de beneficencia y no maleficencia y, por otra parte, el uso a veces indiscriminado de estas tecnologías, que encarecen aún más la salud, lesionando la justicia distributiva o equidad en la prestación de los servicios. Se hace necesario, fomentar el uso apropiado de la tecnología imagenológica, limitando su abuso. Es evidente que el análisis de las repercusiones de todos estos elementos es necesario.

De esto deriva que la aplicación consciente y consecuente de los principios de la bioética por parte del profesional de la imagenología como parte del equipo profesional que entra en contacto con el paciente y quien además es mediador del paciente con los médicos especialistas durante la fase de diagnóstico y terapia. La bioética lleva a todas aquellas personas responsabilizadas con las investigaciones y la prestación de servicios biomédicos, a una mayor competencia y mejor desempeño en el ejercicio de sus actividades, en el campo de la biomedicina, acto del cual no escapa el profesional de la imagenología (Pérez, 2010).



CAPÍTULO III

TÉCNICAS Y EQUIPOS EN EL
RADIODIAGNÓSTICO



www.mawil.us

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Es un área de la imagenología en el cual se producen imágenes gracias a las radiaciones ionizantes, ondas electromagnéticas, y ondas ultrasónicas, por lo tanto, será el responsable de operar equipos más usados para aplicar estas técnicas. Es importante destacar que todos los equipos que se utilizan para estos estudios, han venido evolucionando en dos sentidos fundamentales: obtener imágenes cada vez más nítidas y disminuir significativamente los niveles de radiación a las cuales es expuesto el paciente.

3.1. Rayos X

La utilidad de las radiografías para el diagnóstico se debe a la capacidad de penetración de los rayos. Los rayos X, son proyectados o disparados desde el tubo de rayos hacia una placa y se atenúan a medida que pasan a través del cuerpo de la persona, de esta forma se dan los procesos de absorción y dispersión (Eastman, Wald, & Crossin, 2005). Al tiempo que se interponen diferentes estructuras (entre la placa y el tubo de rayos) los rayos x logran en menor medida impactan en la placa, plasmando así una imagen “*radiopaca*”, contrariamente, si la estructura interpuesta deja pasar “más” rayos X, se formará una imagen “*radiolúcida*”.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a 10^{-9} m). Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración. Los rayos de mayor longitud de onda, próximos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, son conocidos como rayos X blandos; los de menor longitud de onda, que están más cercanos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con ésta, se denominan rayos x duros.

Los rayos x constituidos por una composición de muchas longitudes de onda diferentes se conocen como rayos x ‘blancos’, para diferenciarlos de los rayos x monocromáticos, que tienen una única longitud de onda. Tanto la luz visible como los rayos x se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos x a transiciones de electrones internos. Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos excitados.

Una característica importante de los rayos x es su alta capacidad de ionización, que depende de su longitud de onda. La capacidad de ionización de los rayos x monocromáticos es directamente proporcional a su energía. Esta propiedad facilita un método para medir la energía de los rayos X. Cuando se hacen pasar rayos X por una cámara de ionización se produce una corriente eléctrica proporcional a la energía del haz incidente. Además de la cámara de ionización, otros aparatos más sensibles como el contador Geiger o el contador de centelleo también miden la energía de los rayos X a partir de la ionización que provocan. Por otra parte, la capacidad ionizante de los rayos X hace que su trayectoria pueda visualizarse en una cámara de niebla o de burbujas. Todo esto ha permitido el estudio para los límites de exposición y dosificación para las medidas de radioprotección.

Otras propiedades de los rayos X que sirven a la imagenología son (Eastman, Wald, & Crossin, 2005):

- *Poder de penetración:* Los rayos X tienen la capacidad de penetrar en la materia.
- *Efecto luminiscente:* Los rayos X tienen la capacidad de que, al incidir sobre ciertas sustancias, éstas emitan luz.
- *Efecto fotográfico:* Los rayos X tienen la capacidad de producir el ennegrecimiento de las emulsiones fotográficas, una vez reveladas y fijadas éstas. Esta es la base de la imagen radiológica.

La utilidad de las radiografías para el diagnóstico se debe a la capacidad de penetración de los rayos X. A los pocos años de su descubrimiento ya se empleaban para localizar cuerpos extraños, por ejemplo, balas o monedas, en el interior del cuerpo humano. Con la mejora de las técnicas de rayos x, las radiografías revelaron minúsculas diferencias en los tejidos, y muchas enfermedades pudieron diagnosticarse con este método.

Existen diversos tipos de equipos de rayos X, y su uso depende del tipo de estudio a realizar:

- Radiógrafo convencional.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- Radiógrafo portátil.
- Equipos para Radioterapia.
- Angiógrafo.
- Tomógrafo.
- Mamógrafo.
- Equipos de oncología (que pueden ser de rayos x, de rayos gamma o de núcleos atómicos)
- Los rayos X representaron el método más importante para diagnosticar la tuberculosis cuando esta enfermedad estaba muy extendida. Las imágenes de los pulmones eran fáciles de interpretar porque los espacios con aire son más transparentes a los rayos X que los tejidos pulmonares. Otras cavidades del cuerpo pueden llenarse artificialmente con materiales de contraste, de forma que un órgano determinado se vea con mayor claridad. El sulfato de bario, muy opaco a los rayos X, se utiliza para la radiografía del aparato digestivo. Para examinar los riñones o la vesícula biliar se administran determinados compuestos opacos por vía oral o intravenosa.
- La amplia utilidad de los rayos x contribuye a que se le emplee como medio de diagnóstico para numerosos casos, generando gran diversidad de radiografías, entre las cuales se pueden contar las siguientes:
 - Radiografía de Hombro frontal antero-posterior.
 - Radiografía de Omoplato frontal.
 - Radiografía de Omoplato lateral.
 - Radiografía de Brazo frontal.
 - Radiografía de Brazo lateral.

- Radiografía de Codo frontal.
- Radiografía de Codo lateral.
- Radiografía de Antebrazo frontal y frontal en pronación.
- Radiografía de Antebrazo lateral.
- Radiografía de Muñeca frontal frente.
- Radiografía de Muñeca lateral interna.
- Radiografía de Escafoide (Schreck I).
- Radiografía de Articulación Trapezo-Metacarpiana.
- Radiografía de Mano frontal.
- Radiografía Mano oblicua.
- Radiografía de Dedo frontal.
- Radiografía de Dedo lateral.
- Radiografía de Dedo Pulgar frontal.
- Radiografía de Dedo Pulgar lateral.
- Radiografía de Pelvis frontal de pie y/o acostado.
- Radiografía de Cadera frontal.
- Radiografía de Pelvis en rana.
- Radiografía de Fémur frontal.
- Radiografía de Fémur lateral.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- Radiografía de Rodilla frontal
- Radiografía de Rodilla lateral.
- Radiografía Axial de Rótula 30°, 60° y 90°.
- Radiografía de Pierna en AP.
- Radiografía de Pierna lateral.
- Radiografía de Tobillo en AP.
- Radiografía de Tobillo lateral.
- Radiografía de Pie frontal.
- Radiografía de Antepié frontal.
- Radiografía de Pie y Antepié lateral y oblicuo.
- Radiografía de Calcáneo lateral.
- Radiografía de Columna Cervical lateral.
- Radiografía de Columna frontal.
- Radiografía de Columna Cervical oblicua.
- Radiografía Especial para Odontoides.
- Radiografía de Columna Dorsal frontal.
- Radiografía de Columna Dorsal lateral
- Radiografía de Columna Lumbar frontal.
- Radiografía de Columna Lumbar lateral.

- Radiografía de Columna oblicua.
- Radiografía de Dorso-Lumbar.
- Radiografía de Columna Lumbosacra frontal y lateral.
- Radiografía de Esternón oblicua.
- Radiografía de Esternón lateral.
- Radiografía de Costilla frontal.
- 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 Sífnisis.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- Radiografía de Tórax frontal 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 frontal.
- Radiografía de Abdomen Simple de pie.

Ilustración 4



Composición de imágenes obtenidas con rayos x

Fuente: Resumen buscador Google (2018)

3.2. Radiología digital

Además de los estudios radiográficos convencionales, actualmente está disponible la radiología digital. Los primeros métodos de radiología digital fueron propuestos por la empresa Fugi en 1981, los cuales no eran más que el escaneo las placas radiográficas convencionales (analógicas) y su posterior digitalización de la señal utilizando un convertidor analógico-digital (Passarielo & Mora, 1995).

El término radiología digital se utiliza para denominar a la radiología que obtiene imágenes directamente en formato digital, sin haber pasado previamente por obtener la imagen en una placa de película radiológica. Existen dos métodos para obtener una imagen radiográfica digital: la imagen radiográfica digitalizada y la imagen radiográfica digital; la diferencia entre ambas consiste en que la imagen digitalizada se obtiene mediante el escaneo o la captura fotográfica de la imagen de una placa radiográfica, mientras que la radiografía digital se obtiene mediante la captura digital directa

Dentro de las ventajas de la digitalización de las imágenes radican en que estas pueden manipularse, copiarse y difundirse como cualquier otro archivo informativo; por su parte, los sensores digitales son más potentes que la película radiográfica, menor dosis de radiación, menor cantidad de material contaminante, ahorro económico en el revelado, entre otros (Fernández, 2013). Los la radiología digital ha tenido un uso extensivo e intensivo en el estudio de los sistemas esquelético, respiratorio, gastrointestinal, urinario y cardiovascular.

Ilustración 5



Imagen de radiología digital

Foto: Centro Clínico Cuernavaca (2013)

3.2. Fluoroscopia

Los rayos x también producen fluorescencia en determinados materiales, como el platino cianuro de bario o el sulfuro de cinc. Si se sustituye la película

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

fotográfica por uno de estos materiales fluorescentes, puede observarse directamente la estructura interna de objetos opacos. Esta técnica se conoce como fluoroscopia.

La fluoroscopia es un estudio de las estructuras del cuerpo en movimiento, desprendida de la técnica de los rayos X, por ende, es muy similar el procedimiento. Se hace pasar un haz continuo de rayos x a través de la parte del cuerpo que va a examinarse, y se transmite a un monitor parecido a un monitor, y de esta manera, puede verse en detalle la parte del cuerpo y su movimiento en tiempo real.

La fluoroscopia se usa en gran variedad de exámenes y procedimientos diagnósticos; con respecto a los rayos X con bario, la fluoroscopia facilita al médico apreciar el movimiento de los intestinos a medida que el bario (medio de contraste) los recorre. Por ejemplo, en una cateterización cardiaca, la fluoroscopia le expone al médico ver el flujo de sangre a través de las arterias coronarias con el fin de detectar la presencia de obstrucciones arteriales.

También sirve para la inserción de un catéter intravenoso, la fluoroscopia coadyuva al médico a guiar el catéter en la ubicación específica en el interior del cuerpo. La fluoroscopia es usada en una enorme cantidad de exámenes y procedimientos como en los estudios contrastados que son en los que se administra un material generalmente radiopaco (bario, materiales iodados), ya sea por vía oral, rectal, venosa, arterial, articular, uterina, vías aéreas, linfática, conductos salivales, o conducto raquídeo. Entre los procedimientos más comunes se pueden mencionar los siguientes:

- **Serie Esófago-gastroduodenal:** Estudia el tránsito a través del tracto gastrointestinal superior, compuesto por el esófago, el estómago y el duodeno. El medio de contraste se ingiere vía oral y éste hará visibles estos órganos ante el fluoroscopio para observar cómo circula el líquido.
- **Histerosalpingografía:** Se utiliza para estudiar el útero y las trompas de Falopio, especialmente en casos de esterilidad o en presencia de tumores u otras enfermedades. El medio de contraste se introduce por el canal vaginal a través de un catéter, hasta llenar la cavidad uterina, las trompas de Falopio y la cavidad peritoneal.

- **Uretrocistografía:** El medio de contraste se introduce a través de la uretra hasta la vejiga, se tomarán radiografías con la vejiga llena, y luego cuando ésta se vaya vaciando. Permite valorar el funcionamiento miccional de este órgano.
- **Colangiografía transhepática percutánea:** Estudia las vías biliares. Se inyecta el medio de contraste directamente en las vías biliares a la altura de la zona media abdominal. Se toman las radiografías para observar cómo el medio de contraste fluye hasta el intestino delgado.
- **Sialograma:** Estudia los conductos y glándulas salivales. Se introduce un catéter a través de la boca en el conducto de la glándula salival y se inyecta allí el medio de contraste.
- **Venografía o Flebograma:** Se utiliza para examinar las venas, especialmente de las piernas y la zona inferior del abdomen. El medio de contraste se inyecta directamente en las venas.
- **Enteroclis:** Se utiliza para estudiar el intestino delgado, introduciendo material de contraste por medio de una sonda a través de la nariz o de la boca hasta el estómago y comienzo del intestino delgado. Puede tomarse la imagen mediante rayos X, tomografía computarizada o ultrasonido.
- **Linfagrama:** Estudia los ganglios y vasos linfáticos, mediante la inyección de un medio de contraste o radioisótopo, el cual se inyecta en los espacios interdigitales de los pies, para identificar los canales linfáticos. En dichos canales a nivel del pie, se introduce una sonda delgada y flexible. También se puede inyectar directamente en los ganglios linfáticos a la altura de la ingle.
- **Mielografía:** Se usa para estudiar la médula espinal y su recubrimiento, así como las raíces de los nervios y el conducto raquídeo. Asimismo, se utiliza para valorar la columna vertebral y los vasos sanguíneos que irrigan la médula. El material de contraste se inyectará dentro del conducto raquídeo, a través del espacio subaracnoideo, a la altura lumbar o a la altura cervical, según las condiciones del paciente

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- **Discograma:** Se utiliza para estudiar uno o más discos intervertebrales, mediante una inyección de material de contraste.
- **Pielograma intravenoso:** Estudia los riñones, uréteres y vejiga. Se inyecta un medio de contraste yodado en el brazo y éste se acumulará en la zona a estudiar, definiendo su forma y funcionamiento en las imágenes de rayos x.
- **Artrografía:** Se utiliza para estudiar afecciones articulares, ya que se observan tendones, cartílagos y ligamentos. Se puede realizar a través de rayos x o fluoroscopia, mediante tomografía computarizada o mediante resonancia magnética. El método a utilizar incidirá directamente en la preparación del paciente para el estudio. También puede utilizarse un método combinado, guiando con ultrasonido y tomando las imágenes con Resonancia magnética o Tomografía computarizada. Existe la artrografía indirecta, en la cual el medio de contraste se introduce en el torrente sanguíneo, desde el cual será eventualmente absorbido por la articulación. Asimismo, existe la artrografía directa, inyectando el material de contraste dentro de la articulación, que la distiende o agranda, facilitando el diagnóstico.

La fluoroscopia puede ser parte de un examen o procedimiento realizado de forma ambulatoria u hospitalaria y generalmente no demanda de estancia nocturna en el hospital. El tipo específico de procedimiento o examen que se esté realizando determinará si se necesita alguna preparación antes del procedimiento, pero el más usual es el siguiente (Delgado, Rodríguez, & López, 2013):

1. El paciente es colocado en la mesa de rayos x y se inserta una vía intravenosa en la mano o brazo.
2. Se inyecta en la línea intravenosa una sustancia de contraste o colorante con el fin de visualizar mejor la estructura que está siendo estudiada.
3. Para los procedimientos que requieran la inserción de un catéter, como una cateterización cardiaca o colocación de catéter, puede usarse una zona adicional de inserción en la ingle, codo u otra zona.

4. Se utiliza un escáner de rayos X especial para producir las imágenes fluoroscópicas de la estructura del cuerpo que está siendo examinada o tratada. El área del cuerpo que será evaluada se colocará entre los rayos X y la pantalla fluorescente.
5. Durante el examen, el cuarto puede estar oscuro para que las imágenes del fluoroscopio puedan ser vistas más claramente. Algunos equipos de fluoroscopia usan intensificadores de imagen por lo que el cuarto podrá permanecer iluminado.
6. Dependiendo del tipo de estudio que se le realice, es posible que se le pida al paciente que aspire y contenga la respiración, que tosa o resuelle mientras le son tomadas las imágenes. Si le realizan una serie de fluoroscopia de ingesta de bario, el paciente deberá ingerir
7. Varios tragos de un preparado de bario mientras dure la sesión de rayos X. El técnico le indicará cuándo y cuánto beber. Al final de la prueba, habrá tomado aproximadamente dos tazas de la preparación de bario. Para un enema de bario, el material de contraste es suministrado a través de un tubo colocado en el recto.
8. En algunos procedimientos, como la cateterización cardiaca, es necesario un período de recuperación de varias horas con inmovilización de la pierna o el brazo donde se introdujo el catéter cardiaco. Otros procedimientos pueden requerir menos tiempo para la recuperación.

En cuanto a las condiciones bioéticas el personal de imagenología deberá señalar las siguientes instrucciones al paciente (Garzón, 2003):

1. Algunas personas pueden sentir molestias con la presión en el abdomen.
2. En los siguientes dos o tres días posteriores al examen, las heces fecales tendrán una apariencia blanquizca debido al bario.
3. Recomendar tomar líquidos abundantes para ayudar a su cuerpo a eliminar el bario.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

4. Si el tipo de examen a practicar requiere que se le inyecte un medio de contraste, podrá tener una sensación de calor a través del cuerpo durante 20 a 30 segundos.

5. Probablemente el paciente sentirá algo de náuseas, sabor metálico, tos o comezón debido al material de contraste que pasará rápidamente; si presenta alguno de estos síntomas deberá de notificarlo al médico o técnico que esté realizando el examen.

Ilustración 6



Procedimiento de fluoroscopia

Foto: Philips (2016)

3.4. Ortopantomógrafo

También se le conoce como radiografía panorámica y se aplica en el campo de la odontología. Consiste en una técnica radiológica bastante común en área de odontología de los centros de salud, o en los centros odontológico. Este tipo de pruebas permite analizar cualquier alteración que afecte a los dientes, maxilares y la mandíbula.

En síntesis, la ortopantomografía es una radiografía panorámica de la boca que proporciona una imagen general de ambos lados del maxilar, la mandíbula y los

dientes. Se realiza con un aparato específico denominado ortopantomógrafo, que es un dispositivo radiográfico externo anclado a través de un brazo a una columna vertical.

Actualmente, este tipo de radiografías son digitales y la dosis de radiación que recibe el paciente en el momento de obtener la placa es mínima. No es una prueba que le resulte incómoda para el paciente, es indolora y rápida. El especialista realiza la radiografía con el ortopantomógrafo, que realiza un escaneado de la boca con un pequeño giro alrededor de la cabeza del paciente. En el transcurso la prueba, el paciente debe estar de pie o sentado y cubierto por un chaleco de plomo que lo protegerá de la radiación. Adicionalmente, debe morder una pequeña pieza que servirá para registrar la inclinación del nivel de mordida e indicar al dispositivo la posición en la que debe detenerse.

Posterior al escaneo, el dispositivo genera una imagen digital. Además de la ventaja de obtener imágenes digitales para su tratamiento y archivo (historia médica, medicina forense), este sistema reduce la cantidad de radiación que el paciente recibe porque la imagen digital necesita menos tiempo de exposición a los rayos x. Sus aplicaciones son en el ámbito de la odontología, la cirugía bucal, la implantología, la ortodoncia o la periodoncia. También sirve para generar radiografías panorámicas a objeto de verificar el estado de las muelas cordales o detectar posibles problemas mandibulares. Dada la sencillez de esta prueba y los buenos resultados que aporta, la ortopantomografía se utiliza de forma sistemática en los centros odontológicos privadas.

Ilustración 7



Ortopantomógrafo

Foto: Clínica Arganzuela (2017)

3.3. Arco en C

Para el año 1955 “C-Arms by Philips” expone y comercializa el Arco en C, que es un artefacto un dispositivo especializado de imágenes de rayos x que debe su nombre a su diseño arqueado o semicircular. Desde su introducción al mercado y el mundo de la medicina, hace 60 años la tecnología ha avanzado velozmente. En la actualidad este dispositivo móvil para captar imágenes es preciso y fundamental en la imagenología, debido a que proporciona la posibilidad de representar imágenes de alta resolución en tiempo real y sin movilizar al paciente, aportando soluciones que las nuevas necesidades médicas de ergonomía, eficiencia y eficacia.

El arco en C está compuesto por un generador que proyecta rayos x, los cuales atraviesan en el cuerpo humano, mientras que un intensificador de imagen que es un detector especializado- convierte estos rayos en una imagen visible, la cual se muestra en el monitor del equipo, permitiendo la identificación de estructuras anatómicas y sus detalles, la posición de implantes, materiales quirúrgicos, instrumentos y dispositivos médicos en cualquier momento durante el procedimiento y en tiempo real.

El brazo de este equipo con forma semicircular funciona como un elemento

de conexión que permiten el movimiento de forma horizontal, vertical e inclusive alrededor de los ejes giratorios permitiendo obtener imágenes desde una mayor cantidad de enfoques y ángulos.

Este dispositivo de avanzada es aplicado principalmente para la obtención de imágenes radiológicas de alta resolución y calidad en tiempo real, generalmente en el ámbito quirúrgico, lo que permite mostrar el progreso de la cirugía en cualquier punto del procedimiento, facilitando una mayor precisión durante la misma, permitiendo corroborar los resultados además de hacer las correcciones que sean requeridas de forma inmediata. En consecuencia, se obtiene la realización de mejores procedimientos, menos invasivos y más exactos, mejores resultados y recuperaciones más rápidas para los pacientes, es decir, es eficiente y eficaz.

Las aplicaciones del arco en C, abarcan una gran diversidad de áreas de las ciencias de la salud, en específico, del área quirúrgica, por lo tanto, es importante la presencia del imagenólogo en estas intervenciones, en la preparación del equipo y en el requerimiento de su mantenimiento. Las principales aplicaciones de este equipo se encuentran en las áreas de cirugía general, cirugía abdominal, cirugía de tórax, traumatología y ortopedia, cirugía vascular, cardiología, neurocirugía, entre otras.

Entre las ventajas y beneficios del Arco C más destacables están (Delgado, Rodríguez, & López, 2013):

1. Brinda una mejor atención al paciente. Debido a que el paciente no debe ser movilizado de su cama para realizar el estudio este equipo permite brindar una atención con menos malestar, dando comodidad tanto al paciente como al equipo médico.

2. Es móvil y versátil. Gracias a sus características permite la toma de radiografías en ángulos difíciles que en una máquina tradicional sería imposible de lograr, además el nivel de radiación puede ser ajustado con mucha precisión lo que permite la toma exacta del estudio que el médico requiera en el momento, reduciendo los riesgos tanto para el paciente como para el personal de salud.

3. Es de menor tamaño, es ajustable y permite disminuir el nivel invasivo

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

del tratamiento. Al ser de menor tamaño y más compacto facilita una mayor maniobrabilidad para quienes manipulan el equipo.

Ilustración 8



Arco en C

Foto: GE Healthcare (2009) Principio del formulario

3.4. Angiografía

La angiografía es una técnica de la imagenología que permite captar y visualizar las estructuras cardíacas en diversos planos de proyección, de esta manera, es capaz de generar información pertinente para la evaluación de tales estructuras a través del ciclo cardíaco completo. Usualmente, esta técnica usa un procedimiento denominado cateterismo para introducir en el corazón del paciente, un medio de contraste que posibilita la visualización de los componentes cardíacos cuando la sangre entra y sale del corazón. En la actualidad, el uso de detectores digitales, en sistemas para la adquisición de imágenes basados en rayos X, ha permitido elevar la calidad de las imágenes obtenidas por angiografía. Además, durante la etapa de adquisición, estos sistemas convierten la señal de rayos X en imágenes digitales.

La información es captada con la mínima distorsión que, normalmente, producen los sistemas convencionales de angiografía. Esta técnica ha sido usada extensamente en el diagnóstico del daño isquémico y la evaluación del impacto de la estenosis en la arteria coronaria. En este sentido, se ha realizado la evaluación de parámetros como la fracción de eyección, volúmenes ventriculares y el gasto cardiaco, basándose en modelos geométricos simplificados, obtenidos a partir de imágenes 2D sin considerar la compleja morfología 3D de las cavidades del corazón (Shapiro, 2001).

Ilustración 9



Angiógrafo

Foto: La Voz de Argentina (2017)

3.5. Colonoscopia

Es un procedimiento para estudiar el interior del recto y todo el colon. Se utiliza un tubo largo, flexible y angosto llamado colonoscopio, que tiene una luz y una pequeña cámara en el extremo. Con este procedimiento se determina si existen úlceras, tejido inflamado, irritaciones, formaciones patológicas. Lo debe

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

aplicar un gastroenterólogo y, usualmente, se efectúa para determinar enfermedades sintomáticas o no, incluso en etapas tempranas.

Para su ejecución, debe realizarse una preparación previa del paciente, el cual debe limpiar adecuadamente los intestinos y guardar una dieta adecuada, indicada por su médico, basada fundamentalmente en líquidos claros, de 1 a 3 días antes del estudio. También se indican laxantes y enemas, para garantizar una limpieza completa del tracto intestinal y así evitar obstrucciones que obstaculicen la visibilidad.

Una variante de este procedimiento es la colonoscopia virtual, también denominada colonografía por tomografía computarizada. En este caso se combinan los rayos x con la tecnología computarizada para generar una imagen del recto y el colon sin necesidad de introducir la cámara a través del conducto rectal. Con esta alternativa, se pueden determinar también si hay irritaciones, inflamaciones o tumoraciones en el colon, así como úlceras y pólipos.

Ilustración 10



Colonoscopia

Foto: Nacionfarma (2017)

3.6. Densitometría

Es un procedimiento que tiene como finalidad determinar la densidad mineral ósea, y también se denomina absorciometría de rayos X de energía dual. Se realiza midiendo algún hueso en específico, cuya densidad será comparada con los promedios según la edad, el sexo y el peso del paciente. Con estas evaluaciones se determina la presencia o no de osteoporosis.

Este procedimiento no es invasivo y no requiere muchas preparaciones y permite determinar si hay presencia de desgaste óseo, lo cual implica riesgos de padecer fracturas. Lo más frecuente es estudiar la columna y la cadera, con lo cual es suficiente para establecer el diagnóstico.

Ilustración 11



Densitometría

Foto: Revista Conexión Médica (2017)

3.7. Mamografía

Se trata de un estudio especial de las mamas utilizado para descartar la presencia de cáncer y también se la conoce como mastografía. Se utilizan rayos x de baja dosis con lo cual se visualiza el tejido mamario interno y se indica incluso como medida de detección temprana de formaciones cancerígenas y

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

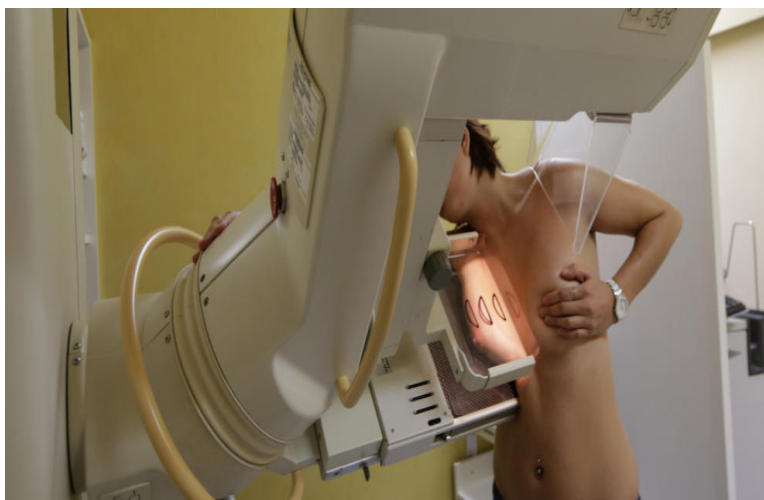
otras enfermedades. No es un procedimiento invasivo y no requiere mayor preparación previa.

El procedimiento incluye dos evaluaciones por cada mama; una primera, cefalo-caudal, de arriba abajo, colocando el seno en una plancha y con el pezón de perfil, y aplicando un compresor para expandir el tejido; la segunda, medio lateral oblicua, evaluando el músculo pectoral y aplicando compresión lateral.

En la actualidad se ha incorporado el uso del mamógrafo por tomosíntesis o mamografía tridimensional, el cual realiza una reconstrucción tridimensional tomando imágenes mientras el aparato gira en torno a la mama. Sin embargo, aún se están perfeccionando ciertos aspectos como los ángulos de toma, el tiempo del estudio, y la fidelidad de la reconstrucción sin perder cortes de la glándula. Pese a ello, la mamografía por tomosíntesis, representa mayor precisión e imágenes más claras.

Los mamógrafos están diseñados para visualizar las estructuras fibroepiteliales de la glándula mamaria y los más actualizados se esfuerzan por dar imágenes cada vez más nítidas utilizando la menor radiación posible.

Ilustración 12



Mamografía

Foto: British Medical Journal (2017)

3.8. Tomografía computarizada

La etimología de la palabra tomografía viene del griego *tomos* que significa corte o sección, y de *grafía* que significa representación gráfica. Por tanto, la tomografía computarizada es la obtención de cortes o secciones de un objeto; es un examen de rayos X que genera imágenes detalladas de cortes axiales del cuerpo, y que en lugar de obtener una imagen convencional como las radiografías, obtiene múltiples imágenes al rotar alrededor del cuerpo sobre un soporte giratorio (Montero, 2008).

La tomografía computarizada es una modalidad diagnóstica que representa un importante avance en las ciencias de la salud en las áreas de la investigación, el diagnóstico y las terapias. Se usa en todo el cuerpo siendo de gran utilidad para la cabeza y el abdomen. El uso de esta técnica de imagen presenta múltiples ventajas, para el caso: las imágenes son exactas, no son invasivas y no provocan dolor; se brinda imágenes detalladas de numerosos tejidos del cuerpo, son rápidos y sencillos y menos costosos que la resonancia magnética, proporciona imágenes en tiempo real; se convierte en una herramienta útil para guiar procedimientos mínimamente invasivos (Montero, 2008).

Se puede decir que el origen de la tomografía computarizada fue en el mes de julio de 1972, cuando el ingeniero eléctrico Sir Godfrey Newbold Hounsfield publicó un artículo en la Revista *British Journal of Radiology*, en el que describía una técnica basada en rayos x, que denominó tomografía computarizada, fundamentada en los métodos matemáticos que A.M. Cormack había desarrollado una década anterior. El método de Hounsfield dividía en imágenes la cabeza en varias tajadas, cada una de las cuales era irradiada por sus bordes. La técnica tomográfica buscaba superar las limitaciones que Hounsfield consideraba evidentes en la radiología convencional (Delgado, Rodríguez, & López, 2013):

1. La imposibilidad de mostrar en una imagen radiológica bidimensional toda la información contenida en una escena tridimensional, debido a la superposición de los objetos en la imagen que se obtenía.
2. La limitada capacidad para distinguir tejidos blandos; y finalmente, la imposibilidad de cuantificar las densidades de los tejidos.

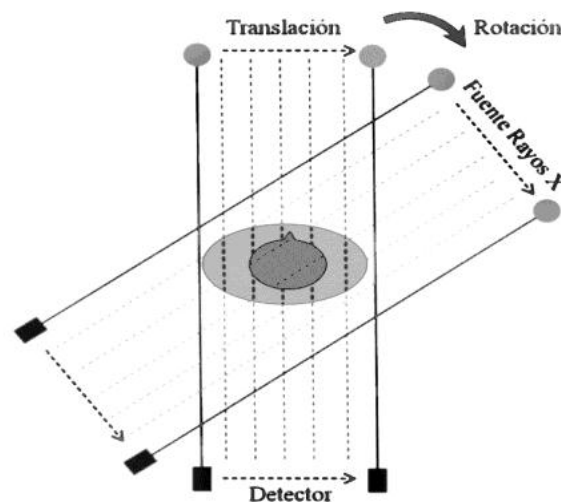
INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Empero, las primigenias imágenes de tomografía reconstruidas con el primer escáner desarrollado, contaban con una baja resolución espacial, una matriz de 80x80 píxeles, y tardaba nueve horas en total para cubrir un cerebro humano (Ramírez, Arboleda, & McCollough, 2008). Desde su aparición, se han diseñado diversos modelos de equipos de tomografía computarizada (TC), que usualmente se categoriza en generaciones.

En los tomógrafos de primera generación, se producían rayos paralelos gracias a un movimiento de traslación a largo del objeto, y este proceso se repetía con pequeños incrementos rotacionales hasta barrer 180 grados, utiliza un método de traslación-rotación y genera proyecciones paralelas.

Ilustración 13



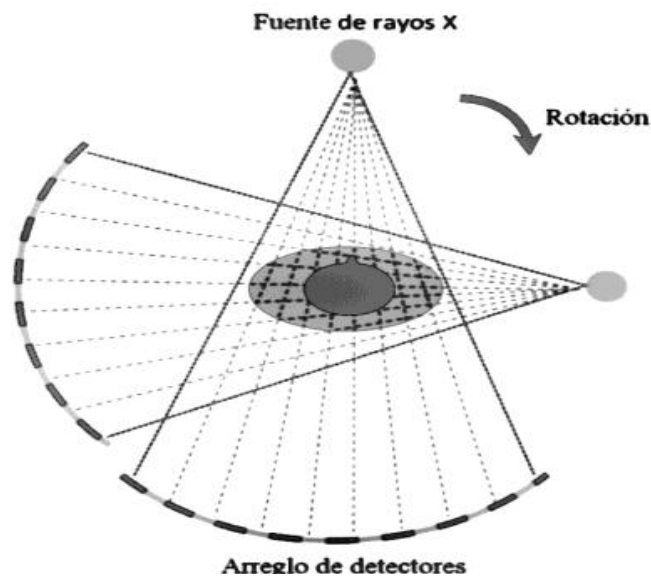
Tomógrafo de primera generación

Fuente: Montero (2008)

Los equipos de segunda generación trabajaban bajo un principio de traslación-rotación similar; pero, lograban efectuar el proceso más rápido gracias al uso de una mayor cantidad de detectores y una fuente que proyectaba rayos en forma de abanico, además, aprovechaban mejor la potencia de los rayos x emitidos. La búsqueda de una mayor velocidad de adquisición de las imágenes hizo que se eliminara el movimiento de traslación; de allí que, en 1975, aparecieron

los equipos de tercera generación. En este tipo de escáneres, el tubo de rayos X y el detector rotan simultáneamente, cubriendo el paciente con un haz de rayos X en forma de abanico.

Ilustración 14



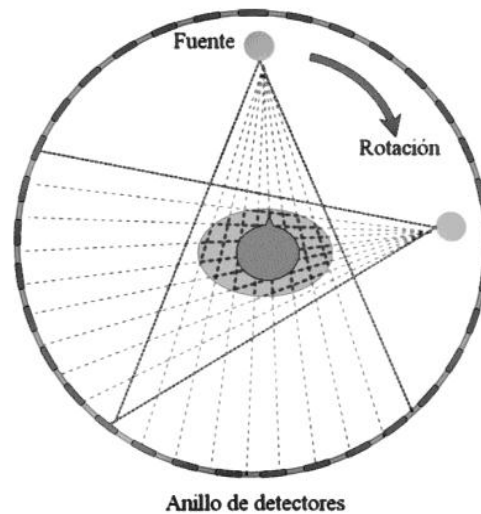
Tomógrafo de tercera generación

Fuente: Montero (2008)

Para 1976, aparecieron los tomógrafos de cuarta generación, que radicaban en una configuración estacionaria de detectores en forma de anillo que rodeaban completamente al paciente, sin embargo, este modelo tenía la limitante de ser un equipo muy costoso. En 1980 se introdujo la tomografía por rayo de electrones EBCT (del inglés *Electron Beam CT*), que constituye la quinta generación.

Este usa un diseño estacionario (sin rotación), donde un rayo de electrones hace un barrido a lo largo de cuatro placas semicirculares que rodean al paciente. El año 1989 resultó ser crucial con la aparición de la sexta generación, cuando Kalender y sus coadjutores, inventaron la tomografía en espiral (o helicoidal), la cual utiliza la arquitectura de tercera generación, pero se caracteriza porque hay un movimiento continuo de la camilla a través del gantry (parte del tomógrafo en continua rotación) (Heiken, Brink, & Vannier, 1993).

Ilustración 15



Tomógrafo de sexta generación

Fuente: Montero (2008)

La peripetia de escanear órganos y regiones anatómicas continuamente en un período breve de tiempo, demostró las ventajas de esta innovación. Sin embargo, en la tomografía en espiral, los tubos de rayos X se podían sobrecalentar, especialmente cuando se deseaba una mayor resolución espacial con tajadas más finas. Este hecho impulsó en 1998 el desarrollo de modelos de séptima generación: tomógrafos multi-tajadas (MSCT, del inglés *Multi-Slice Computed Tomography*), también llamados multi-detectores (MDCT, del inglés *Multi-Detector Computed Tomography*), los que permiten recoger datos correspondientes a varias tajadas simultáneamente y, por consiguiente, reducen el número de rotaciones del tubo de rayos X necesarias para cubrir una región anatómica específica (Ramírez, Arboleda, & McCollough, 2008).

Con respecto a este tipo de tomografía de sexta generación, se basa en la adquisición simultánea de más de un plano tomográfico, usando un sistema helicoidal y está, íntimamente, relacionada con los sistemas de adquisición que emplean múltiples detectores, por lo que tiene una comprobada utilidad en los estudios del corazón. Como se ha dicho, un sistema básico consta de un gantry, una mesa para ubicar en ella al paciente, una consola de control y una computadora. El gantry posee la fuente de rayos x, el sistema de adquisición de informa-

ción y el arreglo de detectores (Delgado, Rodríguez, & López, 2013).

El término helicoidal fue acuñado en el contexto de la tomografía multicapa debido a que cuando el paciente se traslada en dirección horizontal el gantry, simultáneamente, rota de manera continua lo cual produce una trayectoria en forma de helicoide. Debido a su alta velocidad, esta técnica permite cubrir totalmente el volumen cardiaco y generar capas muy delgadas del mismo, en fases arbitrarias del ciclo cardiaco.

Para producir imágenes de alta calidad, se hace necesario, por una parte, sincronizar el sistema de adquisición con el electrocardiograma y por la otra, minimizar los efectos del movimiento del corazón introduciendo, en el cuerpo de los pacientes, los denominados β -bloqueadores, cuya función es reducir la frecuencia cardiaca.

Los nuevos equipos, de tomografía multicapa, pueden generar bases de datos cardiacas, compuesta por volúmenes isotrópicos de alta resolución, por ejemplo, un equipo actual, puede producir un volumen del corazón compuesto por veinte instantes cardiacos, de un número variable de cortes, con una resolución espacial de 512x512 píxeles, con una profundidad, relativa a los niveles de gris, de 16 bits. Debido a ello, esta modalidad imagenología puede ofrecer imágenes 3D de excelente calidad, tanto del corazón como de los grandes vasos, permitiendo la visualización de disecciones del corazón, en cualquier plano, lo que posibilita que las diversas estructuras cardiacas, presentes en este tipo de imágenes, se puedan analizar y relacionar con mucha precisión (Heiken, Brink, & Vannier, 1993).

Mediante la aplicación de métodos de reconstrucción de los planos transaxiales, obtenidos durante el proceso de adquisición, el sistema puede generar una representación volumétrica de las estructuras cardiacas, sometidas a estudio (Macovski, y otros, 2000).

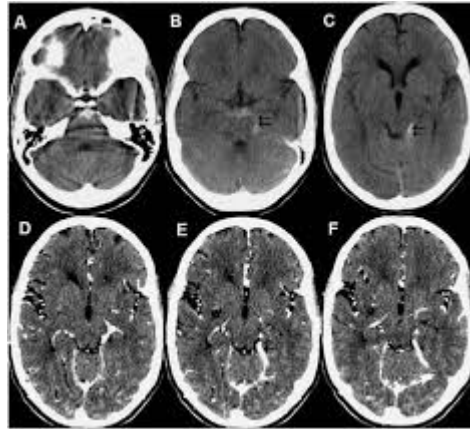
Desde el año 2006, la TC ofrece la posibilidad de adquirir datos con distintos espectros de rayos x, lo que se conoce como TC con energía dual (TCED). La TCED es una nueva herramienta diagnóstica que implica un cambio sustancial en el diagnóstico, porque permite caracterizar determinados elementos químicos y, con ello, detectar alteraciones en ausencia de anomalías morfológicas o

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

densimétricas (Malvaez, 2008).

Ilustración 16



Tomografía computarizada no contrastada

Foto: ResearchGate (2011)

Con respecto a la bioseguridad y la bioética, es preciso aclarar que la tomografía computarizada presenta inconvenientes que tienen que divulgarse; la dosis de radiación efectiva para este procedimiento es de alrededor de 10 mSv que es la dosis similar al porcentaje que una persona en promedio recibe de radiación de fondo en tres años y puede llegar a alcanzar hasta 20 mSv (Eastman, Wald, & Crossin, 2005). Este tipo de estudio está contraindicado en pacientes que no toleran altas dosis de radiación, tales como embarazadas, personas sensibles al yodo o con deficiencias cardíaca, renal, o hepática, pues usa grandes volúmenes de contraste; los niños serán sometidos a este examen lo estrictamente necesario.



CAPÍTULO IV

TÉCNICAS Y EQUIPOS DE MEDICINA NUCLEAR



www.mawil.us

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

La medicina nuclear es una de las aplicaciones de imagenología por radiación que es usada para diagnosticar y tratar alguna enfermedad. A los pacientes se les administra radiactividad por medio de sustancias llamadas radionuclidos. Este material viaja por el torrente sanguíneo hasta implantarse en aquellos órganos que se desean estudiar y, al detectar fuera del cuerpo la radiación emitida por los radionuclidos, se configura una imagen. Así, se pueden verificar varios aspectos: si la función de estos órganos es normal o si hay presencia de algún tumor, entre otros.

Por otro lado, también se la imagenología por emisión nuclear es una modalidad de imagenología funcional y es considerada una técnica de diagnóstico para medir la actividad metabólica de las células del cuerpo humano, para lo cual se requiere la inyección de ciertas moléculas biológicas denominadas radioisótopos. La tomografía computarizada por emisión de positrones (PET) y la tomografía computarizada por emisión de fotones simples (SPET) son modalidades o técnicas de imagenología nuclear que proporcionan información clínica acerca de procesos fisiológicos y bioquímicos derivados del cuerpo del paciente (Pebet, 2004).

Estas técnicas están basadas en la visualización y cuantificación de la distribución de los rayos gamma emitidos por los radioisótopos inyectados, en el cuerpo del paciente, los cuales son extremadamente perentorios. La tomografía por emisión desempeña un papel fundamental en la medicina cardiovascular debido a que el daño cardíaco inicialmente se manifiesta como un conjunto de cambios fisiológicos y bioquímicos, los cuales se manifiestan, posteriormente, como cambios estructurales y, solo hasta ese momento, es que pueden ser detectados con otras modalidades de imagenología.

4.1. Gamma cámara

La cámara gamma es un módulo de captura de imágenes, frecuentemente utilizado en medicina nuclear como dispositivo para el estudio de enfermedades. Consta de un equipo de detección de radiación gamma, esta radiación procede del propio paciente a quien se le inyecta, generalmente por vías intravenosa, un trazador radiactivo. La imagen realizada se llama gammagrafía, un procedimiento de diagnóstico que se basa en la detección de la captación de un determinado radiofármaco en un órgano o tejido concreto. Aporta información

morfológica y funcional.

Esta técnica se aplica en el estudio de una gran variedad de sistemas, como el osteoarticular, genitourinario, digestivo, cardiovascular, respiratorio, endocrino y cerebral. Los componentes de la gamma cámara son (Shapiro, 2001):

1. El cabezal, que está constituido por los colimadores, el cristal de centelleo y los tubos foto multiplicadores, además de una computadora que se encarga de procesar los datos del paciente.
2. Cantry: Es un sistema mecánico que permite girar a los detectores, los cuales están anclados en el cantry directamente o por medio de brazos.
3. Detectores: Son los encargados de detectar las partículas gamma por medio de un cristal de NaI(Tl) y de los tubos foto multiplicadores. El detector está revestido con plomo para evitar la entrada de radiación externa.
4. Cristales de NaI(Tl): Posee grosores variables (6.35mm o 16mm); pueden ser circulares o rectangulares y tener diámetros de 15 a 50 cm. Son higroscópicos, sumamente frágiles y sensibles.
5. Tubos fotomultiplicadores: Contienen circuitos electrónicos en cátodos, dinodos y ánodos, los cuales incrementan el voltaje eléctrico producido por las señales luminosas del cristal, los tubos foto multiplicadores se encuentran adosados a la cara interna del cristal
6. Espectrómetro: Admite la mayor cantidad de cuentas sin dispersión y rechaza la mayor cantidad posible de cuentas dispersas por medio de la rejilla de una ventana o diorama en la que se procesan y visualizan los rayos gamma cuya energía se encuentre por encima del umbral inferior y por debajo del umbral superior de la ventana.
7. Colimadores: Son elementos intercambiables plomados que reposan sobre el cristal de NaI(Tl) cubriendo la totalidad de su cara exterior. Contiene un conjunto de agujeros distribuidos en forma geométrica, los tabiques plomados entre cada agujero se llaman septa. Su función prin-

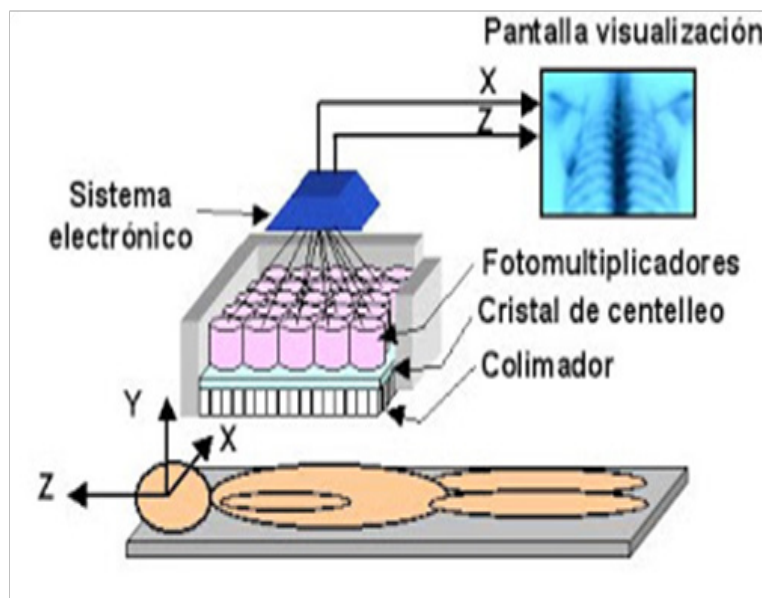
INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

principal es la de escoger y permitir el paso de aquellos fotones que no son absorbidos por las paredes de plomo. La importancia de los colimadores radica en que determinan la calidad de la imagen final obtenida en la cámara gama.

8. Camillas: Deben estar suspendidas en el aire, paralelas al detector y hechas de un material que atenúe muy poco la radiación gamma.
9. Computadoras de adquisición, workstation y unidades de revisión: Utilizadas para adquirir, procesar, almacenar y presentar los datos provenientes del paciente. El equipo detecta la radiación gamma inyectada al paciente y genera una imagen en dos dimensiones de la actividad del órgano.

Ilustración 17



Partes de la gamma cámara

Fuente: tecnología-en-casa.blogspot.com (2009)

4.2. SPET

Tomografía Computarizada por Emisión de Fotones Simples (SPET): es

una técnica de imagenología convencional, que se basa en procedimientos de reconstrucción tomográficos. SPET es una técnica para generar imágenes bidimensionales de un organismo tridimensional a través de un equipo llamado cámara gamma. Las imágenes son, en realidad, proyecciones de ángulos múltiples del cuerpo en cuestión. Luego, se utiliza una computadora para aplicar un algoritmo de reconstrucción tomográfica de dichas proyecciones múltiples configurando de este modo, la imagen tridimensional.

En una explicación más detallada, los rayos gamma provenientes de los fotones emitidos, desde una aplicación farmacéutica interna, penetran el cuerpo del paciente y luego de irradiarse en los tejidos del cuerpo, son colimados y absorbidos por un detector (o un conjunto de detectores) de radiación. Estos fotones experimentan la correspondiente interacción con los tejidos intervinientes (Croft, 2000). En este episodio, el efecto fotoeléctrico absorbe casi la totalidad de la energía de los fotones y, por lo tanto, se captura la emisión de radiación gamma.

Otro efecto, que tiene lugar en este procedimiento, es el denominado efecto Compton, mediante el cual se transfiere parte de la energía remanente de los fotones a los electrones libres. El fotón original sufre entonces un proceso de dispersión, siendo desviado hacia una nueva dirección con energía reducida, es decir, con mayor longitud de onda la cual depende del ángulo de dispersión. Por otra parte, la gran mayoría de detectores de radiación empleados, actualmente, en los sistemas de adquisición de imágenes por SPET, están basados en detectores de centelleo, ya sean sencillos o múltiples.

Ilustración 18

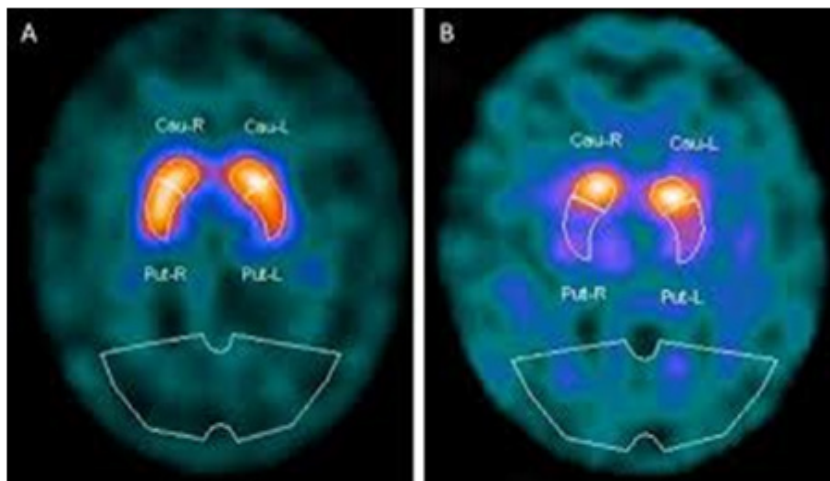


Imagen obtenida por tomografía SPET

Foto: ResearchGate (2015)

El desarrollo más significativo en medicina nuclear, lo constituye la cámara de centelleo que está fijada en un cristal de una enorme área. Un arreglo de tubos fotomultiplicadores es dispuesto en el anverso del referido cristal, cuando un fotón impacta contra el cristal e interactúa con él, se genera un centelleo, que será detectado por el mencionado arreglo de detectores. Luego, un circuito electrónico analiza las señales relativas, provenientes de los detectores y determina la localización del fotón incidente en el cristal de centelleo (Matsumoto, Berman, Kavanagh, Gerlach, & Hayes, 2001).

En imagenología cardíaca, la SPET ha sido aplicada ampliamente para la evaluación del daño arterial coronario usando la perfusión del miocardio, la cuantificación de la función ventricular y la identificación de estructuras miocárdicas.

4.3. PET

La tomografía por emisión de positrones, TEP (Positron Emission Tomogra-

phy, PET por las siglas en inglés), es una técnica no invasiva de diagnóstico por imagen, capaz de medir la actividad metabólica de los diversos tejidos del cuerpo humano, especialmente del sistema nervioso central. Al igual que el resto de técnicas diagnósticas de medicina nuclear, la PET se basa en detectar y analizar la distribución que adopta en el interior del cuerpo un radioisótopo inoculado por medio de una inyección. Su efecto es la medición de la producción de fotones gamma (resultado de la interacción de un positrón con algún electrón del tejido).

El efecto anterior se logra pasados algunos minutos, desde que el isótopo es liberado, este se acumula en un área del cuerpo del paciente, por lo cual se afirma que el referido isótopo desarrolla una afinidad con dicha área, por ejemplo, la glucosa etiquetada como ^{11}C , se puede acumular en tumores donde la glucosa se usa como fuente de energía principal. Siendo más específicos, los núcleos radioactivos luego decaen emitiendo positrones, este es un proceso mediante el cual un protón del núcleo se transforma en dos partículas atómicas, ellas son: un electrón positivo (positrón) y un neutrón (Malvaez, 2008).

En consecuencia, aunque el átomo mantiene inalterado su masa atómica, disminuye en una unidad su número atómico. La combinación del positrón emitido y un electrón degenera en un proceso denominado aniquilación, que es el encargado de generar fotones. La alta energía asociada con los fotones hace que un conjunto de rayos gamma emerja del cuerpo del paciente, en direcciones opuestas. Estos rayos son detectados por un arreglo de detectores ubicados alrededor del paciente. Luego de más de cien mil aniquilaciones, para generar las imágenes, se usa una serie de procesos de reconstrucción, tomando como referencia la distribución de las trazas emitidas por los positrones.

Ilustración 19

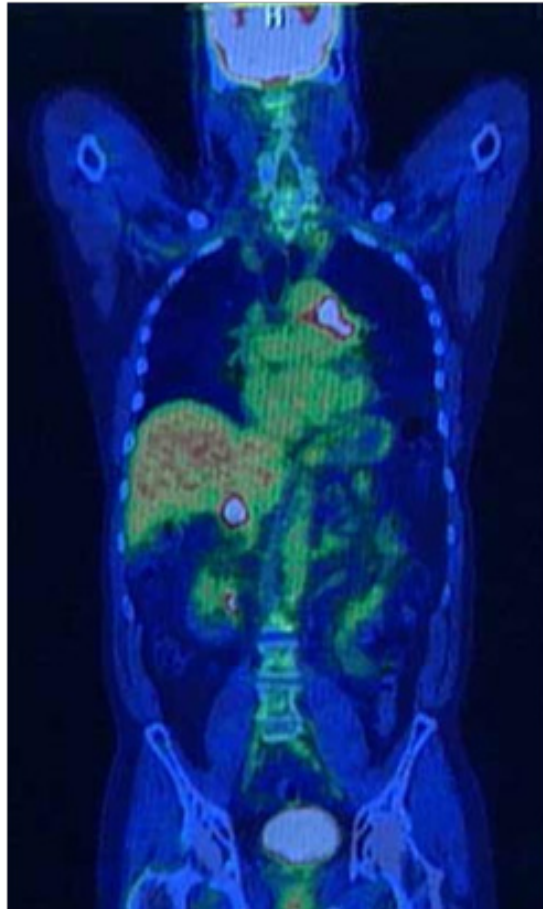


Imagen obtenida por tomografía PET

Fuente: TadiologyInfo.org (2015)

4.4. Sonda de captación tiroidea

También conocida como captación de yodo radiactivo, es una técnica que prueba la función de la tiroides, midiendo la cantidad de yodo radiactivo absorbido por la glándula tiroides en un período de tiempo determinado. Existe un examen similar es la gammagrafía de la tiroides. Los dos exámenes comúnmente se realizan juntos, pero pueden hacerse en forma separada. La prueba se realiza de esta manera:

1. Al paciente se le da una píldora que contiene una pequeñísima cantidad de yodo radiactivo. Luego de tragarla, espera hasta que el yodo se acumula en la tiroides.

La primera exploración se hace usualmente de cuatro a seis horas después que tomó la píldora de yodo. Otra exploración se hace usualmente a las 24 horas posterior a la ingesta de la píldora. Durante la exploración, el paciente se acuesta boca arriba sobre una mesa. Un dispositivo llamado sonda gamma se mueve hacia atrás y hacia adelante sobre el área de su cuello, en donde está localizada la glándula tiroides.

La sonda detecta la ubicación e intensidad de los rayos emitidos por el material radioactivo. Una computadora muestra las imágenes de la glándula tiroides. El examen tarda alrededor de 30 minutos. Para la preparación para el examen es necesario (Eastman, Wald, & Crossin, 2005):

1. No comer antes del examen, específicamente no comer después de la medianoche, la noche anterior a la prueba.
2. Es preciso que el médico sepa si el paciente toma medicamentos y de qué tipo, si tiene diarrea, pruebas de radiodiagnóstico recientes, poco o demasiado yodo en la dieta.

Este tipo de examen se realiza para valorar la función tiroidea. A menudo, se hace cuando los exámenes de sangre de la actividad tiroidea muestran que puede haber una glándula tiroides hiperactiva. La captación más alta de lo normal puede deberse a una glándula tiroides hiperactiva. La causa más común es la enfermedad de Graves. Otros trastornos pueden causar algunas áreas de captación más alta de lo normal en la glándula tiroides. Estos incluyen:

1. Un agrandamiento de la glándula tiroides con nódulos que producen demasiada hormona tiroidea llamada bocio nodular tóxico que consiste en un agrandamiento de la glándula tiroides. La glándula contiene áreas que han aumentado en tamaño y se han formado nódulos.
2. Un nódulo tiroideo simple que está produciendo demasiada hormona tiroidea. Estas afecciones a menudo ocasionan captación normal, pero ésta se concentra en pocas áreas (calientes) mientras que el resto de la

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

glándula tiroides no absorbe nada de yodo (áreas frías). Esto sólo se puede determinar si la prueba se hace junto con la prueba de captación.

Cabe destacar que toda radiación tiene posibles efectos secundarios. La cantidad de radiactividad es muy pequeña y no se ha documentado efectos secundarios. La cantidad de yodo utilizado es menor a la cantidad en una dieta normal. Es posible que las personas con una alergia al yodo en la dieta o a los mariscos no puedan hacerse este examen. Usted puede someterse a este examen si tiene una alergia al yodo en el medio de contraste. Las mujeres embarazadas o que estén lactando no deberían someterse a este examen.

Es preciso considerar que el yodo radiactivo sale del cuerpo a través de la orina. Es necesario tomar precauciones especiales, como vaciar el inodoro dos veces después de orinar, durante un período de 24 a 48 horas después del examen. Pregúntele a su imagenólogo o al equipo de la sala de medicina nuclear o de radiología que lleva a cabo el examen sobre tomar precauciones.

Ilustración 20



Procedimiento con sonda de captación tiroidea

Foto: Medicaexpo.es (2016)

4.6. Sonda para cirugía radioguiada

Representa un dispositivo diseñado específicamente para identificar intra quirúrgicamente focos de alta captación de material radiactivo. Está compuesto de una sonda detectora, una unidad de visualización y control, y un cable que interconecta ambas. Su sonda detectora posee la suficiente resolución espacial

y eficiencia de contaje requeridas en la localización de pequeños puntos “calientes” tales como Ganglios Centinela u otros pequeños focos buscados en las cirugías radioguiadas.

La unidad de control y visualización de datos recibe las señales provenientes de la sonda detectora, las evalúa y arroja la tasa de conteo digitalmente por medio de una consola numérica y, analógicamente, mediante un arreglo de LEDs, que adicionalmente tienen una señal audible cuya frecuencia de beeps es proporcional a la tasa de contaje. Esta unidad es capaz de detectar radiación gamma proveniente de distintos isótopos.

La sonda detectora está contenida en una carcasa de acero inoxidable y posee en un extremo el cabezal de detección y en el otro el conector al cable de interfaz. El cabezal contiene un cristal de CdTe (Zn) de 5 x 5 x 3 mm ubicado dentro de un conjunto blindaje – colimador de Tungsteno. El eje central de la sonda aloja un preamplificador de bajo ruido que acondiciona las señales que se producen en el cristal cuando inciden en él los rayos gamma provenientes del material radiactivo. Todo el conjunto puede ser esterilizado con óxido de etileno (Ramírez, Arboleda, & McCollough, 2008).

Las aplicaciones de la cirugía radioguiada mediante sondas gamma son innumerables, entre ella, se considera una disciplina establecida que ha revolucionado el tratamiento quirúrgico de diferentes tipos de cáncer. Ante esto, y dada la importancia de contar con una sonda más precisa.

También es determinante para la seguridad de la localización preoperatoria en las lesiones no palpables de la mama para garantizar la completa resección del tumor y un buen resultado estético post operatorio. En cuanto a su utilización de radiotrazadores en cirugía urológica, a excepción del cáncer de pene, ha sido hasta ahora anecdótica. La incorporación de procedimientos diagnósticos basados en imágenes moleculares además de mejorar el rendimiento diagnóstico, pueden utilizarse en la planificación quirúrgica de tumores urológicos, como el ganglio centinela en cáncer de próstata, con la finalidad de disminuir el tiempo quirúrgico y la morbilidad de la cirugía clásica, y posiblemente a largo plazo mejorar la supervivencia.

La cirugía del ganglio centinela está indicada en pacientes con cáncer de

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

próstata de alto riesgo intermedio que tienen una alta probabilidad de afectación ganglionar y que anteriormente eran, en la mayoría de los casos, sometidos a radioterapia con hormonoterapia. Además es una cirugía de rescate en pacientes que tras prostatectomía radical o radioterapia presentan una recidiva bioquímica (elevación del PSA) y que el PET-TAC y otros métodos radiológicos muestran exclusivamente afectación ganglionar. El procedimiento es el siguiente:

El día previo a la cirugía se inyecta en la próstata Tecnecio para la realización del SPET-TAC que identificará y localizará los ganglios centinela y permitirá la planificación quirúrgica. Para la identificación intraoperatoria se utiliza una sonda adaptada al campo quirúrgico laparoscópico y un navegador externo, que permiten localizar los ganglios centinelas incluso los localizados fuera de los territorios de drenaje habituales, testar la actividad extracorpórea de los ganglios centinela resecaados y la ausencia de actividad en el lecho quirúrgico, indicativa de una extirpación completa (Fernández, 2013).

En síntesis, la sistematización y consolidación de la cirugía radioguiada en próstata está permitiendo su expansión a otras patologías como el tumor renal y el vesical infiltrante. El futuro determinará si se consolidan y se generalizan estas técnicas en la práctica habitual.

Ilustración 21



Equipo de sonda para radiocirugía guiada

Fuente: Tecmedsrl.com (2018)



CAPÍTULO V

MÉTODOS Y TÉCNICAS ALTERNAS AL RADIODIAGNÓSTICO



www.mawil.us

Existen otros principios de la imagenología que no parten de la radiación, sino que usa efectos alternos como las ondas de sonido y magnéticas para procurar y generar una imagen, son muy útiles cuando el paciente no puede ser expuesto a ningún tipo de radiación, las imágenes al principio de estas técnicas no eran muy fieles o definidas, pero en la actualidad, cada vez más son más exactas y reales, incluso se presentan en 3D.

5.1. Ecografía

Desde el XVIII se descubrió el ultrasonido como un fenómeno natural, cuando el biólogo italiano, Lazzaro Spallanzani describe el proceso de emisión de estas ondas, observando cómo los murciélagos cazaban sus presas. Posteriormente, para la primera mitad del siglo XIX (1803-1853), el físico y matemático austriaco Christian Andreas Doppler presenta su trabajo sobre el “Efecto Doppler” observando ciertas propiedades de la luz en movimiento, que eran aplicables a las ondas del ultrasonido (Pineda, Palacios, & González, 2012).

Luego, en la segunda mitad de ese mismo siglo Pierre y Jacques Curie revelan las propiedades de algunos cristales conocidas como “efecto piezo-eléctrico”, que sirvieron de fundamento para los distintos usos de las ondas del ultrasonido (Arias, 2006). En el período posguerra del siglo XX se inicia el diseño y desarrollo de prototipos de equipos diagnósticos en ciencias de la salud basados en ultrasonido. Ya para 1950 fue aceptado como método de diagnóstico médico, lo que impulsó estudios y líneas de investigación al respecto.

Los aparata primigenios eran de gran tamaño y el paciente debía sumergirse en estanques de líquido conductor como el agua, ya para finales de los años setenta del siglo XX, se logran las imágenes en escalas de grises y con alta resolución (Ortega, 2004).

Los sonidos son ondas mecánicas procedentes de una vibración de un cuerpo flexible irradiado mediante un elemento material sometido a compresiones y dilataciones. El sonido humanamente audible son ondas sonoras consistentes en oscilaciones de la presión del aire, son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro. El oído humano tiene capacidad para

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

escuchar sonidos con una frecuencia máxima de 20.000Hz.

Los sonidos pueden clasificarse de la siguiente forma: (a) ondas infrasónicas o infrasonidos, cuya frecuencia es menor de 20 Hz; (b) ondas sónicas o sonidos, en los que la frecuencia oscila entre 20 y 20.000 Hz (20 kHz);(c)ondas ultrasónicas o ultrasonidos, cuya frecuencia siempre es mayor de 20 kHz, son sonidos no detectables por el oído humano aunque sí por algunos animales (Segura, Saez-Fernández, Rodríguez-Lorenzo, & Díaz-Rodríguez, 2014)

El ultrasonido en imagenología aplica el mismo procedimiento de los murciélagos, pero esta vez no solo para posicionarse o ubicar la posición de un objeto, sino para obtener una imagen (también conocido como ecografía). Emplea los ecos de una emisión de ultrasonidos dirigidasobre un cuerpo u objeto como fuente de datos paraformar una imagen de los órganos o masas internas. Un pequeño instrumento llamado transductor emite ondasde ultrasonidos;estas ondas sonoras de alta frecuencia se transmiten hacia el área del cuerpo bajo estudio y serecibe su eco, el transductor recoge el eco de las ondassonoras y una computadora lo convierte en imagen. De este modo, enla ecografía, no se emplea radiación.

El ultrasonido se define, de acuerdo a lo anterior, puede definirse como una serie de ondas mecánicas, generalmente longitudinales, originadas por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico) y propagadas por un medio material (tejidos corporales), cuya frecuencia supera la del sonido audible por el humano (Pineda, Palacios, & González, 2012). Los elementos constitutivos del equipo ecográfico son: (a) el transductor o la sonda, (b) el botón de ganancia y (c) los botones de curva ganancia según la profundidad (Segura, Saez-Fernández, Rodríguez-Lorenzo, & Díaz-Rodríguez, 2014). Algunas de las medidas que se usan generalmente en ultrasonido son: frecuencia, velocidad de propagación, interacción del ultrasonido con los tejidos, ángulo de incidencia, atenuación y frecuencia de repetición de pulsos (Venables, 2011). Piezoelectricidad significa “electricidad impulsada por presión” (Mambachi & Cobbold, 2011).

Las imágenes derivadasdelultrasonido son, en esencia, una medida de la respuesta acústica de un impulso a una señal con una frecuencia particular.Usualmente, un transductor ultrasónico sepuede generar ondas acústicas mediante la conversión de las energías térmica, eléctrica y magnética, en energía mecánica;

siendo el efecto piezo-eléctrico la técnica más eficiente al momento de realizar este proceso de conversión, para obtener imágenes médicas.

Existen tres formas elementales de representar las imágenes ecográficas. El modo A o de amplitud, se empleó inicialmente para distinguir entre estructuras quísticas y sólidas y se utilizó para representar gráficamente una señal. El modo M se emplea para las estructuras en movimiento como el corazón; se realiza una representación gráfica de la señal, la amplitud es el eje vertical, el tiempo y la profundidad son el eje horizontal. El modo B es la representación pictórica de la suma de los ecos en diferentes direcciones (axial, lateral), favoreciendo que el equipo reconozca la posición espacial y la dirección del haz. Ésta es la modalidad empleada en todos los equipos de ecografía en tiempo real y se trata de una imagen bidimensional estática (Pineda, Palacios, & González, 2012).

En el día de hoy, también se usa la ecografía Doppler, que es una técnica utilizada por parte del personal médico. Su principio básico radica en la observación de cómo la frecuencia de un haz ultrasónico se altera cuando a su paso se encuentra con un objeto en movimiento (eritrocitos o flujo sanguíneo). El equipo detecta la diferencia entre la frecuencia del haz emitido y la frecuencia del haz reflejado (frecuencia Doppler). La información obtenida mediante la técnica Doppler puede presentarse de dos formas diferentes: en Doppler color se muestran las estructuras en movimiento en una gama de color; y el Doppler de poder, también denominado de potencia o de energía, muestra tan sólo la magnitud del flujo y es mucho más sensible a los flujos lentos, y por lo general resulta ser una técnica más utilizada en el aparato locomotor que la de Doppler color. Esta técnica es muy usada para el diagnóstico del sistema circulatorio y para hacer un examen de insuficiencia venosa (Pineda, Palacios, & González, 2012). (Caicedo & Aldana, 2009)

El ultrasonido es utilizado en: oftalmología, ginecología y obstetricia, así como, sistemas cardiovascular y genitourinario, incluyendo glándulas mamarias, área abdominal, entre otros. Efectos celulares perjudiciales en personas no se han ser demostrado, pesea la gran cantidad de estudios aparecidos en la literatura médica relativos al uso del diagnóstico ecográfico en ciencias de la salud.

Ilustración 22



Imágenes resultantes de un ultrasonido en 2d, 3d y 4d

Fuente: Youtube

El ultrasonido en el transcurso del tiempo ha venido ganando terreno como ayuda diagnóstica de uso frecuente y confiable, hasta convertirse en el segundo método más solicitado después de los rayos X, debido a que tiene muchas ventajas sobre la radiografía: ausencia de radiación, excelente visualización de tejidos blandos y diferenciación entre sólidos y líquidos, las ecografías pueden repetirse sin peligro alguno, son más económicas y pesan menos que un computador portátil. Todas estas ventajas y muchas más son al parecer, la causa del uso casi masivo de este medio diagnóstico tan útil en la actualidad.

5.2. Resonancia magnética

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) fue el ingeniero y matemático, quien desarrolló investigaciones sobre la propagación del calor que llevaron a la publicación de su obra “Théorieanalytique de la chaleur” (1822). En este libro, Fourier expuso la ecuación diferencial del flujo de calor y, como parte de ello, intentó demostrar que cualquier función diferenciable puede ser expandida en una serie trigonométrica. Este paso, aparentemente irrelevante para la medicina de su contexto sociohistórico, resultó fundamental para la tomografía computarizada y la resonancia magnética (Caicedo & Aldana, 2009)

La resonancia magnética surge como método de diagnóstico nacida en 1946, sus artífices fueron, los físicos Edward Purcell y Félix Bloch, ganadores del premio Nobel en 1952. En un principio, el método fue aplicado a objetos sólidos en estudios de espectroscopia, en 1967 J. Jackson comenzó a aplicar los descubrimientos logrados hasta entonces, en organismos vivos, y en 1972 Laterbur, pudo avisorar y comprobar la aplicación de esta técnica para producir imágenes en personas (Pebet, 2004). En 1974 Raymond Damadian confeccionó el primer tomógrafo de resonancia magnética, obteniendo la imagen de un tumor de una rata, publicada en la revista Science en 1976. El primer aparato de resonancia magnética data de 1981 y hasta hoy se ha propagado y extendido su uso en las ciencias de la salud como técnica alterna de imagenología al radiodiagnóstico.

La resonancia magnética nuclear se fundamenta en las propiedades magnéticas que poseen los núcleos atómicos (generalmente el hidrogeno) para generar imágenes. Esta técnica alinea los campos magnéticos de los átomos en la dirección de un campo magnético externo. Al regresar dichos átomos a su estado original, emiten una señal (que resuenan) que registra una computadora para producir la imagen.

Dicho de otro modo, resonancia magnética detona un campo magnético inducido en el cuerpo del paciente. Los materiales que poseen un número impar de protones exhiben un momento magnético nuclear el cual, a pesar de ser muy débil, es observable. Este tipo de momento, generalmente, se orienta de manera aleatoria, sin embargo, cuando los referidos materiales son sometidos a campos magnéticos muy intensos (es el efecto de la resonancia magnético), sus momentos tienden a alinearse de acuerdo a una orientación inducida por la polaridad dominante de dichos campos, posibilitando así su registro y la generación de la imagen.

En síntesis, la resonancia magnética es un método que radica en la generación de imágenes detalladas de órganos y tejidos internos a través del uso de campos magnéticos utilizando grandes imanes, ondas de radiofrecuencia y una computadora para la producción de imágenes. Su aplicación condujo al desarrollo de una nueva modalidad conocida como resonancia magnética funcional, la cual provee una herramienta sensitiva, no invasiva para el mapeo de activación de la función del cerebro humano, a través de la medición de cambios locales en el flujo sanguíneo (Caicedo & Aldana, 2009).

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

La resonancia magnética, es una modalidad de imagenología que ha obtenido un puesto relevante en las ciencias de la salud, debido al excepcional contraste que exhiben las imágenes generadas mediante ella. El preciso detalle de sus imágenes y el contraste entre los diferentes tejidos han convertido a la resonancia magnética en una técnica imprescindible para diagnosticar muchas enfermedades y para hacerle seguimiento a diferentes estrategias terapéuticas (Alberich, 2013). Adicionalmente, de la resonancia magnética se basan investigaciones científicas el funcionamiento de los organismos biológicos y fisiológicos asociados a la enfermedad. Los componentes fundamentales del equipo de RM son: imán creador del campo electromagnético, sistema de radiofrecuencia, sistema de adquisición de datos, ordenador para analizar las ondas y representar la imagen y el equipo de impresión para imprimir la placa

La resonancia magnética se aplica para el estudio prácticamente de todo el cuerpo humano en general. Se utiliza para representar estructuras como cerebro, corazón, pulmones, glándulas mamarias, hígado, vías biliares, bazo, páncreas, riñones, útero, ovarios, próstata, hueso, músculo, y otros. La principal ventaja de la resonancia magnética es que no utiliza radiación ionizante, reduciendo riesgos de mutaciones celulares o cáncer.

Otras ventajas de la resonancia magnética son: permite cortes muy finos (1/2 mm o 1mm) e imágenes detalladas logrando observar estructuras anatómicas no apreciables con otro tipo de estudio; permite la adquisición de imágenes multiplanares (axial, sagital, coronal) sin necesidad de cambiar de postura al paciente; detecta muy rápidamente los cambios en el contenido tisular de agua, no causa dolor y el paciente tiene en todo momento comunicación con el médico.

La calidad de las imágenes obtenidas se puede mejorar utilizando medios de contraste paramagnéticos por vía intravenosa (se suministran previo al estudio, inyecciones de un fluido llamado gadolinio). Esto hace que las áreas anormales se iluminen en la resonancia magnética y sean más fáciles de captar y distinguir.

Dentro de las contraindicaciones para realizar resonancia magnética están: pacientes con dispositivos cardíacos, implantes cocleares, prótesis valvulares cardíacas no compatibles con la resonancia magnética y cuerpos extraños metálicos en lugares con riesgo vital (ojo, cerebro, hígado, grandes vasos); las contraindicaciones relativas son: embarazo, claustrofobia severa, obesidad mórbida

y presencia de tatuajes extensos por el riesgo de producir quemaduras al aumentar la temperatura local (Alberich, 2013). Las desventajas son sus altos costos y su la visualización en tiempo real.

Ilustración 23



Preparación para un procedimiento de resonancia magnética

Foto: Helitac (2015)

Cuando la resonancia magnética se emplea para extraer información relacionada con las estructuras cardiacas se puede usar el término Resonancia Magnética Cardiovascular, la cual es muy útil para la detección de enfermedades cardiacas congénitas, el stress de la pared miocárdica, tumores en estructuras cardiacas y enfermedades aorticas. La resonancia magnética complementa a las técnicas de tomografía para detectar tumores cerebrales (Ahualli, 2010).

Se puede pronosticar que la resonancia magnética reemplazará poco a poco otras técnicas y métodos de imagenología. Esto porque paulatinamente están siendo descartados los métodos que utilizan radiaciones ionizantes. En la actualidad, la resonancia magnética, ha logrado una función clave fundamental en el tratamiento de numerosas enfermedades con importante impacto social y económico como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, neurológicas y las del sistema musculo esquelético.



CAPÍTULO VI

ROL DEL PROFESIONAL DE LA
IMAGENOLÓGIA DE LA RADIOTERAPIA



www.mawil.us

6.1. Generalidades de la radioterapia

Poco después de que el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen descubriera los rayos X en 1895, estos efectos radiantes se empezaron a usar de forma eficaz para el tratamiento del cáncer. Hoy día, un número creciente de personas toman radioterapia exitosa para el cáncer, con pocos efectos colaterales, y con preservación de los tejidos sanos. La tecnología actual hace posible que el tratamiento sea más preciso, gracias a la combinación de imágenes en tres dimensiones, planificación computarizada de tratamiento y máquinas de rayos X de alta energía.

En la actualidad, más de la mitad de las personas con cáncer reciben radioterapia, porque a veces es el único tratamiento que se requiere contra el cáncer. La radiación se emplea comúnmente como tratamiento contra el cáncer, también se conoce como radioterapia, irradiación o terapia de rayos X. La radioterapia manipula partículas u ondas de alta energía: rayos X, rayos gamma, rayos de electrones o de protones, para eliminar o dañar las células cancerosas.

Normalmente, las células crecen y se dividen para formar nuevas células. No obstante, hay células que se comportan de forma errática, se trata de las células cancerosas, quienes crecen y se dividen más velozmente que la mayoría de las células normales. La radiación actúa sobre el ADN que se encuentra dentro de las células produciendo pequeños rompimientos. Estos rompimientos evitan que las células cancerosas crezcan y se dividan, y les causan la muerte. Puede que también las células normales cercanas se afecten con la radiación, pero la mayoría se reconstituyen y retoman su función normal (Passarielo & Mora, 1995).

La radiación o la radioterapia tiene una ventaja frente a la quimioterapia. A diferencia de esta, donde generalmente se expone a todo el cuerpo a los medicamentos que combaten al cáncer que son abrasivos, la radioterapia es un tratamiento de aplicación local. En la mayoría de los casos, la radiación se dirige y afecta solamente la parte del cuerpo donde se enfoca la terapia. Así, el tratamiento con radiación se planifica con el fin de atacar a las células cancerosas, ocasionando el menor daño posible a las células sanas adyacentes.

Algunos tratamientos con radiación (radioterapia sistémica) usan sustancias irradiantes que se administran a través de una vena o de forma oral. Pero aun-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

que este tipo de radiación pasa por todo el cuerpo, la sustancia radiactiva se acumula fundamentalmente en el área del tumor, de modo que disminuye el efecto en el resto del cuerpo.

Ilustración 24



Procedimiento focalizado de radioterapia

Fuente: Centro de Información Médica (2018)

La mayoría de los tipos de radioterapia no alcanzan a todas las partes del cuerpo, lo que significa que no son útiles en el tratamiento del cáncer que se ha propagado a muchos lugares del cuerpo. Aun así, la radioterapia puede utilizarse para tratar a muchos tipos de cáncer ya sea sola o en combinación con otros tratamientos. Aquí se detallan algunas de las razones por las que se puede usar radioterapia:

La radioterapia es un tratamiento contra el cáncer. Utiliza dosis altas de radiación para descomponer las células cancerosas y frenar su propagación. La radiación puede ser externa, de máquinas especiales, utilizando máquinas llamadas aceleradores; o interna, a partir de sustancias radioactivas que un médico coloca dentro de su cuerpo (radioterapia sistémica), es decir, se puede administrar, o mediante fuentes radioactivas que se colocan en el interior del paciente en forma temporal o permanente. La radioterapia coadyuva a reducir el dolor y el sufrimiento en los pacientes con cáncer avanzado (Arias, 2006).

6.2. Requerimientos y posibilidades de aplicación de la radioterapia

La radiación para la cura o la lucha contra el cáncer, tiene las siguientes aplicaciones (Eastman, Wald, & Crossin, 2005):

1. Cuando el objetivo es curar o reducir el tamaño de un cáncer en etapa temprana es preciso considerar la sensibilidad de algunos tumores a la radiación. En estos casos se puede usar únicamente la radioterapia para reducir el tamaño del cáncer o desaparecerlo totalmente.
2. En algunos casos, es preciso administrar algunos ciclos de quimioterapia.
3. En otros tipos de cáncer se puede usar la radiación previa a la cirugía para reducir el tamaño del tumor (terapia preoperatoria o neoadyuvante) o después de la cirugía para ayudar a evitar el regreso del cáncer (terapia adyuvante).
4. Para tipos de cáncer específicos que pueden curarse mediante radiación o cirugía, la radiación es el tratamiento adecuado. Esto se debe a que la radiación puede causar menos daño y es más probable que el órgano funcione adecuadamente después del tratamiento.
5. En otros tipos de cáncer, la radiación y la quimioterapia pueden usarse en conjunto. Algunos medicamentos de la quimioterapia (llamados radiosensibilizadores) ayudan a que la radiación sea más eficaz al hacer que las células cancerosas sean más sensibles a la radiación. La desventaja de aplicar quimioterapia y radiación al mismo tiempo, radica en el hecho que los efectos secundarios a menudo son más graves.
6. Para evitar que el cáncer regrese (recurra) en otro sitio: El cáncer se puede propagar del lugar de su origen a otras partes del cuerpo. Los médicos deben siempre partir del hecho que algunas células cancerosas ya se han propagado y no pueden ser captadas imagenológicamente mediante tomografías computarizadas o imágenes por resonancia magnética. En algunos casos, de forma profiláctica, se puede tratar con radiación el área a donde el cáncer es probable se expanda con más frecuencia para des-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

truir cualquier célula de cáncer antes de que se conviertan en un tumor. Por ejemplo, las personas con determinadas clases de cáncer de pulmón pueden recibir radiación preventiva (o profiláctica) en la cabeza, porque este tipo de cáncer con frecuencia se propaga al cerebro. Algunas veces, la radiación para prevenir un futuro cáncer se puede administrar al mismo tiempo que la radiación que se suministra para tratar un cáncer que ya existe, especialmente si el área a donde el cáncer se podría propagar está cerca del tumor en sí.

7. Para tratar los síntomas causados por el cáncer avanzado. En oportunidades el cáncer se ha extendido demasiado como para ser del todo curado. Pero algunos de estos tumores pueden aún ser tratados para reducir sus tamaños de modo que el paciente tenga un poco de calidad de vida, es decir, la radiación podría ayudar a aliviar problemas, tales como el dolor, la dificultad para tragar o respirar, o los bloqueos intestinales que pueden causar un cáncer avanzado. A menudo, a esto se le llama radiación paliativa.

Ilustración 25



Radioterapia de cáncer de mama

Fuente: Mayo Clinic (2017)

6.3. Tipos de administración de radioterapia

La radioterapia puede administrarse de tres maneras (Arias, 2006):

1. Radiación externa (o radiación de rayos externos): se emplea una máquina que dirige los rayos de alta energía desde fuera del cuerpo hacia el tumor. La mayoría de las personas recibe radioterapia externa durante el transcurso de muchas semanas en las que las sesiones se realizan de manera ambulatoria en un centro de tratamiento u hospital.
2. Radiación interna: a la radiación interna también se llama braquiterapia. Se coloca una fuente de radiación dentro o cerca del tumor en el cuerpo.
3. Radiación sistémica: para tratar a ciertos tipos de cáncer, se administran medicamentos radiactivos por vía oral o por vena. Estos medicamentos entonces viajan por todo el cuerpo.

Ilustración 26



Radioterapia sistémica

Fuente: salud.wikiplus.org (2018)

6.4. Importancia del imagenólogo en el equipo profesional de la radioterapia

La preparación para la radioterapia se centra en lograr que la dosis de radiación incida en el cáncer de la forma más precisa posible, para reducir al mínimo los efectos secundarios y evitar el daño a las células sanas. Se pueden usar pruebas y cálculos por imágenes para ayudar a determinar la forma y la ubicación exacta de su tumor y definir sus coordenadas y límites. El médico tratante dará instrucciones específicas de acuerdo al tipo prueba y representación imagenológica a realizar. El tipo de radioterapia a administrar depende de los siguientes factores (Hans, 1995):

1. El tipo de cáncer
2. El tamaño del cáncer
3. La ubicación del cáncer en el cuerpo
4. Proximidad del cáncer a los tejidos sanos sensibles a la radiación
5. Hasta dónde en el cuerpo la radiación debe llegar
6. El estado general de salud del paciente y su historia médica
7. Si se trata de una terapia principal o complementaria
8. Otros factores, como su edad y otras condiciones médicas

El médico tratante junto con el médico-físico y el imagenólogo forman un equipo para que la radioterapia sea exitosa, ya que la terapia de radiación puede dañar las células normales y las células cancerosas. El tratamiento debe ser planeado con cuidado para minimizar los efectos secundarios. Los efectos colaterales o secundarios comunes incluyen cambios en la piel y fatiga. Otros efectos secundarios dependen de la parte del cuerpo a tratar. La radioterapia es multidisciplinaria y el paciente es atendido por un equipo de profesionales de la salud altamente capacitados. Este equipo generalmente está constituido por (Pera, 2004):

1. Oncólogo especialista en radiación: este médico está especialmente capacitado para tratar el cáncer con radiación, y supervisa su plan de tratamiento con radiación.
2. Físico especialista en radiación o físico-médico: se encarga de que el equipo de radiación funcione adecuadamente y se asegura de que usted

reciba la dosis de radiación exacta, según las indicaciones de su oncólogo especialista en radiación.

3. Dosimetrista: esta persona es supervisada por el físico especialista en radiación y ayuda al oncólogo especialista en radiación a planificar el tratamiento. Este rol usualmente es asumido por el imagenólogo o de una persona que forme parte del departamento de imagenología.
4. Radioterapeuta o técnico de radioterapia: opera el equipo de radiación y le indica la posición en la que debe colocarse para recibir cada tratamiento. Mantiene el registro diario y revisa las máquinas periódicamente para cerciorarse de que funcionan bien. También puede ser asumido por un imagenólogo y es un personal que usualmente pertenece al equipo de imagenología.
5. Enfermera de radioterapia: cuenta con preparación especial en el tratamiento contra el cáncer, y puede proveer información sobre el tratamiento con radiación y cómo tratar los efectos secundarios.

Es posible que usted también necesite los servicios de un nutricionista, un fisioterapeuta, un trabajador social clínico, un dentista o un oncólogo dentista y otros especialistas.

6.5. Localización y simulación del tratamiento

Dado lo delicado y preciso que amerita ser un tratamiento de radiación es recomendable y obligatorio realizar simulaciones, y es aquí donde es fundamental el concurso del profesional de la imagenología. Antes de entrar en materia es preciso definir qué es simulación.

La simulación es la representación del comportamiento de un proceso por medio de un modelo material cuyos parámetros y cuyas variables son la reproducción de los del proceso estudiado para poder comprenderlo o ensayarlo sin necesidad de incurrir en el plano real. En este caso la característica de la simulación es que es virtual, es decir, tiene existencia aparente o potencial pero no

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

real o efectiva.

Por simulador se entiende un programa realizado para representar el funcionamiento de una máquina, de un sistema o de un tecnofactos antes de su construcción o utilización, es la fase previa al diseño del prototipo. En el campo de la medicina imagenológica una simulación virtual se realiza con un tomógrafo, que contiene un paquete (software) especial para operar y trasladar las imágenes a una estación de trabajo donde se realizará la reconstrucción de imágenes, y se identifica y se valorar el isocentro y definición de estructuras de importancia y blanco de tratamiento, como por ejemplo, células cancerígenas o tumores (Montero, 2008).

Dentro del contexto de radioterapia simulación virtual se refiere a un conjunto de programas computacionales (software) que permiten definir, calcular un isocentro dentro de un volumen de interés y simulando un tratamiento así como usando una radiografía reconstruida digitalmente (DRR/RRD) en forma opcional, para confirmar por coordenadas anatómicas la planeación del tratamiento por radiación.

Dicho de otra manera, el DRR es una radiografía generada por computadora basada en la tomografía del paciente, y tiene los mismos datos que una generada convencionalmente. La localización y diseño de los volúmenes blanco en el plan de tratamiento son pasos de suma importancia, por lo cual se deben desarrollar con la mayor precisión, posible, con el fin de realizar un tratamiento de alta calidad. La simulación virtual incluye los siguientes pasos y deben ser seguidos por el profesional de la imagenología (Pera, 2004):

1. Toma de los datos del paciente (Nombre, registros, sitio a tratar).
2. Definición y colocación de sistemas de inmovilización, marcas radioopacas que sirvan de referencia para colocar el probable punto central del o los campos de tratamiento (isocentro).
3. Colocación del paciente en el tomógrafo (TAC).
4. Transferencia de imágenes adquiridas en tomógrafo (TAC).

5. Reconstrucción de la imagen de TAC. Definición del sitio; estructuras de importancia y blanco de tratamiento.
6. Cálculo dosimétrico del plan de tratamiento.
7. Verificación del tratamiento.

Cada paso debe ser cuidadosamente vigilado por el médico tratante y por el técnico(s) que realizan el procedimiento, estos últimos son profesionales de imagenología. Los pasos 1, 2 y 3 son responsabilidad conjunta del médico tratante y profesionales de la imagenología que realizarán el procedimiento, el físico médico podría estar presente para apoyar o sugerir alguna modificación, pero la aprobación final recae en el médico tratante. Los pasos 4, son responsabilidad del profesional de la imagenología que realiza el procedimiento, podría estar acompañado del médico y/o del físico.

El paso 5 y 6 es responsabilidad del médico tratante y del físico, la definición del sitio a tratar, delinear los órganos de interés o críticos, Volumen de grueso tumoral (VTG), volumen clínico, (VTC) volumen tumoral planeado (VTP). En este paso la separación entre el VTP y los colimadores o protecciones o hojas del microcolimador multihojas será una decisión conjunta entre el físico médico y el médico tratante preferiblemente con participación del imagenólogo. Con respecto al paso 7 verificación del tratamiento este paso tendrá que intervenir médico tratante, físico, e imagenólogos.

El desglose de estos pasos se presenta a continuación:

1. Adquisición de los datos del paciente. Esto se refiere a los datos de la hoja de solicitud de planeación y de solicitud de tomografía virtual (médico e imagenólogo): (a) nombre del paciente, (b) registro del expediente con el número de radioterapia, (c) sitio, inmovilizador, espesor de corte, distancia entre corte, marco estereotáxico, (d) para tumores intracraneales se debe realizar la tomografía con medio de contraste, (e) dosis y número de fracciones.
2. Definición y colocación del sistema de inmovilización. En este paso el médico tratante valorará según el sitio anatómico, la posición de tratamiento del paciente (decubito dorsal o ventral), el inmovilizador pertinente para el área de

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

tratamiento: (a) si es un inmovilizador para posición decúbito ventral se deberá anotar la angulación de este, (b) si es de abdomen debe construirse una malla de ser posible, que lo cubra, anotar los parámetros de inmovilizador, (c) si se utiliza marco estereotaxico, anotar medida de poste de fijación, de los seguros,(d) definición y colocación de marcas radio-opacas que sirvan de referencia para colocar el probable punto central del o los campos de tratamiento(isocentro), (e) este paso se realizará en el cuarto de tratamiento y con alineación de los laser, (f) colocar unas marcas transitorias en el posible centro de campos del área de interés.

En síntesis, este proceso se vale de un TAC simulador que es muy parecido a los TAC de Radiodiagnóstico. Tiene la particularidad de tener un arco mayor y una mesa plana. Dichas características nos resultan útiles para luego poder reproducir fielmente el tratamiento en la mesa de tratamiento del acelerador lineal, sobre la base de las imágenes que en este TAC obtengamos.

3. Colocación del paciente en el tomógrafo (TAC). Se lleva todo el sistema de inmovilización al servicio de radiología para realizar la tomografía simulación. De acuerdo a la localización del tumor se usan diferentes dispositivos de inmovilización, pues es fundamental que el paciente esté lo más inmóvil posible para luego “apuntar” bien en la diana: el tumor o el isocentro. Para ello se deben usar desde máscaras termoplásticas, planos inclinados, cunas alfa, “bellyboard”, etc. A veces, es necesario apelar contrastes para poder ver mejor algunas estructuras internas.

Adicionalmente, se pueden disponer de unos láseres que facilitan, por un lado, alinear bien al paciente y, por otro, lograr unas coordenadas, para posteriormente, durante el tratamiento colocar al paciente exactamente en la misma posición. Esas coordenadas son pintadas en la piel o bien se tatúan en forma de pequeños puntitos en la piel.

4. Transferencia de imágenes adquiridas en tomógrafo (TAC). Posteriormente, una vez ya colocado e inmovilizado el paciente se procede a hacerle el TAC que obtiene las imágenes en poco tiempo. Esas imágenes se exportan al servicio de radiofísica donde posteriormente se realizará el proceso de planificación

5. Reconstrucción de la imagen de TAC. Se realiza la reconstrucción 3D de

imágenes por parte del imagenólogo(body, huesos).

6. Cálculo dosimétrico del plan de tratamiento. (a) el médico indicará el “template” que se utilizará de acuerdo al área de interés, (b) el médico diseñará los volúmenes (VTG, VTC, VTP, VTI) y tejidos u órganos de interés, (c) se diseñarán la entrada de campos, de tal manera que se maximice la curva isodosica (como mínimo 80 %) que cubra el volumen tumoral planeado (VTP), (d) construcción de un DRR (reconstrucción radiográfica digital).

7. Verificación del tratamiento. Es preciso que estén presentes durante el primer día de tratamiento el médico tratante, físico, y los imagenólogos para: (a) verificar los parámetros del inmovilizador, (b) verificar las angulaciones de gantry, mesa, para evitar colisiones, (c) si se utilizarán modificadores del haz de tratamiento(cuña, bolus, protección).

6.6. Dosimetría en radioterapia

El profesional de la imagenología por lo general es quien administra la radioterapia, toda vez que es quien manipula los equipos y conoce su funcionamiento, de tal forma que el centro de salud, no tiene necesidad de contratar un profesional para esta función, toda vez que el imagenólogo está en capacidad de registrar el proceso y advertir al médico tratante o al médico físico cualquier cambio o ajuste en el tratamiento planificado o en el avance exitoso del mismo. A continuación, se especifica los cánones de dosimetría de acuerdo con el tipo de radioterapia:

1. Radiación externa: Es el conjunto de medidas que se establecen con el fin de comprobar empíricamente, y con la periodicidad precisa, que tanto las dosis recibidas, como los niveles de riesgo existentes, están dentro de los límites manejables correspondientes a cada zona. Dicha vigilancia incluye la dosimetría de área, que se aborda a continuación y la dosimetría personal. La vigilancia de las áreas de trabajo puede dividirse en tres categorías (Malvaez, 2008):

- **De rutina:** Asociada a las operaciones habituales o cotidianas.
- **Operacional:** Proporciona información sobre un procedimiento en particular.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- **Especial:** Se aplica a una situación que se sospecha anómala.

La vigilancia de rutina en el puesto de trabajo debe realizarse para confirmar que dicho trabajo se realiza satisfactoriamente y según las normas de bioseguridad y bioética. Ésta se hará mediante los procedimientos adecuados, de forma continuada y en tanto no se produzcan cambios significativos. La vigilancia operacional se realizará para estimar el riesgo vinculado con procedimientos de trabajo determinados.

La vigilancia especial se practicará cuando: (a) no exista información suficiente sobre una situación especial para decidir las medidas de bioseguridad a tomar.

(b) se aplique un procedimiento en circunstancias especiales, (c) se midan las tasas de dosis externas se especificará la naturaleza y calidad de las radiaciones de que se trate.

La vigilancia operacional o instrumental: se realizará la vigilancia de las dosis absorbidas, las tasas de dosis absorbidas o de fluencia con los equipos del tipo y sensibilidad adecuados a la naturaleza y calidad de la radiación emitida.

Dichos equipos pueden ser fijos o portátiles, distribuidos en la forma siguiente:

- Equipos fijos. se ubicarán, previa fijación de un nivel de alarma en:

(a) lugares de almacenamiento y preparación de material radiactivo, (b) los accesos a zonas controladas donde se manipulen fuentes encapsuladas y no encapsuladas.

- Las salas de tratamiento de Radioterapia.

- Equipos portátiles: Estarán disponibles y los servicios que manejen fuentes encapsuladas y no encapsuladas.

Ilustración 27*Dosimetría clínica en radioterapia externa*

Fuente: Alexis Velázquez (Prezi)

La vigilancia y registro a cargo del imagenólogo en la radioterapia debe cubrir las siguientes acciones (Silva, 2000):

1. Niveles de actuación: Se deberán definir niveles de actuación en términos de tasa de dosis de radiación, de manera que, en caso de alcanzarse, se tomen las medidas de investigación o de intervención necesarias.
2. Registro de documentación: Los documentos correspondientes al registro, evaluación y resultado de la vigilancia y control de la radiación externa deberán ser archivados por el titular, quién los tendrá a disposición de la autoridad competente.
3. De la contaminación: Es el conjunto de medidas que deben establecerse con objeto de comprobar empíricamente, y con la periodicidad necesaria, los niveles de contaminación existentes en las instalaciones. Cuando se detecten concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, se especificará la naturaleza de los radionucleidos contaminantes y su estado fisicoquímico en caso de contaminación. La vigilan-

cia de la contaminación puede ser.

3.1. De área: superficial y ambiental. Personal: interna y externa

La vigilancia rutinaria se realizará periódicamente en puntos de referencia establecidos previamente por parte del servicio y mediante el procedimiento específico correspondiente, sin perjuicio de los controles que deban realizar los operadores de la instalación de acuerdo con su reglamento de funcionamiento.

Las medidas de control de la contaminación externa se realizarán diariamente en los lugares de trabajo, al final de la jornada, al salir de zonas con riesgo de contaminación radiactiva, y siempre que se sospeche que existe contaminación o se produzca un incidente o accidente. Las normas de actuación en el caso de contaminación personal o ambiental serán las descritas en los procedimientos correspondientes y cualquier incidencia se anotará en el diario de operaciones.

Se debe disponer de una zona específica con todo lo necesario para la descontaminación de las personas. En caso de contaminación interna significativa se debe estimar la actividad incorporada y enviar si es necesario al trabajador a un Centro de referencia. Este accidente o incidente se registrará en su historial dosimétrico.

Las personas que trabajan con fuentes no encapsuladas deberán notificar cualquier sospecha de contaminación interna.

De la misma forma se notificarán las situaciones de contaminación externa persistente. Cuando se desee evaluar la contaminación desprendible, o cuando no se pueda estimar directamente el nivel de contaminación superficial, por el excesivo fondo ambiental, se procederá a la realización de frotis de las zonas posiblemente contaminadas.

3.2. Relacionado con los instrumentos y equipos: La medida de la posible contaminación se realizará por medio de equipos, fijos o portátiles, adecuados en sensibilidad y respuesta en energía al radionucleido empleado en cada caso.

Los equipos fijos se situarán a la salida de las zonas con riesgo de contaminación. Los equipos portátiles estarán disponibles.

3.3. Contaminación externa: Para aquellas instalaciones en las que, en condiciones normales de trabajo, exista contaminación superficial persistente, se definirá un nivel de acción (expresado en Bq/cm²) que, en caso de superarse, obligará a adoptar medidas de descontaminación.

3.4. Contaminación interna: Se establecerá un nivel de registro de 1 mSv y un nivel de investigación de 5 mv. Estos valores se refieren a las dosis efectivas comprometidas resultantes de la incorporación de radiactividad a lo largo de un periodo anual.

6.7. Vigilancia, registro y documentación en radioterapia

Los documentos correspondientes al registro, evaluación y resultado de la vigilancia y control de la contaminación deberán ser archivados por el titular de la práctica que más frecuentemente es un imagenólogo, quién los tendrá a disposición de la autoridad competente. Para ello se puede valer de las siguientes técnicas (Eastman, Wald, & Crossin, 2005):

1. Radiaciones ionizantes: Los detectores de radiación ionizante poseen un volumen sensible que absorbe la energía de la radiación que la atraviesa, lo que se traduce en efectos físicos y químicos medibles. Los dispositivos pueden aportar distinta información: detectarla, contarla (número de partículas), medir la cantidad de energía o la dosis depositada.

2. Cámaras de ionización: Las cámaras de ionización miden exactamente la ionización producida por el paso de la radiación al atravesar un gas, para ello se colectan las cargas mediante dos electrodos encerrados en un gas, sobre los que se aplica alta tensión. Los detectores de ionización fueron los primeros dispositivos desarrollados para medir la radiación. El más recomendado por los protocolos de dosimetría, su uso común por su precisión y reproducibilidad.

En los gases la energía de la partícula será proporcional al número de ionizaciones ya que la energía inedia para producir una ionización sólo depende del tipo de gas. La tensión que se emplea a los electrodos hace que se obtenga distinta información, distinto nivel de la señal hace que tengamos distintos ins-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

trumentos trabajando con el mismo principio. Se distinguen básicamente tres zonas:

2.1. Cámara de ionización zona donde se recoge exactamente lo que se produce.

2.2. Contador proporcional se aumenta la señal creando más ionizaciones.

2.3. Zona de Geiger-Muller en la que se provocan fuertes avalanchas de iones sólo con fines de detección

El volumen sensible de este tipo de detectores consta de un material dieléctrico que contiene activadores que crean dos clases de centros, defectos en la red cristalina, que crean niveles electrónicos dentro de una banda prohibida trampas para huecos y electrones y centros de luminiscencia, en estos últimos se recombinan los huecos y los electrones.

3. Dosimetría por emulsión fotográfica: La película es una dispersión de AgBr en una capa de gelatina sobre un material con acetato de celulosa o vidrio, los granos de AgBr son ionizados y dan lugar a la formación de plata metálica. El ‘grano’ constituye la imagen latente. Tras el revelado se reduce la plata metálica mientras los no ionizados permanecen intactos. Estos son suprimidos mediante un fijador. Mediante la densitometría se pondera el grado de ennegrecimiento de la película por la absorción de un haz luminoso.

4. Semiconductores: El principio operacional es análogo al detector de gas, salvo que ahora el medio es sólido, el paso de radiación ionizante crea pares electrón hueco que son recogidos por un campo eléctrico. Debido a su alta densidad ($\rho = 3,2 \text{ g cm}^3$) y la baja energía para producir un par iónico 3,6 eV (frente a 30 eV del gas) será cientos de veces más sensible que una cámara del mismo volumen, lo que permite tamaños compactos.

5. Herramientas de verificación por medio de radiografía digital reconstruida (DRR): Genera una imagen digital de la puerta de entrada realizando un trazado de rayos desde la fuente, atravesando los “datos cf”, hasta el plano de la proyección. Tiene en cuenta la divergencia y la distinta atenuación que sufre al atravesar el tejido.

Para los algoritmos más simples solo se atenúa el haz primario de radiación a lo largo del camino de cada haz. Los más sofisticados incorporan técnicas para la ampliación de contraste, tomando a partir de los números CT las variaciones en las componentes fotoeléctricas y compton. El efecto fotoeléctrico proporcionaría una imagen similar a la de radiagnóstico y el compton se aproxima a que se obtendría en la unidad de tratamiento. Será referencia para verificar el tratamiento.

6. Dosimetría en vivo: La dosimetría en vivo es un método para la medida de la dosis recibida por un paciente, usando detectores en él de forma directa, durante el transcurso del tratamiento con radiaciones. De manera idónea, la dosimetría en vivo sería situar un detector en el volumen a irradiar, lo que es imposible en la mayoría de las ocasiones, por lo que los detectores han de situarse en la superficie del cuerpo o en las cavidades accesibles, e interpretar estas medidas.

La dosimetría en vivo es un factor de control de calidad. En oportunidades, el único método para evaluar la dosis real suministrada a un paciente cuando el cálculo no es posible o es inexacto. De este modo frecuentemente se determina la dosis en órganos críticos y en tratamientos como en la irradiación corporal total.

Los dosímetros más empleados son los termoluminiscentes y los semiconductores.

7. Dosimetría física de los haces de radiación: Los haces de radiación se describen mediante relaciones obtenidas experimentalmente, empleando dosímetros (detectores calibrados en unidades de dosis), en el seno de un maniquí de geometría conocida y propiedades radiológicas similares al tejido humano (agua o compuestos acrílicos).

8. Rendimiento de dosis en profundidad: Cualquier haz polienergético puede describirse a través del rendimiento de dosis en profundidad. Las medidas se realizarán en un maniquí de superficie plana y bajo condiciones de referencia (distancia fuente - superficie, tamaño de campo, etc.) y con el detector a distintas profundidades en el eje del haz, que se relacionan con la dosis máxima medida PDP (d) D_d/D_{max} (%).

9. Mapas de isodosis: La distribución de dosis en un plano la dan las curvas de Isodosis. Una magnitud de interés es la dosis absoluta. En el maniquí se sustituye parte del mismo por un material sensible a la radiación (dosímetro) que se recomienda que sea una cámara de ionización.

Para conocer la dosis en el punto reemplazado se recurre a la teoría de Bragg-Gray $D_m = D_g \cdot S_{g,m}$, donde D_m es la dosis impartida en el material. D_g es la de la cámara de ionización y $S_{g,m}$ es la razón de poderes de frenado entre ambos materiales.

Un análisis más profundo debería incluir factores de corrección por las condiciones ambientales del aire de la cavidad, la perturbación que supone la cámara y la dependencia de éstas con el tipo de radiación.

10. Análisis de la planificación: La planificación tridimensional ofrece la posibilidad de generar gran cantidad de información referente a la distribución de dosis en planos cualesquiera del paciente (transversales, sagitales, coronales, oblicuos), una visualización de un conjunto de ellos para comprobar la distribución de dosis en el volumen blanco y la dosis máxima para cada uno de los órganos críticos con lleva un consumo importante de tiempo con el riesgo de pasar por alto algún detalle de relevancia.

La potencia de los ordenadores actuales permite realizar representaciones tridimensionales del paciente, de los haces y de la distribución de dosis de modo interactivo permitiendo el giro del punto de vista del observador en todas las direcciones posibles del espacio. Con ello se puede observar en todo el volumen de tratamiento algunos parámetros de relevancia, como la isodosis mínima que recubre el volumen blanco y la isodosis máxima en los órganos críticos, pero no proporciona información cuantitativa sobre la planificación como homogeneidad en el CTV o PTV o porcentaje de volumen de un órgano recubierto por una determinada isodosis (Silva, 2000).

Es útil pues disponer de criterios de valoración cuantitativa sobre la planificación, que permitan la optimización y comparación de diversos tratamientos de modo objetivo. Los histogramas dosis – volumen tanto como acumulativo han demostrado ser una herramienta útil en la evaluación y optimización de tratamiento 3D .

En ellos se presenta de un modo conciso y simplificado la relación dosis - volumen en el volumen blanco y en todos los órganos de interés, la simple inspección visual puede conducir a la identificación de características clínicas relevantes de una distribución de dosis, como la homogeneidad de la dosis en el volumen blanco o la presencia y magnitud de puntos calientes o fríos, que serían difícil de determinar rápidamente visualizando la distribución de dosis en planos 2D.

En los histogramas dosis – volumen se representa en el eje de ordenadas el volumen (o porcentaje de volumen) que recibe una dosis mayor o igual a la dosis dada en función de la dosis representada en el eje de las abcisas en todo el intervalo de dosis.

Se pueden generar bien subdividiendo al paciente en cuadrículas volumétricas donde la dosis es homogénea, elementos denominados voxel (distribuciones de frecuencia acumulativa dosis – volumen, comúnmente llamadas histogramas dosis – volumen); bien determinando la dosis en un conjunto de puntos distribuidos aleatoriamente dentro del volumen de interés.

Ambas representaciones son equivalentes cuando los parámetros son típicamente empleados. Estas representaciones se pueden emplear como paso preliminar en la evaluación de la planificación, aunque existen ciertas limitaciones que deben ser consideradas. La falta de información referente a la distribución espacial de la dosis es uno de los mayores factores limitantes al empleo de los DVH, otra limitación de éstos es que la interpretación de los gráficos es en ocasiones subjetiva, al igual que ocurre con la distribución de dosis, pequeñas variaciones entre DVH no son fácilmente interpretables en términos de efectividad del tratamiento.

La mayoría de las distribuciones de dosis en el PTV son inhomogéneas, debido a la proximación de algún órgano crítico a la irregularidad del campo de tratamiento, a la presencia de heterogeneidades en el tejido, es conocido que los efectos clínicos no son una función lineal de la dosis y el volumen irradiado, ni del tumor ni del órgano normal.

Los DVH no reflejan la complejidad de los tratamientos, hecho que es más fácil de ver en las distribuciones de dosis.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Por todo ello no es recomendable emplearlos DVH como único criterio para evaluar una planificación o elegir el mejor tratamiento, sino que se debe tener en cuenta otras características como la dificultad y reproductibilidad de los tratamientos y consideraciones biológicas en términos de eficacia del tratamiento.

La utilidad de los histogramas dosis – volumen e índices biológicos derivados como indicadores de complicaciones y control tumoral ha sido estudiado por diversos autores, concluyendo que hay valores de toxicidad severa en algunos casos clínicos. La aplicación en la práctica clínica está supeditada al entendimiento de los mecanismos biológicos subyacentes de las suposiciones empleadas y el intervalo de aplicación, así como el conocimiento con mayor precisión de datos referentes a tolerancia de tejidos normales y respuesta tumoral a la radiación.

Otros factores como por ejemplo la heterogeneidad de clonogenes en el tumor no son normalmente tenidos en cuenta debido a la insuficiencia de datos específicos. En un futuro la incorporación de estas técnicas de análisis de las planificaciones y tratamientos se convertirán previsiblemente en una herramienta indispensable en la práctica clínica de la oncología radioterapéutica.

6.8. Bioética en la radioterapia

El término bioética tiene un origen etimológico bien conocido: bios–ethos, comúnmente traducido por ética de la vida. El pinero de este concepto fue Potter, un oncólogo de origen holandés, en consideración de la influencia que podrían tener las variaciones ambientales en la salud del ser humano. Este médico acuñó la palabra con la finalidad de unir mediante esta nueva disciplina dos mundos que en su opinión hasta ese momento solían ser irreconciliables o excluyentes: el mundo de la ciencia, y el mundo de los valores, y en particular la ética. Potter entendía la bioética como una ética de la vida entendida en sentido amplio, que comprendiera no sólo los actos del sobre la vida humana, sino también sobre aquella animal y medioambiental (Bioética.web.com, 2014).

La bioética es el conjunto de conceptos, argumentos y normas que valoran y legitiman éticamente los actos humanos que eventualmente tendrán efectos

irreversibles sobre fenómenos vitales del cuerpo humano u otro ser vivo (Silva, 2000). Es más vasta que la ética médica porque incluye situaciones, actos y consecuencias que ocurren fuera del quehacer médico. La bioética involucra (Silva, 2000):

1. Estudia los dilemas presentados por, o en nombre de, seres vivos, en tanto la funcionalidad o la persistencia de sus vidas se vean amenazadas.

2. Abordan además cuestiones sociales relativas a la salud pública (organización, financiamiento y prestación de servicios) y amplía su marco hasta la experimentación animal y los problemas del medio ambiente, incluyendo materias como la ética ecológica, la ética de futuras generaciones, la ética del conocimiento biológico, la ética bioindustrial, la ética de la naturaleza, de la familia, de la discriminación.

3. Como código de ética o moral profesional se entiende el conjunto de principios, normas y exigencias morales adoptado en un medio profesional determinado, con el objetivo fundamental de regular la conducta moral de los distintos profesionales en su quehacer. En este caso se hace referencia a las normas bioéticas durante las sesiones de radioterapia que debe considerar el profesional de la imagenología.

4. Su surgimiento y desarrollo se considera como uno de los índices del progreso moral de la humanidad, en la medida en que históricamente han expresado y reforzado el crecimiento del valor del ser humano, confirmando los principios humanistas en las relaciones interpersonales. Acerca la ciencia y la tecnología a la ética y la moral sin presentarlas como procesos excluyentes sino necesariamente complementarios e integrados.

La evaluación de la tecnología médica en su concepto más amplio contempla la evaluación de cualquier medicamento, dispositivo, equipo y procedimiento médico o quirúrgico utilizado en la atención médica y los sistemas de organización y apoyo por los cuales se proporciona la atención, por ende, la radioterapia entra en este conjunto. Según el autor precitado, en este sentido, se debe considerar (Arias, 2006):

1. Una tecnología requiere de una serie de exigencia o normas para su aplica-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

ción:

2. Debe existir un tratamiento adecuado, que conlleve a minimizar el detrimento de la calidad de vida del enfermo.
3. Debe ser eficaz: los resultados clínicos obtenidos con la aplicación de la misma deben ser iguales o superiores que otros medios terapéuticos.
4. Debe ser efectiva en función del costo:
5. Debe haber una evaluación de los riesgos a corto, mediano y largo plazos que puede acarrear su aplicación a los pacientes y su divulgación adecuada y educación consecuente con la población beneficiaria.

La radioterapia puede ser considerada una tecnología médica y ha de cumplir con los principios mencionados, a la cual son sometidos más del 60% de los pacientes con cáncer. Los pacientes sometidos a la radioterapia tienen los siguientes derechos que deben ser considerados, respetados y defendidos por el equipo médico, incluyendo el imagenólogo que es quien lo administra y lo registra (Silva, 2000):

1. Cada paciente debe ser tratado con el debido respeto y consideración, independiente de su edad, sexo, condición social, credo político o religioso, raza o nacionalidad.
2. El derecho a sentirse seguro con su programa de salud: El paciente debe ser capaz de obtener una información completa, detallada y actualizada respecto a su diagnóstico, tratamiento y pronóstico, así como las posibles consecuencias negativas o complicaciones resultantes de la aplicación del ya referido tratamiento, todo ello explicable en un lenguaje comprensible para él. Si el paciente fuese un niño, deficitario mental o está demasiado enfermo, esta información debe ser suministrada a los familiares o personas responsables. El paciente tiene todo el derecho a recibir información del médico antes de dar su consentimiento para el tratamiento radiante propuesto, pero asimismo, el paciente tiene el derecho a rehusar, conocer acerca de su enfermedad.
3. El derecho a su privacidad: La discusión acerca de la enfermedad, el trata-

miento y el pronóstico, las condiciones del paciente, así como cualquier consulta, examen o tratamiento, es confidencial y debe ser llevado tan privadamente como sea posible, la historia clínica y la hoja de tratamiento radiante son documentos confidenciales y no pueden ser manejados por personas no pertenecientes al sistema de salud.

4. El derecho a ser objeto o no de actividades de educación e investigación: Los pacientes deben conocer la identidad y el rango profesional de las personas que participan directamente en su cuidado y tratamiento, y conocer cual médico es el encargado de su cuidado. En aquellas instituciones con rango docente, debe explicárseles la intervención de alumnos y residentes que toman parte de su cuidado y este puede rehusar ser objeto de explicaciones y exámenes con la finalidad de dar docencia.

5. El derecho a participar o no en un proyecto de investigación. El paciente tiene el derecho a rehusar estas actividades, y/o, tener la opción de abandonarlo, sin que sea necesario explicar las causas del abandono si ya hubiese sido incluido en algún ensayo clínico; el consentimiento a participar en un protocolo de ensayo es completamente voluntario y el hecho de no aceptar no tiene consecuencias sobre sus relaciones con el médico o institución de salud, los que lo seguirán atendiendo según las normas de conducta habituales del profesional, institución y sociedad, donde tendrá derecho a recibir el máximo de posibilidades de atención. El consentimiento firmado es obligatorio.

6. El derecho a rehusar un tratamiento: Los pacientes deben ser aconsejados por el médico acerca de los beneficios de un tratamiento, y los peligros de no realizarlos, si ellos decidieran rehusar o abandonar un tratamiento una vez comenzado. Debe dársele una exhaustiva explicación con el fin de que el paciente comprenda la total extensión de las consecuencias de su decisión, pero el paciente tiene el derecho a decidir cuándo dar por terminado el mismo, o no prolongar un tratamiento.

6.1. Recordar siempre que la decisión de la aplicación de un tratamiento radiante, desde el punto de vista ético, está condicionado por el beneficio a obtener, que siempre debe tener un balance positivo, y no debe evaluarse mecánicamente en aquellos estadios avanzados por la prolongación de una sobrevida, sino por la prolongación de una sobrevida con un nivel de calidad de vida, que se

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

puede definir por la suma de diferentes factores, entre los que podemos citar los siguientes:

- Bienestar general, que es un término que sirve para evaluar como está el paciente en general.
- Funciones cognoscitivas, que se refiere a las alteraciones en la concentración o la memoria que afecta a los pacientes.
- Área laboral, cada vez se le da más importancia a la posible incorporación del paciente al trabajo, una vez terminado el tratamiento.
- Área social, de vital importancia es la incorporación posterior a la vida social.
- Estado sociológico, en esta área deben ser evaluados la permanencia de dolores, las alteraciones del sueño, la función sexual, los estados de ansiedad o de depresión.

Ilustración 28



Importancia de la bioética y la bioseguridad en la radioterapia

Fuente: Centro Oncológico de Antofagasta (2016)

6.2. Se considera parte de la ética médica, o mejor aún, de la bioética, el poder brindar un tratamiento radiante de la mejor calidad a cada paciente, para lo cual se debe considerar:

- Alta calificación técnica del personal médico, lo cual obliga a una rigurosa formación y superación constante por medio de cursos, maestrías, conferencia, participación en eventos con el objetivo de elevar el nivel científico y una puesta al día de los avances en la especialidad.
- Empleo racional de los recursos tecnológicos en nuestras manos, con controles rigurosos de calidad, y un continuo cuidado de todos los equipos.
- Calificación del personal paramédico vinculado a la especialidad, tanto universitario, físicos, ingenieros ligados a la física médica, etcétera, como técnicos en radioterapia y dosimetristas, con los mismos criterios de rigurosidad que aquellos aplicados a los médicos.
- Selección rigurosa de la táctica y la estrategia del tratamiento radiante a emplear: qué irradio, porqué lo irradio y cómo lo irradio.
- Cuidadosa planificación de los tratamientos radiantes, respetando todos los pasos localización, simulación, dosimetría, verificación en equipos, etcétera, y repetición diaria de todos los parámetros del tratamiento.
- Revisión y discusión de los resultados obtenidos con el tratamiento radiante, todo en sobrevivencia como en calidad de vida, incluyendo los posibles efectos negativos imputables al empleo del tratamiento radiante.
- Formación de nuevos radiooncólogos, radiofísicos y técnicos en radioterapia o profesionales imagenológicos, aportando la mejor docencia, así como reciclaje de aquellos especialistas de la radioterapia como de todos los que están ligados de un modo u otro a la especialidad, y divulgación de las posibilidades de la radioterapia y sus resultados.
- Investigación continuada, tanto clínica como en ciencias básicas, e integración en proyectos nacionales, regionales o continentales con el fin de avanzar y profundizar en las posibilidades aun no completamente exploradas o explotadas que ofrece el tratamiento con radiaciones ionizantes.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- Adecuada protección a las radiaciones, con las medidas personales, y en los pacientes, y protección del medio ambiente, respetando las reglas de protección.



CAPÍTULO VII

RETOS Y PERSPECTIVAS DE LA IMAGENOLÓGÍA



www.mawil.us

7.1. Aportes de la física médica a la constitución y desarrollo de la imagenología

La física médica es la aplicación de conceptos y métodos para el diagnóstico y la terapia de enfermedades. Los estudiantes se sienten atraídos por el área por dos causas básicas: les gusta como la física se aplica en la vida real y como beneficia directamente y en gran medida a las personas. El profesional de la imagenología se nutre de la física médica y debe estar al tanto de los avances de esta disciplina. El papel de los físicos médicos en el campo de la salud pública es muy importante. Tienen la capacidad de trabajar en tres sectores: académico, industrial y salud (hospitales).

En lo que se refiere al sector académico, un instituto que tenga un departamento de física médica típicamente incluye físicos, ingenieros, expertos en computación, científicos y matemáticos, quienes podrían llamarse físicos médicos o bioingenieros. Se puede decir que ese departamento une esfuerzos de científicos de diferentes áreas para mejorar las técnicas existentes, así como para encontrar y crear otras técnicas que ayuden a prevenir enfermedades y salvar vidas. Sin esos institutos e investigadores, el desarrollo y la aplicación de técnicas imagenológicas como la tomografía computarizada, la resonancia magnética nuclear para el diagnóstico o el uso de haces de partículas para el tratamiento de tumores no habrían sido posibles.

Por otro lado, las razones para que haya un físico médico en un hospital pueden resumirse en lo siguiente: tiene una formación adecuada desde el punto de vista científico y técnico del área; hace uso eficiente de los recursos ayudando a bajar costos; incorpora técnicas y equipos cada vez más complejos en hospitales y clínicas. Algunas de sus funciones son las siguientes:

- Aplicar conocimientos de dosimetría.
- Planificar el tratamiento del paciente y formas complementarias.
- Controlar periódicamente los equipos de terapia y localización en complementariedad con el profesional de imagenología encargado de la sala de radiación.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

- Controlar el mantenimiento de unidades de diagnóstico y/o tratamiento.
- Organizar la protección radiológica en la clínica en equipo con el personal de imagenología
- Organizar los métodos de diagnóstico y programas de control de calidad.
- Utilizar las técnicas de medición de radiaciones ionizantes en constante comunicación con el profesional de la imagenología.
- Utilizar los sistemas de computación, asesorar en la adquisición de equipos.
- Dar pruebas de aceptación de equipos adquiridos.

De esta forma se da una visión de la contribución de las técnicas y los dispositivos de obtención de imágenes, así como dar cuenta de la intervención cada día más evidente e indispensable de la física para auxiliar a la medicina en pro de la salud humana, asuntos que son inherentes al imagenólogo.

7.2. Presencia de la imagenología en los centros de salud

El desarrollo en años recientes, de nuevas tecnologías y técnicas tales como la tomografía computarizada, la resonancia magnética, el ultrasonido, la tomografía por emisión de positrones y la tomografía por emisión de fotones; ha permitido al médico visualizar el cuerpo en modos que habrían sido considerados poco menos que milagrosos hace menos de una generación.

El rápido avance y el perfeccionamiento de la especialidad de la imagenología diagnóstica, se deriva de la permanente mejora de estos equipos, las aplicaciones innovadoras y fértiles de esa tecnología, la maduración científica y clínica de los radiólogos. El avance tecnológico ha permitido llegar a diagnósticos a los que antes no se tenía acceso. En consecuencia, una enorme reserva de patología antes elusiva se ha hecho de pronto asequible al estudio con la moderna

tecnología que ha derivado en la disciplina de la imagenología.

La imagenología, incluyendo la radiología, es de un área fundamental en un centro de salud, porque es la disciplina de la medicina que permitirá iniciar cualquier diagnóstico, procesamiento, interpretación y tratamiento de una enfermedad; posteriormente, vigilará qué tan bien está respondiendo el cuerpo a un tratamiento y guía los procedimientos en casi cualquier parte del cuerpo, por lo que su aplicación está en todas las etapas de una intervención médica.

La renovación y el progreso han alcanzado una extraordinaria dimensión durante los últimos 25 años en el terreno del diagnóstico por imágenes ya que ha recibido aportes tecnológicos y científicos de otras ramas de la medicina; así como de la electrónica, la física y la matemática, por lo que esta especialidad ha acrecentado su importancia y constituye un pilar fundamental en la medicina asistencial.

Su denominación originaria proviene del uso de los RX, llamado radiodiagnóstico, que es la rama o especialidad de la medicina que emplea medios físicos para la obtención de imágenes con fines diagnósticos. Se ocupa del estudio de las imágenes obtenidas por medio de radiaciones ionizantes, así como de determinados procedimientos diagnósticos y terapéuticos.

Pero la incorporación progresiva de otros procedimientos no radiológicos y otros métodos que aún están en etapa de investigación, han provocado la tendencia a sustituir la denominación de radiología o radiodiagnóstico por la de imagenología o diagnóstico por imágenes, debido a que esta denominación (radiodiagnóstico), no se corresponde con la realidad del diagnóstico imagenológico de hoy en día donde se emplean otras formas de energía del espectro de ondas electromagnéticas tales como ondas ultrasónicas en el ultrasonido, ondas de radiofrecuencia electromagnéticas en la resonancia magnética nuclear y emisión de positrones en la tomografía por emisión de positrones sumado todo esto a los vertiginosos avances en informática. Estos métodos tienen en común la reproducción mediante imágenes de la anatomía normal y patológica del organismo.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES



Sala de radioterapia

Fuente: WordPress.com

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido soluciones para el óptimo flujo de trabajo en distintos niveles, atención al paciente y eficacia en la entrega de estudios. La radiología ha evolucionado. Anteriormente, la tecnología era analógica, se necesitaban cuartos oscuros para revelar las placas, hoy todo se va digitalizando y en lugar de tener una película húmeda, se tiene una membrana en el interior, de ahí se adquiere la radiación y se escanea a través de un digitalizador que permite una posibilidad infinita de usos, donde quienes toman las decisiones, directivos y propietarios de clínicas tienen la oportunidad de conocer los avances tecnológicos en imagenología y su incidencia en la calidad del servicio de salud de cualquier centro sea público o privado.

Ha sido una transición acelerada, es un salto muy grande en eficiencia, pues hoy se pueden obtener resultados hasta en cuatro segundos, reducciones de tomas, disminución de cantidad de dosis de radiación y atención a una mayor cantidad de pacientes dejando atrás los largos procesos. Entre las innovaciones de este 2017, se encuentran equipos de rayos móviles, radiología y fluoroscopia en un

solo sistema, portales de captura de datos y hasta un quiosco de impresión y recepción de datos.

Hoy los hábitos de movilidad también se integran al ámbito de la salud, las aplicaciones y las necesidades han llevado a desarrollar equipos móviles. Básicamente se utilizan cuando el paciente no puede ir por su propio pie a la sala de rayos X, como terapias intensivas o neonatos.

Por otro lado, con los equipos de fluoroscopia y rayos X en un mismo aparato, se pueden combinar estudios de imagen dinámica y fija. Generalmente con esta técnica se buscan afecciones o patologías funcionales en el sistema digestivo, urinario, reproductor o incluso articulaciones, es decir, áreas donde puede haber líquidos, se emite radiación y se puede ver cómo se comporta en tiempo real y con movimiento.

El paciente puede acceder a sus estudios desde la pantalla y puede guardarlos en USB, hacer impresión del reporte o bien realizar una impresión en película DRYVIEW al momento, dando mayor maniobrabilidad en asuntos de bioética tanto para el prestatario del servicio como para el usuario. Esto agiliza la operación del personal, es un sistema disponible las 24 horas, tiene varias opciones para recepción de imágenes e informes médicos y la privacidad está asegurada, es decir, se les respetan los derechos al paciente.

Los programas computacionales de procesamiento permiten almacenar gran cantidad de información y generar estadísticas con sus propias bases de datos y genera reportes estructurados que permiten una segunda función analítica. Con este tipo de software, los consultorios, enfermeras y especialistas tienen el reporte completo de cualquier paciente. El tiempo invertido en trasladar información, imágenes e impresiones ha cambiado gracias a la digitalización.

Hoy el informe viaja con la imagen, por lo que se disminuye el problema de pérdida de documentos o confusión de los mismos. Además, estas herramientas facilitan emitir opiniones clínicas. La realidad es que hay pocos médicos radiólogos, por lo que es pertinente la formación de profesionales de la imagenología que complementen la labor de los médicos oncológicos, así mismo, cada vez hay mayor demanda de servicios de interpretación, tomar decisiones mucho más rápido puede hacer grandes diferencias, donde el rol del imagenólogo es funda-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

mental.

Estas herramientas no son un lujo en los hospitales, han demostrado eficiencia en las técnicas de imagenología y se podría ver reflejado en la atención de los pacientes y la eficacia de los centros de salud; el trabajo es hasta 75 por ciento más eficiente.

Durante el transcurrir de los años, se ha considerado al radiodiagnóstico como un método complementario de gran importancia, coadyuvante en el diagnóstico clínico y que cada vez toma mayor relevancia. En el siglo XX y, sobre todo, en sus últimas décadas, el extraordinario desarrollo de las tecnologías diagnósticas permitieron la obtención de imágenes corporales internas sin abrir el cuerpo, han convertido al cuerpo humano en una imagen en vivo, tanto en estado de salud como de enfermedad, en un espacio físico que se convierte en casi transparente ante la mirada del médico, espacio en el que se revelan precisas imágenes de la intimidad corporal, no hace mucho tiempo “ocultas” (Pera, 2004).

Lo anterior es posible porque estas tecnologías diagnósticas mediante imágenes, ejercen hoy una enorme influencia en todos los campos de la biomedicina, de la que se han convertido en uno de sus fundamentos. Esta progresiva revelación del espacio corporal permite seguir visualmente el proceso de la enfermedad, su progreso o su retroceso dentro del espacio corporal e incluso, mediante algunos de los procedimientos más recientes, asistir en tiempo real al desarrollo de los fenómenos fisiopatológicos que la sustentan. La nueva ciencia imagenológica, está dirigida hacia permitirnos visualizar y cuantificar las funciones titulares en el cuerpo vivo. En otras palabras, no solo se puede ver el cerebro y sus lesiones sin cirugía; se puede comenzar a ver cómo se trabaja en una cirugía en proceso (Holman, 1995).

Hoy en día, el médico debe estar informado acerca de los nuevos métodos de diagnóstico imagenológico, sus aplicaciones e indicaciones, de forma de adquirir pertinencia y práctica en el servicio médico-asistencial que presta.

7.3. Últimos avances de la imagenología y su aporte a las ciencias de la salud

La imagenología lleva ya años estrechamente ligada a la práctica profesional médica y resulta clave en la toma de decisiones de estos profesionales. No en

vano, la mayoría de los facultativos la califican como uno de los avances más importantes en medicina de los últimos cien años. Hoy en día, resulta difícil imaginar la actividad de cardiólogos, oncólogos, traumatólogos, cirujanos ortopédicos, etcétera, sin la imagen médica. Los avances en tecnología en la toma de imágenes (tomografía computarizada, resonancia magnética y otras técnicas) y en software de los últimos años han sido sobresalientes y causado un enorme impacto en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades. Los avances de la imagenología son muchos y muy variados, entre los más resaltantes destacan los siguientes:

1. Un equipo de ingenieros, médicos y radiólogos, dirigido por la Universidad de Cambridge en Inglaterra, desarrolló un algoritmo para controlar las articulaciones de pacientes con artritis que podría cambiar la forma en que se evalúa la gravedad de la afección, sin necesidad de un muestreo invasivo de tejido. La osteoartritis se identifica, por lo general, en una radiografía por un estrechamiento del espacio entre los huesos de la articulación debido a la pérdida de cartílago. Sin embargo, los rayos X no tienen suficiente sensibilidad para detectar cambios sutiles en la articulación con el tiempo. Los resultados de la investigación fueron publicados en la revista *Scientific Reports*.

La técnica semiautomatizada desarrollada por Turmezei y sus colegas, llamada mapeo espacial conjunto (JSM, por su sigla en inglés), emplea imágenes de una tomografía computarizada (TC) estándar, que por lo regular no se utiliza para controlar las articulaciones, pero que para el caso produce unas detalladas en tres dimensiones. De esta manera, se analizan las láminas para identificar los cambios en el espacio entre los huesos de la articulación en cuestión, un marcador sustituto reconocido para la osteoartritis.

Después de desarrollar el algoritmo con pruebas en articulaciones de cadera humana de cuerpos que habían sido donados para investigación médica, los profesionales descubrieron que excedía el estándar de oro actual de imágenes conjuntas con rayos X en términos de sensibilidad y mostró que era al menos dos veces tan bueno para detectar pequeños cambios estructurales. Las imágenes codificadas por colores producidas al utilizar el algoritmo JSM, ilustran las partes de la articulación donde el espacio entre los huesos es más ancho o más estrecho, indica la investigación en *Scientific Reports*.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Con esta técnica, se pueden identificar la osteoartritis más temprano y analizar los posibles tratamientos antes de que se agrave, también puede usarse para detectar poblaciones en riesgo como aquellas con artritis conocida, lesiones articulares previas o atletas de élite que están en riesgo de desarrollar artritis debido a la presión continua que se ejerce sobre sus articulaciones.

La tomografía computarizada (TC) de articulaciones aún no ha sido aprobada para su uso en ensayos de investigación. Según los expertos, el éxito del algoritmo JSM demuestra que las técnicas de imagen 3D tienen el potencial de ser más efectivas que las 2D. Además, la TC ahora se puede emplear con dosis muy bajas de radiación, lo que significa que se puede usar de forma segura y con mayor frecuencia con fines de monitoreo continuo.

2. Un estudio señala que la combinación de mamografía digital y tomosíntesis detecta 90 % más cánceres de seno que la mamografía digital sola. 8,6 cánceres por 1.000 casos fueron descubiertos, una tasa casi dos veces mayor que la de 4,5 por 1.000 cuando solo se practica la radiografía de mama. La tomosíntesis digital de mama (DBT, por su sigla en inglés), es una tecnología de imágenes que utiliza una serie de exposiciones mamográficas en dosis bajas para proporcionar una reconstrucción tridimensional de la mama.

En estudios que compararon ambas tecnologías en las mismas mujeres, la DBT demostró una sensibilidad superior, algunos grupos advierten que podría detectar cánceres que nunca serán clínicamente relevantes, un fenómeno conocido como sobrediagnóstico. Así lo señala una noticia de la Sociedad Radiológica de América del Norte (RSNA, por su sigla en inglés).

La combinación de tomosíntesis y la mamografía digital es mucho más sensible que la sola mamografía digital. La gran ventaja se debe a la tomosíntesis sola, Para obtener más información sobre el impacto de DBT sobre la sensibilidad y la tasa de re llamada para exámenes adicionales basados en resultados sospechosos, los investigadores compararon los resultados entre 9.777 mujeres asignadas al azar para someterse a la combinación de los exámenes y, 9.783 aleatorizadas para practicarse solo la mamografía digital.

La tasa de rellamada fue del 3.5 % en ambos grupos. La DBT sola detectó 72 de 80 cánceres encontrados en el grupo de DBT y mamografía digital. La mayor

tasa de detección para la mamografía digital combinada y DBT fue notable para los cánceres pequeños y medianos invasivos, pero no para los grandes.

Mientras que la mayor sensibilidad de DBT parecería ser una opción lógica para los programas de detección de cáncer de mama, sería necesaria más investigación para sopesar los beneficios de las mejoras en pronóstico y reducciones en la mortalidad relacionada con el cáncer de mama de DBT contra cualquier efecto no deseado. El tiempo de lectura adicional que DBT requeriría de los lectores de imágenes mamarias es otro aspecto de la tecnología que requiere consideración.

La nueva investigación representa un análisis preliminar del ensayo Reggio Emilia Tomosynthesis (RETom), un estudio más amplio en el que los expertos analizarán los cánceres de intervalo o los detectados entre los exámenes de detección y la incidencia acumulada de cánceres avanzados. Para tener estimaciones más precisas y confiables de estos resultados, los investigadores promueven una red de ensayos en curso sobre tomosíntesis con diseño de estudio similar en toda Europa.

3. Los avances en imágenes de resonancia magnética (RM) han hecho de la modalidad una herramienta poderosa para obtener imágenes de posibles donantes vivos de hígado, lo que podría reducir o eliminar por completo la necesidad de una tomografía computarizada (TC). Los posibles candidatos podrían someterse a RM primero y pasar a TC solo si se necesita más información.

La evaluación exhaustiva por imágenes del hígado del donante es vital para garantizar que el órgano sea adecuado. Esta se centra en tres áreas claves: contenido graso, sistema vascular y anatomía del árbol biliar, que consiste en el canal biliar y la red asociada de conductos más pequeños que transportan la bilis digestiva de grasa desde el hígado al tracto digestivo. Así lo señala una noticia de la Sociedad Radiológica de América del Norte (RSNA, por su sigla en inglés).

El tiempo promedio de espera para un hígado puede ser muy largo, y algunos pacientes incluso pueden morir durante ese periodo. Cuando un miembro de la familia o alguien cercano al paciente está dispuesto a donar parte del órgano, ayuda a aliviar la presión del tiempo de espera para el procedimiento. Con la resonancia magnética el posible candidato se valora para determinar la anatomía del conducto biliar, grasa/hierro y vasos sanguíneos en un solo examen. En

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

La vía biliar, donde se producen la mayoría de las complicaciones postrasplante, puede ayudar a prevenir o minimizar complicaciones biliares como las fugas tras el trasplante, las infecciones y el drenaje biliar anormal en los donantes.

La anatomía hepática, el volumen, la morfología, la arteria hepática, las venas hepática y porta, y la anatomía biliar son muy importantes cuando se consideran donantes, además de cualquier hallazgo incidental importante. La anatomía puede ser compleja, se debe tener mucho cuidado para minimizar el riesgo para el oferente y evitar complicaciones que puedan afectar a las dos partes.

El trasplante de hígado de donante vivo, aprovecha los poderes regenerativos que permiten que el órgano vuelva a crecer a su tamaño original en solo unas pocas semanas. La anatomía del conducto biliar afecta en gran medida la cirugía. Hay dos contenedores diferentes que drenan la bilis, uno a la izquierda y otro a la derecha. Si el cirujano no sabe dónde cortar y unir los conductos biliares, un paciente podría tener un lóbulo que no tiene drenaje, y si el hígado no puede drenar la bilis, no funcionará.

La cantidad de grasa en el órgano del donante también es fundamental para un procedimiento exitoso. La RM ha evolucionado mucho en términos de calidad de imagen y velocidad de adquisición e informes, ahora se presenta como una alternativa no invasiva a los enfoques del trasplante de hígado. La TC aún tiene ventajas sobre la angiografía por RM con contraste para evaluar la anatomía vascular, en particular en los vasos sanguíneos más pequeños, pero la angiografía por resonancia magnética cierra la brecha a medida que la tecnología evoluciona, señala en su comunicado la RSNA.

Ya se practica una resonancia magnética para evaluar el tracto biliar. Ahora se puede usar para evaluar la anatomía arterial y la grasa hepática, lo que permite que los pacientes sean evaluados de forma exhaustiva en un solo examen. Esto representa un ahorro de costos significativo para el cuidado de la salud y elimina la exposición a la radiación por parte de los donantes que suelen ser individuos sanos.

4. La compañía estadounidense Mobious Imaging presentó un innovador sistema de tomografía computarizada (TC), diseñado para procedimientos diagnósticos e intraoperatorios dentro de salas de quirófanos existentes, y que combina

tamaño de orificio extra grande, huella pequeña y diseño de pórtico patentado extraplano. El módulo de TC apoya la cirugía mínimamente invasiva avanzada. Su particular diseño proporciona un volumen de escaneo de 50 cm de diámetro x 100 cm de longitud, lo que facilita a los cirujanos obtener imágenes de toda la columna vertebral en un solo escaneo y visualizar un contexto más anatómico que los brazos tradicionales en forma de C, señala el fabricante.

El sistema de obtención de imágenes TruCT Airo Mobile alberga componentes personalizados que incluyen tubo de rayos X, detectores de exploración helicoidal de 32 divisiones, generador de alto voltaje, sistema de refrigeración por aire y paquete de baterías incorporado. El pórtico está integrado por completo en la mesa quirúrgica TRUMPF Medical TruSystem 7500, lo que permite una correlación fija entre el paciente y el escáner, entregando imágenes confiables y reproducibles. Airo TruCT se adapta y puede pasar a una variedad de configuraciones de procedimientos para casos de cráneo, columna vertebral y traumatismos, incluso pediátricos, indica Mobious Imaging.

Por otra parte, una pantalla táctil colgante, compacta y desmontable controla todas las configuraciones de imágenes, incluida la alineación láser y la visualización de dosis mientras que un controlador de sistema portátil simple ordena el transporte, la calibración diaria y el mantenimiento del sistema. El pórtico controlado por la suspensión es accionado de forma eléctrica, con una sola rueda central para maniobras compactas. El software de control fácil de usar permite incluso que una sola persona mueva el sistema entre las RUP, con una cámara de seguridad frontal para garantizar una portabilidad sin estrés y un paso seguro a través de puertas y elevadores estándar, afirma el proveedor.

Las tecnologías de punta en la imagenología en la actualidad son las siguientes:

1. Aceleración del procesamiento de imágenes de diagnóstico. Esencial para la creación de imágenes de diagnóstico de mayor calidad y para acelerar los flujos de trabajo. En este sentido, se están incorporando ya Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU), como las utilizadas en el software de videojuegos, que proporcionan más potencia donde más se necesita. El cálculo de algoritmos y la reconstrucción de las imágenes es mucho más rápido: menos de 6 minutos frente a los 20-30 minutos de las CPU, la unidad central que procesa los datos en la mayoría de los ordenadores. La imagen digital, sobre todo en 3D y 4D, tiene

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

que procesar una gran cantidad de datos muy rápido, y para ello la GPU ofrece mejores posibilidades.

2. Expandir los parámetros de 3D y 4D. El objetivo es el mismo: crear mejores imágenes médicas para lograr diagnósticos más precisos. Software que aumente todavía más el contraste de los tejidos blandos y que permitan reconstrucciones 3D más nítidas. También se avanza hacia la siguiente dimensión en radiología: el 4D (es decir, imágenes 3D, pero en tiempo real). Los avances en la ecografía están sentando las bases de lo que será el futuro cercano.

3. Modelos anatómicos 3D. Imagina el valor para los cirujanos de poder ver y tocar el ‘modelo’ de un órgano antes de afrontar una operación quirúrgica: saber exactamente qué es lo que se van a encontrar. Esto está cada vez más cerca de ser una realidad.

4. Los datos más allá de la propia imagen. Las imágenes digitales son mucho más que imágenes: son fuentes de datos con información relevante sobre cientos de parámetros, como, por ejemplo, la textura de un tumor. Por medio de métodos computacionales avanzados se puede obtener información sobre esa textura y vincular a continuación estos datos empíricamente a los diferentes genotipos tumorales. Las investigaciones se centran ahora en profundizar en los conocimientos de estos parámetros, en lo que representan y en cómo se manifiestan en un proceso de enfermedad dada.

5. Menos radiación y más contraste. Lograr una reducción de las dosis de radiación es otro de los grandes retos en el corto plazo. Todavía hay muchos pacientes inquietos por la radiación ionizante que se recibe durante una TC. La nueva técnica Rayos X de Contraste de Fase (PC) está llamada a ser el nuevo método de exploración de imagen clínica que resuelva este problema, dado su gran potencial para reducir las dosis de radiación, aunque aún necesita tiempo para su completo desarrollo.

6. Big data y minería de datos. La radiología abrió el camino a la era de la medicina digital. Y es de esperar que ahora, en la época del big-data, vuelva a marcar el paso. Avances de bioinformática que permitan extraer la máxima información posible y convertirla en nuevas oportunidades para los pacientes en forma de tratamientos más tempranos, personalizados y efectivos. Dada la ingente

cantidad de datos a analizar en, por ejemplo, la detección y el tratamiento del cáncer de mama (mamografía, ecografía, resonancia, mammi-PET, TC, estudio de ganglio centinela...), se trabaja en la elaboración de Sistemas de Soporte de Decisiones (DS) que guíen a todos los profesionales y que faciliten el manejo e interpretación de toda esa información.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



www.mawil.us

Ahualli, J. (2010). Aspectos generales de las secuencias de difusión de imagen en resonancia magnética. *Revista Argentina de Radiología*, 74(3), 227-237.

Alberich, B. (2013). Utilización segura de la resonancia magnética: recomendaciones prácticas para el personal que trabaja con resonancia magnética. *Radiología*, 55(2), 99-106.

Arias, C. (2006). La regulación de la protección radiológica y la función de las autoridades de salud. *Revista Panam Salud Pública*(2/3), 188-197.

Bioética.web.com. (11 de 10 de 2014). Concepto de bioética y corrientes actuales. Obtenido de <https://www.bioeticaweb.com/concepto-de-bioactica-y-corrientes-actuales/>

Caicedo, F., & Aldana, C. (2009). Resonancia magnética funcional: evolución y avances en clínica. *Tecnura Con-Ciencias*, 13(25), 88-103.

Castillo, A. (2006). *Bioética*. Caracas: Disinlimed.

Croft, B. (2000). Nuclear medicine. En J. Bronzino, *The biomedical engineering handbook*. Boca de Ratón-USA: CRC Press LLC.

Delgado, C., Rodríguez, C., & López, T. (2013). La tomografía computarizada de doble energía: ¿Para qué la quiero? *55(4)*, 346-352.

Eastman, G., Wald, C., & Crossin, J. (2005). *Getting started in clinical radiology, from image to diagnosis*. Berlín: Thieme.

Fernández, M. (2013). Radiología digital. *Revista Tecnología Radiológica*(23), 22-24.

Garzón, F. (2003). *Bioética. Manual interactivo*. Bogotá: 3R editores.

Hans, J. (1995). Testimony to the Senate Comité on labor and human resources, Subcommittee on public health and safety. Obtenido de www.rsna.org/research/ord/sentest.html.

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLÓGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Heiken, J., Brink, J., & Vannier, M. (1993). Spiral (helical). *Radiology*, 189(3), 647-656.

Holman, B. (1995). Testimony to the Senate Comitéon labor and human resources, Subcomitee on public health and safety. Obtenido de www.rsna.org/research/ord/sentest.html

Macovski, P., Pauly, J., Schenk, J., Kwong, K., Chesler, D., & Hu, H. (2000). Magnetic resonance imaging. En J. Bronzino, *The biomedical engineering handbook* (págs. 1174-1215). Boca Raton-USA: CRC Press LLC.

Malvaez, V. (2008). Vigilancia tecnológica para equipos de tomografía por emisión de positrones y tomografía computarizada disponibles en el mercado. Tesis doctoral. México: Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional.

Mambachi, A., & Cobbold, R. (2011). Development and application of piezoelectric materials for ultrasound generation and detection. *Ultrasound*(19), 187-196.

Matsumoto, N., Berman, D., Kavanagh, P., Gerlach, J., & Hayes, L. (2001). Quantitative assessment of motion artifacts and validation of new motion-correction program for myocardial perfusion spect. *Journal of Nuclear Medicine*, 42(5), 687-694.

Montero, J. (2008). Plan de gestión para la adquisición, instalación puesta en funcionamiento de un equipo de tomografía computarizada para hospitales regionales costarricenses. Trabajo de ascenso, Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos, San Juan de Los Morros-Venezuela .

Ocando, M. (2000). Formación en diagnóstico por imágenes y desempeño laboral del médico recién egresado. San Juan de Los Morros-Venezuela: Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos.

Ortega, D. (2004). Historia del ultrasonido: el caso chileno. *Revista Chilena de Radiología*, 10(2), 89-92.

Passarielo, G., & Mora, F. (1995). *Imágenes médicas: adquisición análisis, procesamiento e interpretación*. Caracas : Equinoccio/Ediciones de la Universidad Simón Bolívar.

Pebet, C. (2004). *Resonancia nuclear magnética*. XIII Seminario de Ingeniería Biomédica, Facultades de Medicina e Ingeniería . Montevideo: Universidad de la República Oriental del Uruguay. Obtenido de <http://www.nib.fined.edu.uy/Pebet.pdf>

Pera, C. (2004). *El humanismo en la relación médico-paciente: del nacimiento de la clínica a la telemedicina*. Obtenido de <http://www.redadultosmayores.com.ar/buscador/files/SALUDO020.pdf>

Pérez, M. (2010). *Bioética, fundamentos metodológicos*. *Revista médica Clínica Las Condes*(21), 25-34.

Pineda, C., Palacios, M., & González, B. (2012). *Principios físicos básicos del ultrasonido*. *Invest Dis*, 1(1), 25-34.

Ramírez, J., Arboleda, C., & McCollough, C. (2008). *Tomografía computarizada por rayos x: fundamentos y actualidad*. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2(4), 13-31.

Segura, A., Saez-Fernández, A., Rodríguez-Lorenzo, A., & Díaz-Rodríguez, N. (2014). *Curso de ecografía abdominal. Introducción a la técnica ecográfica, principios físicos*. *Lenguaje ecográfico*. *Semergen*, 40(1), 42-46.

Shapiro, L. (2001). *Computer vision*. New Jersey-USA: Prentice Hall.

Silva, J. (2000). *Bioética y tratamiento radiante*. *Revista Cubana de Oncología*, 2(16), 120-127.

Universidad de la República Oriental del Uruguay. (2006). *Programa oficial del licenciado en imagenología*. Montevideo: Autor.

Universidad San Francisco Xavier. (2016). *Programa oficial del licenciado en imagenología*. Universidad de San Francisco Xavier. Autor. Obtenido de tecno-

INTRODUCCIÓN A LA IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

logicasalud.usfx.bo/principal/bio-imagenologia/perfil-de-carrera

Venables, H. (2011). How does ultrasound work? *Ultrasound*(19), 44-49.

INTRODUCCIÓN A LA



IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES



Publicado en Ecuador
Enero del 2019

Edición realizada desde el mes de agosto del año 2018 hasta octubre del año 2018, en los talleres Editoriales de MAWIL publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito.

Quito – Ecuador

Tiraje 100, Ejemplares, A5, 4 colores



<http://dx.doi.org/10.26820/introducción-a-la-imagenologia>

INTRODUCCIÓN A LA



IMAGENOLOGÍA

CONCEPTOS ACTUALES

Md. Roxana Valentina Barrezueta Román
Médica
roxivalent@hotmail.com

Md. José Leonardo Castro Zambrano
Médico Cirujano
leonardo10_gato@hotmail.com

Md. Ximena Alejandra Celi Loaiza
Médica General
anemix10_cl@hotmail.com

Md. Mariana Rosalía Falcones Centeno
Médico
dra.marianitafc.86@gmail.com

Md. Luis Ángel Miranda Borja
Médico General
luis23mb@hotmail.com

Md. Cecilia Isabel Moyano Vega
Médica Cirujana
ceciliamoyanov20@yahoo.com

Md. Lizeth Alejandra Navas Balarezo
Médico General
lizzethale@hotmail.it

Md. Ana Belén Ortiz Burbano
Médica Cirujana
anabelen2787@gmail.com

Md. Paola Fernanda Sánchez Pucha
Médico General
pfernanda92@hotmail.com

Md. Carlos Alfredo Vélez Bermúdez
Médico Cirujano
alfredov_10@hotmail.com

ISBN: 978-9942-787-35-4



9 789942 787354



<http://dx.doi.org/10.26820/introducción-a-la-imagenologia>