



Ilustración: Roentgen, premio Nobel de Física en 1901 y exploración fluoroscópica

ENFERMERÍA RADIOLÓGICA

Cayetano Fernández Sola
(Director)

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
Servicio de Publicaciones

ENFERMERÍA RADIOLÓGICA.

ENFERMERÍA RADIOLÓGICA

DIRECTOR

Cayetano Fernández Sola.

AUTORES

Antonia Pérez Galdeano.

Diplomada en Enfermería.
Profesora Titular de la Escuela Universitaria de Enfermería, Universidad de Almería.

Cayetano Fernández Sola

Diplomado en Enfermería. Licenciado en Humanidades.
Supervisor de Radiología del Hospital Torrecárdenas. Almería. Profesor Asociado. Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Almería.

Eugenio Fernández Miranda.

Diplomado en Enfermería.
Enfermero del Oncología Radioterápica del Hospital Torrecárdenas. Almería.
Profesor Asociado de Ciencias de la Salud. Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Almería.

Francisca Rosa Jiménez López.

Diplomada en Enfermería. Licenciada en Psicología.
Profesora Asociada. Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Almería.

Gabriel Aguilera Manrique.

Diplomado en Enfermería. Licenciado en Psicología.
Profesor Titular. Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Almería.

Javier González González.

Licenciado en Ciencias Físicas.
Facultativo Especialista de Área, Unidad de Radiofísica. Hospital Torrecárdenas. Almería.

José Granero Molina.

Diplomado en Enfermería. Licenciado en Humanidades.
Profesor Asociado. Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Almería.

José R Gómez Fuentes.

Licenciado en Medicina y Cirugía.
Facultativo Especialista de Área. Medicina Nuclear. Hospital Torrecárdenas. Almería.

Juan Tuset Castellano.

Licenciado en Ciencias Físicas.
Facultativo Especialista de Área, Unidad de Radiofísica. Hospital Torrecárdenas. Almería.

Manuel Guerrero Ortiz.

Licenciado en Medicina y Cirugía.
Facultativo Especialista de Área. Medicina Nuclear. Hospital Torrecárdenas. Almería.

Raquel Arenas Aguaza

Licenciada en Farmacia.
Facultativo Especialista de Área. Unidad de Radiofarmacia. Hospital Torrecárdenas. Almería.

FOTOGRAFÍA:

José Luis Ruiz García

Técnico Superior en Imagen para el Diagnóstico.
Técnico de Radiodiagnóstico. Hospital Torrecárdenas. Almería.

IMÁGENES HISTÓRICAS

Las imágenes históricas tienen copyright de Radiology Centennial. Pennsylvania State University web site. 1993.

ALMERÍA, 2005

Enfermería Radiológica

© del Texto: Cayetano Fernández Sola

© de la Edición: *Sistemas de Oficina de Almería, S.A.*
Almería 2005.

Imprime: Sistemas de Oficina de Almería, S.A.

ISBN (10 DIGITOS): 84-96270-58-0

ISBN (13 DIGITOS): 978-84-96270-58-9

Depósito Legal: AL-503-2005

ÍNDICE DE CAPÍTULOS.

| | |
|--|------------|
| PRESENTACIÓN | 9 |
| MÓDULO I: INTRODUCCIÓN | 11 |
| CAPÍTULO 1. CONCEPTOS. | 13 |
| CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA. | 15 |
| CAPÍTULO 3. EL PROCESO DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA. | 19 |
| MÓDULO II: BASES FÍSICAS Y BIOLÓGICAS DE LA RADIOLOGÍA. | 25 |
| CAPÍTULO 4. ESTRUCTURA DE LA MATERIA. | 27 |
| CAPÍTULO 5. LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA. | 31 |
| CAPÍTULO 6. RADIATIVIDAD. | 35 |
| CAPÍTULO 7: RESONANCIA Y ULTRASONIDO-ECO. | 40 |
| CAPÍTULO 8. MAGNITUDES Y UNIDADES. | 43 |
| CAPÍTULO 9. INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA. | 46 |
| CAPÍTULO 10. CONCEPTOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES. | 50 |
| CAPÍTULO 11. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL MOLECULAR DE ORGANIZACIÓN. | 53 |
| CAPÍTULO 12. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL CELULAR DE ORGANIZACIÓN. RADIOSENSIBILIDAD. | 57 |
| CAPÍTULO 13. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL TISULAR. | 61 |
| CAPÍTULO 14. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL ORGANISMO COMPLETO. | 65 |
| MÓDULO III: PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. | 69 |
| CAPÍTULO 15: FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA..... | 71 |
| CAPÍTULO 16. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OPERACIONAL. | 75 |
| CAPÍTULO 17. VIGILANCIA RADIOLÓGICA. | 79 |
| CAPÍTULO 18: NORMAS DE TRABAJO EN RADIODIAGNÓSTICO, MEDICINA NUCLEAR Y RADIOTERAPIA. | 82 |
| MÓDULO IV: MEDIOS DE CONTRASTE EN RADIOLOGÍA. | 87 |
| CAPÍTULO 19. CONTRASTES EN EXPLORACIONES CON RX. | 89 |
| CAPÍTULO 20. CONTRASTES EN RESONANCIA. | 94 |
| CAPÍTULO 21. ECOPOTENCIADORES. | 97 |
| CAPÍTULO 22. RADIOFÁRMACOS. | 99 |
| MÓDULO V: CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LOS PROCEDIMIENTOS RADIOLÓGICOS. | 105 |
| CAPÍTULO 23. CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA. ... | 107 |
| CAPÍTULO 24. CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA VASCULAR INTERVENCIONISTA. | 114 |
| CAPÍTULO 25. RESONANCIA MAGNÉTICA. | 121 |
| CAPÍTULO 26. RADIOTERAPIA. | 125 |
| CAPÍTULO 27. CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LOS PROCEDIMIENTOS DE MEDICINA NUCLEAR. | 132 |

PRESENTACIÓN

En nuestra dilatada experiencia profesional y docente en la enfermería radiológica, hemos podido constatar la necesidad de un texto que recoja los conocimientos necesarios para el desempeño de la profesión en Radiología. Esto es así porque no existe una obra de tales características: los manuales de procedimientos, siendo útiles para la finalidad que persiguen, obvian con frecuencia aspectos del cuidado enfermero, centrándose en cuestiones clínicas y procedimentales. Los manuales de protección radiológica se ocupan casi exclusivamente de las bases físicas de la radiología, efectos biológicos de las radiaciones ionizantes y protección radiológica general y operacional. Nos encontramos, pues, con que el conocimiento enfermero relevante para la enfermería radiológica se haya disperso básicamente en artículos de revistas. Por otra parte peca, con frecuencia, de reproducir descripciones de procedimientos más o menos complejos, con profusión de cuestiones técnicas y médicas.

La presente obra pretende integrar en un solo volumen los aspectos más relevantes del conocimiento que el enfermero debe manejar para trabajar en radiología, estructurándose en 5 partes o módulos:

1. El primer módulo, introductorio, presenta, una definición de los conceptos básicos de la radiología; una introducción histórica, y el proceso enfermero en radiología, constituyendo el primer acercamiento a la radiología.
2. El estudio de las bases físicas de los métodos de diagnóstico por imagen y los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son objeto de la segunda parte, centrándonos en los aspectos más relevantes que el enfermero no especialista ha de dominar para enfrentarse a su tarea sabiendo qué agentes maneja y qué efectos tienen sobre el ser vivo.
3. La protección radiológica complementa el anterior módulo proporcionando conocimientos necesarios para trabajar con radiaciones ionizantes en condiciones de seguridad individual, para el paciente y para el público.
4. Una cuarta parte se ocupa de las distintas sustancias utilizadas en radiología como medios de contraste, incluyendo los radiofármacos, los ecopotenciadores y los contrastes en resonancia. Pretendemos con ello, familiarizar al profesional con el manejo de tales sustancias y el conocimiento de todo lo relativo a su correcta administración.
5. Por último, en la quinta parte, dedicada a los procedimientos radiológicos, presentamos una breve descripción de aquellos más relevantes, centrándonos en los aspectos que el enfermero no especialista ha de conocer de cada uno, así como en los cuidados de enfermería que prestará antes, durante y después de cada procedimiento. Se agrupan en 5 capítulos que no pretenden ser un manual de procedimientos.

El libro está destinado principalmente a los alumnos de la asignatura optativa “Enfermería Radiológica” de la Escuela Universitaria de Enfermería de la Universidad de Almería. Esta asignatura es cursada cada año por unos 100 alumnos, aconsejándose su estudio en 2º curso. En este sentido, pretende servir de material de trabajo y estudio, junto con otros documentos como artículos científicos, manuales de protección radiológica, manuales de procedimientos, taxonomías enfermeras, etc.

Al final de cada capítulo, o grupo de capítulos, se propone una actividad para fomentar el aprendizaje autónomo del alumno. Esta actividad difiere en función de la naturaleza del tema tratado:

- ✓ En el primer módulo proponemos el desarrollo de un diagnóstico enfermero (a raíz de un caso), de manera que el alumno adquiriera competencias para trabajar con la metodología enfermera en radiología.
- ✓ Las actividades de los módulos de bases físicas y radioprotección (Módulos II y III) consisten fundamentalmente en cuestionarios de autoevaluación, con preguntas tipo test de 4 respuestas alternativas (o abiertas de respuesta breve), de manera que el alumno se familiarice con el tipo de preguntas que se encontrará en los exámenes preceptivos para la obtención de algunas de las “Licencias de operador” otorgadas por el Consejo de Seguridad Nuclear.
- ✓ El módulo de contrastes cuenta con un caso práctico en el que el alumno ha de identificar la situación, definir mediante una valoración por necesidades los posibles diagnósticos enfermeros y complicaciones presentes, planificar la actuación de enfermería, resultados e intervenciones propuestas (según clasificaciones estandarizadas). Igualmente, realizará una propuesta de actuación normalizada en este tipo de casos.
- ✓ El módulo V incorpora dos tipos de actividades de aprendizaje:
 - Trabajo grupal: consistente en la elaboración de un manual de procedimientos (o actualización de los mismos) por todos los alumnos de la clase, organizándose en pequeños grupos encargados de cada procedimiento y posterior puesta en común (temas de Radiología diagnóstica y Vascular intervencionista).
 - Estudio de casos (temas de Radioterapia y Medicina Nuclear): aplicando la metodología enfermera ante un caso propuesto, de manera que el alumno identifique diagnósticos enfermeros y complicaciones, proponga objetivos terapéuticos y de cuidados, y planifique las intervenciones, mediante elección de aquellas que considere pertinentes al caso.

De ese modo, la obra pretende ir más allá de un mero “libro de texto”, constituyendo una herramienta bibliográfica más que resulte útil al alumno tanto en el estudio de la asignatura como en el trabajo autónomo, individual o grupal. Todo ello, junto a las prácticas asistenciales, conducirá al alumno a desarrollar las competencias y a alcanzar los resultados de aprendizaje necesarios para el desempeño profesional con usuarios a los que se les realice una exploración radiológica, y particularmente en servicios de Radioterapia, Radiodiagnóstico y Medicina Nuclear.

La actualización de la bibliografía (específica para cada capítulo), la amplitud de la misma (incluye libros, manuales, páginas Web, documentos legales, recomendaciones de organismos internacionales, artículos de revistas generales y específicas de enfermería radiológica), junto al rigor en la presentación de los capítulos y el esfuerzo de los autores por acompañar el texto con un buen soporte gráfico; hacen de ésta una obra actualizada, rigurosa, y esperamos que amena y útil, para el aprendizaje del alumno y la formación continua del profesional.

Agradecemos a los lectores de la obra el esfuerzo dedicado a ello, al tiempo que solicitamos se nos comuniquen las inevitables erratas o incorrecciones, con vistas a su corrección en futuras ediciones. (cfernand@ual.es).

Cayetano Fernández Sola.
Almería a 28 de noviembre de 2005.

MÓDULO I: INTRODUCCIÓN

1. CONCEPTOS.

José Granero Molina

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA RADIOLOGÍA.

José Granero Molina

3. EL PROCESO DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA.

Francisca Rosa Jiménez López

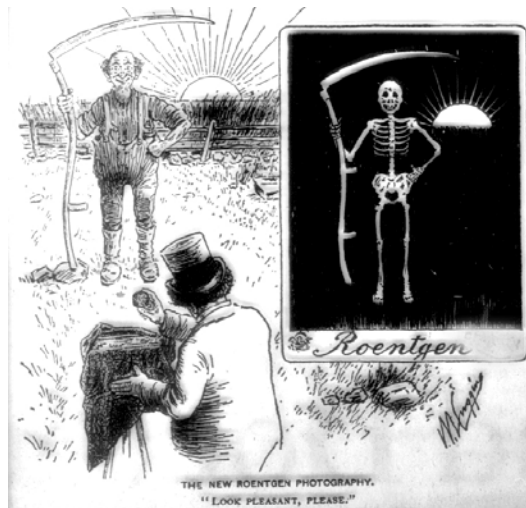


Ilustración: Viñeta publicada en la prensa de la época tras el descubrimiento de los Rayos X.

“La casualidad favorece a las mentes entrenadas”. Louis Pasteur (1822-1884)

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS.

José Granero Molina.

INTRODUCCIÓN

En física clásica se distinguen dos categorías de objetos físicos en el universo: la materia y la radiación.

La materia se considera formada por partículas puntuales que se desplazan por fuerzas de interacción mutua, cada una con una masa definida y cuyo movimiento viene caracterizado por su energía (E) y su cantidad de movimiento. La radiación presenta un comportamiento ondulatorio y viene regida por las leyes de la teoría electromagnética de Maxwell (son ondas electromagnéticas).

El conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas constituye un espectro continuo de gran amplitud (desde las ondas de radio hasta los rayos X y gamma, pasando por las microondas, los infrarrojos, la luz visible y los rayos ultravioletas).

Toda onda electromagnética supone una propagación de energía a través del espacio, una transmisión de energía desde el sistema que la produce hasta el que la recibe.

Los rayos X y gamma son formas de radiación electromagnética con energía suficiente para ionizar la materia, proceso por el cual los átomos neutros se convierten en iones al adquirir o perder carga eléctrica. Estos iones producidos por las radiaciones van a afectar a los procesos biológicos normales en los órganos y tejidos.

Los rayos X atraviesan determinadas sustancias opacas y poseen escasa capacidad de ionización, por lo que se utilizan esencialmente para el diagnóstico médico (aunque constituyen el principal riesgo de irradiación externa de origen artificial en el hombre).

CONCEPTOS BÁSICOS.

1. RADIOLOGÍA:

Ciencia que se ocupa de las radiaciones en cuanto pueden ser aplicadas al pronóstico, diagnóstico o tratamiento de las enfermedades. Aunque tradicionalmente se

ha atribuido a una parte de la medicina, en este concepto se implican otras disciplinas científicas y técnicas que participan tanto en su estudio como en su desarrollo (física, farmacología, enfermería, etc.). Igualmente, otras ramas de la propia medicina han incorporado la radiología como un elemento imprescindible en su práctica y desarrollo (traumatología, cardiología, etc.).

Nosotros nos referiremos a la radiología para englobar todas las aplicaciones médicas, incluyendo radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear.

2. RADIODIAGNÓSTICO:

Puede definirse como el conjunto de técnicas dirigidas a obtener datos para elaborar un diagnóstico mediante la aplicación de radiaciones. Esta vertiente diagnóstica es la primera en aparecer tras el descubrimiento de los rayos X. La definición pronto se ve superada, ya que los servicios de radiodiagnóstico comenzaron a emplear nuevas tecnologías que no tienen su base en las radiaciones ionizantes (ecografía, resonancia magnética, etc.). Por otra parte, se incrementó claramente el empleo de estas técnicas con fines terapéuticos e intervencionistas.

Derivado de tales cambios, los propios servicios han modificado su nombre por otros como “*Diagnóstico por la Imagen*”, al tiempo que surgen nuevas especialidades como neuroradiología, radiología vascular...

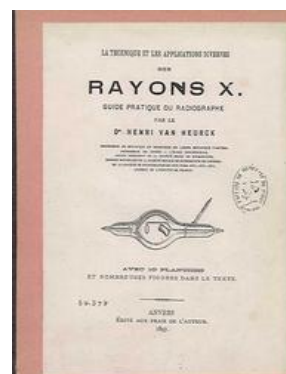


Ilustración 1: La técnica y las aplicaciones diversas de los rayos X. Guía práctica de la radiografía. Van Heurck H. (1897).

3. RADIOTERAPIA:

Modalidad terapéutica que utiliza las radiaciones ionizantes (solas o combinadas con otros agentes) para tratar tumores malignos y un número muy limitado de enfermedades benignas. Empleada especialmente por las acciones citolíticas, antiinflamatorias, etc. de dichas radiaciones.

Paradójicamente, el someter a un tumor a dosis elevadas de radiación constituye un tratamiento eficaz para su curación, debido a la diferente capacidad de reparación existente entre las células sanas y las enfermas.

4. MEDICINA NUCLEAR:

Especialidad que abarca una amplia gama de procedimientos que van, desde los estudios diagnósticos (estudios morfológicos y funcionales “in vivo”, determinaciones radioanalíticas “in vitro”, etc.), hasta los procedimientos terapéuticos. En los procedimientos diagnósticos se incorporan al organismo isótopos radiactivos que son captados selectivamente por el órgano o tejido diana, donde emiten radiaciones que serán recogidas por un detector y transformadas en imágenes. Los terapéuticos son procedimientos similares, pero se emplean dosis mayores.

CUIDADOS EN ENFERMERÍA RADIOLÓGICA.

Son muchos los ámbitos profesionales donde los enfermeros se encontrarán, en el desempeño de su labor cuidadora, con las radiaciones ionizantes. Si bien históricamente se han dedicado a la realización de toda una serie de exploraciones en los servicios de radiología, los cuidados de enfermería han experimentado un desarrollo muy importante en los últimos tiempos, lo que ha derivado en la modificación paulatina de sus pautas y campos de actuación, asumiendo nuevas funciones, nuevos papeles y nuevos roles.

La progresiva entrada en escena de diversas tecnologías en los servicios de radiodiagnóstico, radioterapia, medicina

nuclear, quirófanos, cuidados intensivos, radiología intervencionista, etc., es un proceso que también supone la aparición de nuevas necesidades de cuidados específicos, aspecto que fundamenta por sí mismo la presencia de una enfermería bien formada que los desempeñe.

Será preciso, por tanto, que los enfermeros/as adquieran una formación especializada que abarque conocimientos, habilidades y actitudes que les capaciten para prestar unos cuidados de calidad en estos servicios.

Los nuevos retos formativos engloban la puesta al día en toda una serie de procedimientos e innovaciones tecnológicas, en la fundamentación física y biológica de los mismos, en las condiciones de seguridad del paciente y los operadores, etc.; pero también, y atendiendo a su rol de cuidadores, en la especial atención a la satisfacción de todas y cada una de las necesidades del paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Darriba Rodríguez P, Iglesias Díaz M, López-Menchero Mínguez G, Díaz Meyer R, Montero Monterroso I, Arantón Areosa L. ¿Es posible aplicar planes de cuidados en radiología?. E R 2003; (56): 17- 22.
2. De Pedraza Velasco ML, Miangolarra Page JC, Dias Soares OD, Rodríguez Rodríguez LP. Física aplicada a las ciencias de la salud. Barcelona: Masson SA; 2000.
3. Ortega Aramburu X, Jorba Bisbal J. Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos- I. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL; 2000.
4. Radiological Society of North America. Diagnostic Radiology. Procedure or exam. <http://www.radiologyinfo.org/content/diagnostic/diagnostic.htm>. [on line] [consulta 22 de febrero de 2005].
5. Sáenz González MC, Sacristán Salgado A, Mateos Campos R. Problemas sanitarios de los contaminantes físicos. En: Piédrola Gil. Medicina preventiva y salud pública. 10ª ed. Barcelona: Masson S.A.; 2001. p.341- 355.
6. San Martín Hernández P. Diagnóstico por imagen. Todo Hosp., 1991; (81): 21-26.

CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

José Granero Molina.

INTRODUCCIÓN

Desde el S. XVI hasta la actualidad, la humanidad ha conocido toda una serie de transformaciones que han marcado su posterior evolución. En los S. XVI y XVII se produce una auténtica Revolución Científica; más tarde, las consecuencias de la Independencia americana y de la Revolución Francesa derivaron en la revolución política; y, en la primera mitad del S. XIX, la Revolución Industrial, etc.

Pero es a partir de la 1º Guerra Mundial cuando se van a añadir dos nuevas transformaciones que supondrán un hito histórico. En principio una Revolución Social, que deposita sus metas en la libertad civil y la justicia social; y por otro lado, la Revolución Tecnológica, que integrando la industrial y científica de los siglos pasados, nos conducen por caminos como la automatización, la exploración del espacio o el empleo de la energía atómica.

Aspectos de especial relevancia en estos últimos cambios son la aparición, a finales del S. XIX y principios del S. XX, de cuatro ingentes novedades: la teoría de los quanta, la del fotón, la de la relatividad y el descubrimiento de la radiactividad.

Contemplando tan espectaculares sucesos, no puede extrañar que se haya hablado del comienzo de una era atómica en la historia de la humanidad.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1. Rayos X.

Los rayos X no fueron inventados sino, hasta cierto punto, descubiertos de un modo accidental que no se corresponde por completo con el azar, puesto que las investigaciones de los físicos y el desarrollo de industrias como el alumbrado, teléfono, telégrafo, etc., son elementos que, en cierta medida, ya habían allanado el camino.

Wilhelm Conrad Röntgen, profesor de física teórica de la Universidad de Würzburg, improvisa sus aparatos pero emplea útiles ya bien conocidos como los rayos catódicos,

tubos con vacío en su interior (Hittorf, Crookes), uso de sustancias fluorescentes y de la fotografía (que permitía fijar en imágenes duraderas el reflejo fugaz de las pantallas).

Pero un año excepcional como 1895 (primera sesión de cine en el sótano del Café de París, el automóvil conoce sus primeros neumáticos, etc.), habría de deparar más sorpresas. Röntgen comprobó que, tras envolver con un cartón el tubo de Hittorf, las radiaciones no luminosas pasaban a través del vidrio y del cartón, volviendo fluorescente a distancia una pantalla de platino- cianuro de Bario.

Esas radiaciones invisibles que salían del tubo, y que llamó luz X, eran en realidad los rayos X. Debido a su carácter penetrante, cuando Röntgen interpuso la mano entre el tubo emisor y la pantalla fluorescente, pudo observar *“sus propios huesos vivientes”*. Algunos días más tarde, fotografió la mano de su mujer Berta, consiguiendo la primera radiografía de la historia.



Ilustración 1: La mano de Bertha. Primera radiografía de un ser vivo obtenida por Röntgen en su laboratorio.

El descubrimiento se publicó en prensa rápidamente, adelantándose a la comunicación del autor a la comunidad científica, lo que creó un auténtico sensacionalismo. Algunos titulares de prensa son significativos de ello: The Standart de Londres, titula: *“Un descubrimiento sensacional”*; Le petit parisien (París): *“...se diría que es la mano de un esqueleto, y no de un sujeto vivo. Y sin embargo, no hay duda posible”*; la revista Ilustración Española y Americana, recoge un artículo de D. José Echegaray, donde argumenta: *“Ya las sombras no son*

un misterio: hay luz- que es sombra también- que nos va a hacer visibles los más ocultos senos de las tinieblas...”.

El impacto del descubrimiento en la comunidad científica fue enorme, los investigadores se lanzan con entusiasmo al estudio de los nuevos rayos; y Röntgen, haciendo una sana excepción a sus humildes costumbres, se trasladó a Estocolmo en 1901 para recibir el Premio Nobel de Física. Posteriormente cedió la dotación económica a la Universidad y, cuando un industrial le plantea la explotación comercial de su descubrimiento, responde: *“de acuerdo con las antiguas tradiciones de la Universidad Alemana, soy de la opinión de que sus descubrimientos e investigaciones pertenecen a la humanidad y no pueden estar sujetas a patentes o al control de ningún grupo industrial”*. Sin lugar a duda, son palabras reveladoras del espíritu de una persona y una época.

La adaptación del descubrimiento a objetivos médicos fue evolucionando progresivamente:

- ✓ La placa fotográfica fue reemplazada por película con doble capa sensible.
- ✓ Los localizadores y los diafragmas antidifusores (Bucki, 1912; Potter 1915), mejoraron la imagen mediante la supresión de la radiación difusa.
- ✓ Los tubos fueron evolucionando para convertirse en más duraderos (Coolidge, 1913), tubos autoprottegidos y anticátodo giratorio (Bowers, 1924-27), todo ello enfocado a una mayor protección del personal y a la reducción del tiempo de exposición.
- ✓ Mejora del contraste de las imágenes.

Pero tras todo este entusiasmo, donde el fenómeno de los rayos X y la radiación se llegan a convertir en una atracción (demostraciones en ferias y teatros, reuniones de amigos, etc.); comenzaron a hacerse patentes las limitaciones del descubrimiento:

- ✓ Se superponen en un solo plano detalles anatómicos y lesiones que están a diferente profundidad.
- ✓ Pueden aparecer efectos nocivos derivados de su uso.

2. Radiactividad.

Fenómeno descubierto casualmente por Henry Becquerel en 1896, mientras estudiaba los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia (colocando un cristal de un mineral que contenía uranio sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro, ésta aparecía velada. Si bien en un principio lo atribuyó a la fosforescencia del cristal, al repetir la operación en días sin sol y con la placa encerrada en un cajón, obtuvo los mismos resultados. Sólo podía deberse a que la sal de uranio emitía radiación).

Pero fueron Marie y Pierre Curie quienes profundizaron en el fenómeno y le dieron nombre. Con sus propias manos, Marie Curie separó los elementos que realmente emitían radiación (de entre toneladas de pechblenda), el polonio y el radio. Desarrollaron un instrumento para medir la radiactividad y dieron los primeros pasos en las aplicaciones médicas de la misma (tratamiento de tumores malignos).

Mme. Curie, que tras morir su marido trabajó con Ernest Rutherford, fue la primera mujer que ocupó un puesto en la Universidad de la Sorbona (París), y la primera persona merecedora de dos Premios Nobel (física y química).

Su hija Irene descubre la radiactividad artificial que, junto con la invención del ciclotrón, abren el camino a la medicina nuclear.

3. Contrastes.

Ante las limitaciones del estudio con rayos X de estructuras con parecida densidad, pronto comienza el empleo de sustancias con elementos de gran número atómico (densos).

- ✓ Desde 1896 se introduce una sal de bismuto en cavidades accesibles (tubo digestivo). Pero al ser muy tóxica, se sustituyó por sales de bario en 1910.
- ✓ Los contrastes intravenosos se empiezan a usar en 1923, sustancias muy tóxicas (bromuro de estroncio, etc.) o radiactivas (dióxido de torio), que trajeron dolor, lesiones y cáncer.
- ✓ Los primeros contrastes intravenosos efectivos fueron los yoduros (usados en el tratamiento de la sífilis). De manera

que, a finales de los años 20 se hacen las primeras urografías, y a partir de 1927 empezó la arteriografía visceral.

- ✓ La evolución de estos contrastes yodados ha sido evidente, usándose en la actualidad los “no iónicos”, de gran contraste y pocos efectos adversos.

4. Tomografía computarizada (TC).

Puesta en práctica por Geoffrey Hounsfield en 1972, parte del fundamento de que *“los rayos X que pasan a través del cuerpo contienen más información de la materia atravesada de la que se registra en una placa fotográfica convencional”*.

En la TC, el haz de rayos X atraviesa una zona anatómica determinada, resultando atenuado y detectado. Los detectores convierten la radiación en impulsos eléctricos, que enviados a una computadora, reconstruye la imagen en función del interés del clínico.

Tras su puesta en marcha, ha evolucionado esencialmente mediante cambios en los detectores, en el tubo de rayos X, o en ambos. Actualmente se podría hablar de la 5ª generación, marcada por la presencia de la TC helicoidal y el CT multicorte (obtienen un barrido volumétrico de la zona deseada). Algunas de sus ventajas son que acorta el tiempo de exploración, se eliminan artefactos, permite reconstrucciones tridimensionales, etc.

5. Ultrasonidos.

Los primeros equipos de ecografía diagnóstica fueron resultado de las investigaciones bélicas tras la 2ª Guerra Mundial (desarrollo del sonar). Así, Dussick (1947) fue el primero en aplicar la ecografía al diagnóstico médico *“midiendo la transmisión de ultrasonidos entre dos transductores colocados en lados opuestos de la cabeza”*.

Howri diseñó el primer escáner ultrasónico en 1948, ideando también el movimiento de barrido doble. Entre los años 50 y 70, se desarrollan grandes artilugios para obtener imágenes más reales, hasta llegar a los actuales transductores de frecuencia elevada, resolución alta y diámetro pequeño.

Otros avances importantes son la ecografía Doppler y el Doppler color-flujo.

6. Resonancia magnética (RM).

Las propiedades de la RM fueron descubiertas en los años 40 por los grupos de investigación dirigidos por Bloch y Purcell, quienes describen de forma independiente y simultánea el fenómeno de la resonancia, siendo ambos Premio Nobel de física en 1952.

En 1973, Lauterbur descubrió la posibilidad de utilizar el fenómeno de la RM para la obtención de imágenes del cuerpo (mapas de relajación), publicando las primeras imágenes. Pero no es hasta los años 80 cuando se inician los estudios clínicos, y en la actualidad, este tipo de exploración (que resuelve diferencias de contraste relativamente pequeñas entre los tejidos) se encuentra en pleno auge en los servicios de radiología.

7. Radiografía Digital.

La digitalización de la imagen radiológica consiste en recoger la información mediante sistemas digitales y su procesamiento por medio de computadoras.

Aunque ya se habló de ella en el Congreso Internacional de Radiología de Bruselas en 1981 (tecnología de la placa de fósforo estimulable), en 1983 se aplicó por primera vez la radiografía computarizada en Japón, presentando grandes ventajas sobre la convencional (evita exposiciones, elimina el problema de los residuos, etc.).

8. Tomografía por emisión de positrones (PET).

Es el último avance en medicina nuclear, un elemento esencial para el estudio de la extensión y agresividad de los tumores. El uso de radiofármacos emisores de positrones para fines médicos fue concebido por el inventor del ciclotrón, E. O. Lawrence, a principio de los años 30. Otro avance importante fueron las demostraciones de Hounsfield sobre el uso clínico del TC en 1967, sobre todo en lo referente a reconstrucción de imágenes.

En 1975 se construyó el primer tomógrafo de positrones, pero su perfeccionamiento y la investigación con

nuevos radiofármacos llega hasta finales de los años 80, cuando los primeros centros de PET se empiezan a usar para el diagnóstico.

ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA

Inicialmente, los médicos eran responsables del manejo de los rudimentarios equipos de radiología. Pero al generalizarse y hacerse complejo su uso, practicantes y enfermeras ayudan a los radiólogos en el manejo de equipos y administración de contrastes.

La especialidad creada en 1961, “Radiología y Electrología”, amplió conocimientos sobre fundamentos físicos y técnicas. Pero no llegó a exigirse para trabajar en estos servicios, y desaparece en 1987, al incluirse la radiología en la especialidad de *Cuidados Especiales*, que nunca llegó a desarrollarse.

La integración de la enfermería en la Universidad (1977) supone un cambio radical en los planes de estudios y un giro sustancial en su filosofía. La función de enfermería va a ser “*cuidar*”, como una actividad propia e independiente; este aspecto, unido a otros, son elementos que marcan el inicio de la disminución del personal de enfermería en estos servicios.

La aparición de los Técnicos Especialistas en Radiodiagnóstico (TER) en 1984 coge a la enfermería sin una especialidad, con lo que TER y antiguos enfermeros especialistas asumen el manejo de los aparatos. El resto de enfermeros se encargarán sólo de los cuidados en los servicios de Radiología, Radioterapia y Medicina Nuclear.

En principio, las/os enfermeras/os se resisten a aceptar ese rol exclusivamente cuidador y surgen las asociaciones de enfermería radiológica, de marcado carácter reivindicativo, en uno de cuyos congresos nace el término “*Enfermería radiológica*”. La transformación de las asociaciones reivindicativas en sociedades científicas inicia un proceso de centraje de objetivos en las necesidades y cuidados del paciente, aspecto que sustituye a la obtención de imágenes radiológicas como columna vertebral de la profesión en estos servicios.

El reciente decreto sobre especialidades de enfermería (RD 450/2005 de 26 de abril) suprime la vieja especialidad de Radiología y Electrología y la *nonata* de Cuidados Especiales de 1987, estableciendo que quienes estén en posesión del título de especialista, podrá solicitar la expedición del título de *Especialista en Enfermería de Cuidados Médico-Quirúrgicos*. Para muchos, la enfermería radiológica resulta perjudicada, pero se abre un camino apasionante, en el que la profesión ha de centrar sus esfuerzos en la definición de un área de capacitación específica en Radiología dentro de la nueva y amplia especialidad; sin renunciar a la aspiración de competir por la creación de una nueva especialidad, para lo que debemos emprender la difícil tarea de convencer a la sociedad de su necesidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barrachina Bellés L. Métodos complementarios de diagnóstico. En: Barrachina Bellés L. Enfermería Médico- Quirúrgica. Generalidades. Barcelona: Masson; 2003. p. 1- 18.
2. Bisagni C, Mauro M Y. Unidade de imagen: a consulta de enfermagem na qualificação do processo de trabalho. Esc. Anna Nery Rev. Enferm. 2001; 5(3): 365- 375.
3. Fischgold H. Generalidades. Cronología del Radiodiagnóstico. En: Monnier J P, Jubiana JM. Manual de Radiodiagnóstico. 3ª ed. Barcelona: Masson; 1994. p.1- 6.
4. Gálvez Galán F. La mano de Bertha. Otra historia de la radiología. Madrid: IM&C. 1995.
5. Gutiérrez MT, Gutiérrez G, Gutiérrez S., Machuca L, Bascuas JL. Medicina nuclear 1896-1996.100 años del descubrimiento de la radiactividad. Enferm Radiol 1997; (31): 5-8.
6. Laín Entralgo P. Historia de la medicina. 1ª ed. 1978. Barcelona: Masson; 2001.
7. Lerma D, Arrazola M, Sánchez R. Un registro de enfermería para el servicio de radiología. Rev ROL Enf 2000; 23(10): 69-72.
8. Orduña A. Conclusiones del XI Congreso Nacional de enfermería radiológica. RSEER 2005; 2 (2): 53-57.
9. Pérez Moure G. Editorial. RSEER 2005; 2 (2):3.
10. Rotblat J. Cien años de radiactividad. Boletín SEFM, 1996; (3). (Conferencia presentada en el Congreso RADIOLOGY'96, publicada en ISRR News Letter, Vol 32, Nº 2, 1996.

CAPÍTULO 3. EL PROCESO DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA.

Francisca Rosa Jiménez López.

INTRODUCCIÓN

Cuando un paciente llega al Servicio de Radiología es atendido por un equipo multidisciplinar (médico, enfermero, técnico, celador...) que comparte una meta sanitaria y unos objetivos comunes a cuya realización cada miembro del equipo contribuye de forma coordinada de acuerdo a sus competencias y respetando las funciones de los otros. Desde la perspectiva disciplinar, el CUIDADO es lo que determina la aportación enfermera específica a la salud de las personas.

Los servicios de radiología, principalmente radiodiagnóstico y medicina nuclear diagnóstica, presentan ciertas peculiaridades que pueden condicionar la planificación de los cuidados (muchos pacientes diarios en régimen ambulatorio o corta estancia, etc.)

No obstante, no cabe duda de que para llevar a cabo el proceso de cuidar, el profesional enfermero de radiología utiliza un método, el Proceso de Atención de Enfermería, que posibilita la consolidación de la actividad de cuidar como actividad profesional garantizando la continuidad de los cuidados del paciente sin olvidar que, además, comparte actividades consideradas como puramente “técnicas” pero siempre teniendo como objeto de la acción al paciente que es ante todo PERSONA siendo el resultado un Plan de Cuidados individualizado.

EL PROCESO DE ENFERMERÍA

Siguiendo a Alfaro-LeFevre R. (1998), el Proceso de Enfermería es “un método sistemático de brindar cuidados humanistas eficientes centrados en el logro de resultados esperados”, y “humanitario porque se basa en la persona, la familia o la comunidad”.

Consta de cinco pasos: valoración, diagnóstico, planificación, ejecución y

evaluación; durante los cuales se realizan actividades deliberadas para conseguir la máxima eficiencia y obtener los resultados esperados.

1. VALORACIÓN

Implica la recogida de datos sobre el estado de salud del paciente mediante la entrevista, la observación y la valoración física, así como un análisis posterior de los mismos con el fin de encontrar evidencias de funcionamiento anormal o factores de riesgo que pueden contribuir a la aparición de problemas de salud. También busca evidencias de los recursos del paciente.

A la llegada del paciente al Servicio de Radiología (o en hospitalización, en su caso) se le hace una Valoración Inicial estructurada por Necesidades Básicas (Henderson V) o por Patrones Funcionales de Salud (Gordon M), que recoja todos los aspectos de su salud o focalizada en las necesidades y aspectos que cada tipo de exploración requiera.

Respiración

- Capacidad del paciente para respirar en decúbito.
- Capacidad del paciente para mantener unos segundos de apnea
- Depresión de reflejos de náuseas y tos.
- Frecuencia cardíaca
- Tensión arterial

Nutrición/ hidratación

- Presencia de alimentos que modifican la captación de yodo.
- Hábito de ingesta de líquidos.
- Presencia de excitantes en la dieta del paciente (té, café, colas, chocolates).
- Alteraciones que puedan dificultar que permanezca en ayunas.
- Tratamientos con insulina.
- Medicación
- Peso: _____ Talla: _____ IMC: _____.

Eliminación

- Hábito intestinal y sus alteraciones (estreñimiento, Diarrea)
- Hemorroides. Dolor al defecar
- Sondas urinarias
- Alteraciones de la eliminación urinaria.
- Volumen Vesical (ml) = [Edad (años)+2]x30_____

Movilización/ postura

- Capacidad para mantener la postura que se le indique.
- Capacidad para permanecer inmóvil durante el tiempo de toma de imágenes
- Necesidad de sedación.

Descanso y sueño

- Capacidad para permanecer tranquilo en ausencia de estímulos sensoriales. (Estudios de perfusión cerebral)

Vestirse

- Requiere ayuda para ponerse o quitarse la ropa.
- El vestuario no es adecuado (objetos metálicos...).

Temperatura

- Valorar la temperatura corporal para descartar procesos infecciosos que contraindiquen la exploración.
- Confort medioambiental en la sala.

Higiene / piel.

- Valorar estado de la piel, signos de deshidratación, edemas, etc.

Seguridad

- Capacidades del paciente para detectar los riesgos de la radiación.
- Condiciones del domicilio del paciente para mantener una conducta que evite el riesgo de lesión por radiación (posibilidad de dormir en camas separadas, nº de aseos...)
- Presencia de alergias.
- Riesgos de la supresión de tratamientos.
- Adicciones.

Comunicarse

- Describe con quien comparte el hogar.
- Problemas de integración

- Tiene personas a su cargo
- Embarazo
- Lactancia
- Relaciones sexuales de riesgo.

Creencias/ valores

- Creencias religiosas que puedan influir en preparación o durante el desarrollo del procedimiento.
- Conceptos y creencias erróneas sobre la enfermedad y el procedimiento.
- Temor expreso

Trabajar y realizarse

- Presencia de niños y/o embarazadas en el ambiente laboral.

Ocio/activades lúdicas

- Necesidades de ocio y distracción durante el período de espera o aislamiento
- Hábitos de ocio que supongan su presencia en público.

Aprendizaje

- Nivel de conocimiento que tiene del procedimiento.
- Disposición a aprender para limitar los riesgos.
- Valorar la exposición previa a exploraciones radiológicas.

2. JUICIO CLÍNICO

Una vez que el profesional enfermero ha analizado e interpretado los datos significativos procedentes de la valoración, se emiten, por una parte, los diagnósticos enfermeros oportunos (Tabla 1) y, por otra, los problemas colaborativos (Tabla 2).

La NANDA (North American Diagnosis Association) define el Diagnóstico de Enfermería (DdE) como: *“Juicio clínico sobre las respuestas del individuo, la familia o la comunidad a procesos vitales/problemas de salud reales o potenciales que proporcionan la base de la terapia para el logro de objetivos de los que la enfermera es la responsable”*.

Respecto a los Problemas Colaborativos (PC), Carpenito los define como *“Ciertas complicaciones fisiológicas que las*

enfermeras controlan para detectar su inicio o un cambio en su evolución”.

| DIAGNÓSTICOS ENFERMEROS (NANDA) |
|---|
| Conocimientos deficientes (relacionado con el procedimiento): carencia o deficiencia de información relacionada con un tema específico. |
| Temor (relacionado con desinformación del procedimiento, dolor, etc.): respuesta a la percepción de una amenaza que se reconoce conscientemente como un peligro. |
| Interrupción de la lactancia materna (relacionado con la exposición de la madre a las radiaciones): interrupción del proceso de lactancia materna debido a la inconveniencia de que el niño lo haga. |
| Riesgo de lesión (relacionado con el medio de contraste, radiaciones, procedimiento, etc.): riesgo de lesión como consecuencia de la interacción de condiciones ambientales con recursos adaptativos y defensivos de la persona. |
| Deterioro de la integridad cutánea (relacionado con radiación, sustancias químicas, medicamentos): alteración de la epidermis, dermis o ambas. |

Tabla 1. Diagnósticos enfermeros más usuales en el paciente sometido a un procedimiento radiológico.

| PROBLEMAS COLABORATIVOS |
|--|
| Hemorragia secundaria a punción arterial y trastornos de la coagulación. |
| Alteraciones periféricas de la perfusión secundarias a intervención hemodinámica. |
| Infección secundaria a técnica invasiva, radiaciones. |
| Alteraciones del ritmo cardíaco secundarias a intervención hemodinámica. |
| Reacción alérgica secundaria al a contraste. |
| Dolor secundario a procedimiento invasivo. |
| Perforación secundaria a Colangiopancreatografía endoscópica retrógrada (CPER). |
| Otros. |

Tabla 2. Problemas colaborativos.

3. PLANIFICACIÓN

Tras la identificación de los diagnósticos enfermeros / problemas colaborativos se planifican los cuidados. Según Alfaro (1998), los planes de cuidados tienen tres componentes principales: los DdE o problemas, los objetivos (resultados deseados) y las intervenciones.

La planificación ha sufrido una importante transformación metodológica con la incorporación de las Clasificaciones

de Intervenciones (NIC) y de Resultados (NOC).

El lenguaje NIC incluye todas las intervenciones realizadas por las enfermeras, tanto independientes como de colaboración, así como cuidados directos e indirectos.

Una intervención se define como “todo tratamiento, basado en el conocimiento y juicio clínico, que realiza un profesional de la enfermería para favorecer los resultados esperados del paciente” (McCloskey y Bulechek, 2000). Cada una de ellas comprende una serie de actividades que indican las acciones y el pensamiento que llevan a la intervención.

Por otra parte, la NOC, al igual que la NIC, es una taxonomía estructurada en clases y dominios (24 y 7 respectivamente). Comprende 260 criterios de resultado sensibles al quehacer profesional enfermero y cada resultado posee unos indicadores que se evalúan mediante escalas de medición articuladas en escalas de Likert de 5 puntos. Johnson, Maas y Moorhead (2000) definen un Resultado como “un estado, conducta o percepción variable de un paciente o cuidador familiar sensible a intervenciones de enfermería y conceptualizado a niveles medios de abstracción”.

Los resultados, a su vez, sirven como criterio para evaluar las intervenciones enfermeras.

| Problema: Conocimientos deficientes | |
|---|---|
| Criterios de Resultados | Intervenciones |
| Conocimiento: Procedimientos terapéuticos/Prevención de embarazo/ Dieta/ Medicación/ Seguridad personal/ Seguridad infantil. | Enseñanza: Procedimientos terapéuticos/ Dieta prescrita/ Sexo seguro/ Medicación prescrita. Facilitar el aprendizaje. Identificación de riesgos. Identificación de riesgos genéticos. |

| Problema: Temor | |
|--|--|
| Criterios de Resultados Control del miedo. Control de la ansiedad. Superación de problemas | Intervenciones Apoyo emocional. Apoyo en la toma de decisiones. Aumentar el afrontamiento. Disminución de la ansiedad. Potenciación de la seguridad. Enseñanza: procedimiento |

| Problema: Interrupción de la lactancia materna | |
|--|---|
| Criterios de Resultados Lactancia materna: destete. Lazos afectivos padre-hijo. | Intervenciones Supresión de la lactancia. Asesoramiento nutricional. Disminución de la ansiedad. Escucha activa. |

| Problema: Riesgo de lesión | |
|---|--|
| Criterios de Resultados Conducta de seguridad: personal. Control del riesgo. Estado inmune. | Intervenciones Manejo ambiental: seguridad. Manejo ambiental: seguridad del trabajador. Educación sanitaria. Identificación de riesgos. Manejo de la alergia. Restricción de zonas de movimiento. Guías del sistema sanitario. Administración de medicación. Precauciones con las hemorragias. |

| Problema: Deterioro de la integridad cutánea (Véase el capítulo de Radioterapia) | |
|---|--|
| Criterios de Resultados Integridad tisular: piel y membranas mucosas. | Intervenciones Cuidado de las heridas. Manejo de la radioterapia. Protección contra infecciones. |

4. EJECUCIÓN

La ejecución consiste en poner en práctica el plan establecido. Abarca los siguientes campos: establecer prioridades, valorar y volver a valorar, realizar las intervenciones y llevar a cabo las modificaciones pertinentes, y registrar (Alfaro-LeFevre, 1998):

- ✓ Establecer Prioridades: Para lo que hay que identificar primero los problemas urgentes y a continuación se establecen los DdE y los PC razonando el orden de intervención para resolver, reducir o controlar los mismos. Se decide qué puede hacer el paciente/familia, qué podemos delegar en el personal auxiliar y qué debemos nosotros hacer personalmente.
- ✓ Valorar y volver a valorar: La valoración está presente en todas las fases del Proceso de Enfermería. En el lugar que nos ocupa, la ejecución, se ha de valorar el estado del paciente antes de la prueba (para que llegue en las mejores condiciones bio-psico-sociales), durante y después (para controlar las respuestas del paciente a la misma).
- ✓ Llevar a cabo las intervenciones así como las modificaciones pertinentes: Realizar las intervenciones enfermeras con pleno conocimiento de los principios y razones para ello, observando las respuestas. Si no se obtienen dichas respuestas hay que determinar qué va mal antes de proseguir con la actuación y, en este caso, se hacen los cambios precisos anotándolos en el Plan de Cuidados.

✓ Registrar: Cuando se han dispensado los cuidados enfermeros y se han evaluado las respuestas del paciente/familia, se cumplimenta la hoja de registro pertinente con el fin de:

- Comunicar los cuidados a otros profesionales de la salud.
- Ayudar a identificar patrones de respuestas y cambios en el estado del paciente.
- Proporcionar una base para la evaluación, investigación y mejora de la calidad de los cuidados brindados.
- Crear un documento legal que pueda utilizarse posteriormente para evaluar el tipo de cuidados prestado.

5. EVALUACIÓN

La evaluación enfermera es la clave de la excelencia en la provisión de cuidados de salud. Es una acción continua y formal que está presente en todas las etapas del Proceso Enfermero.

Como refieren Benavent MA, Francisco C, y Ferrer E (2000), la evaluación como etapa final del Proceso de Enfermería es el momento en el que la enfermera compara los resultados obtenidos de sus intervenciones con los objetivos de resultado que había formulado durante la planificación.

Debe de incluir:

- Determinar el logro de objetivos.
- Identificar las variables (factores) que afectan el logro de los objetivos.
- Decidir si hay que mantener el plan, modificarlo o darlo por terminado.

CONCLUSIONES

La enfermera ha de llevar a cabo el Proceso de Enfermería allí donde haya un paciente que demande cuidados de enfermería. Por ello es fundamental que en el servicio de Radiología se dé continuidad a los cuidados utilizando esta herramienta de trabajo que redundará, como es obvio, en

el paciente y en la calidad del servicio enfermero prestado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro-LeFevre R. Aplicación del Proceso Enfermero. Guía paso a paso. 4ª ed. Barcelona: Springer; 1998.
2. Benavent Garcés A, Ferrer Ferrandis E, Francisco del Rey C. Fundamentos de Enfermería. Madrid; DAE; 2000.
3. Darriba P, Iglesias M, López-Menchero G, Diaz R, Montero I, Arantón L. ¿Es posible aplicar Planes de Cuidados en Radiología?. Rev. ER. Mayo 2003; 56: 17-22.
4. Diaz R, Darriba P, Montero I, López-Menchero G, De Deus T. Medicina Nuclear: una unidad desconocida (Cartera de servicios de Enfermería).Re. ER. Enero 2004; 59: 21-26.
5. Diaz R, Darriba P. Medicina Nuclear y Enfermería. Rev. ROL de Enfermería. Marzo 1998; 235: 33-36
6. Fernández Sola C, Granero Molina J, Ruiz Arrés E, Fernández-Amigo A, Rodríguez F, Muñoz FJ. Diseño de una consulta de enfermería radiológica. Rev. ER 1998; 38:10-13.
7. Granero Molina J, Fernández Sola C, Jiménez López FR, Moreno Lopez JM, Muñoz Ronda FJ, Heredia Berciano M. Atención a las necesidades de comunicación en el marco de los procedimientos enfermeros. Enferm Científ. 2004; (262-263): 53-61.
8. Johnson M, Bulechek G, McCloskey J, Maas M, Moorhead S. Diagnósticos Enfermeros, Resultados e Intervenciones. Interrelaciones NANDA, NOC y NIC. Madrid: Harcourt; 2003.
9. Jonhson M, Maas M, Moorhead S. Clasificación de Resultados de Enfermería (CRE). 2ª ed. Madrid: Harcourt; 2002.
10. Luis Rodrigo MT. Los Diagnósticos Enfermeros. Revisión crítica y guía práctica. 2ª ed. Barcelona: Masson; 2001.
11. McCloskey J, Bulechek G. Clasificación de Intervenciones de Enfermería (CIE). 3ª ed. Madrid: Harcourt; 2003.
12. Morilla Herrera JC. Morales Asencio. JM.Algoritmos de juicio Diagnóstico en respuestas humanas. Servicio Andaluz de Salud. 2004.

ACTIVIDAD DE REPASO

Como actividad de aprendizaje para completar la comprensión del tema se propone desarrollar uno de los diagnósticos de enfermería, concretando los indicadores de resultados y eligiendo las actividades apropiadas de alguna de las intervenciones.

A modo de ejemplo, desarrollaremos aquí el diagnóstico enfermero “Conocimientos deficientes”:

DIAGNÓSTICO ENFERMERO (NANDA):

00126 Conocimientos deficientes (procedimiento)

Factores de Relación:

- Falta de exposición.
- Mala interpretación de la información.
- Poca familiaridad con los recursos para obtener la información.

Criterios de resultado (NOC)

- 181402 Explicación del propósito del procedimiento (1 ninguna. 5 Extensa)
Valoración Inicial: (1) (2) (3) (4) (5)
Post-intervención: (1) (2) (3) (4) (5)
- 181406 Descripción de restricciones relacionadas con el procedimiento
Valoración Inicial: (1) (2) (3) (4) (5)
Post-intervención: (1) (2) (3) (4) (5)

Sólo si en la valoración inicial obtenemos una respuesta inferior a tres (3) para alguno de los indicadores que nos interese, formularemos el diagnóstico y, por lo tanto, planificaremos las intervenciones:

Intervenciones y actividades (NIC)

5618 Enseñanza. Procedimiento

Actividades:

- Informar al paciente/ser querido acerca de cuándo y dónde tendrá lugar el procedimiento.
- Informar al paciente acerca de la duración esperada del procedimiento
- Determinar experiencias anteriores del paciente y el nivel de conocimientos relacionados con el procedimiento.
- Explicar el procedimiento.
- Enseñar al paciente cómo cooperar durante el procedimiento.

- Proporcionar información acerca de lo que oírás, olerás, verás, gustarás o sentirás durante el procedimiento.
- Proporcionar información sobre cuándo y dónde estarán disponibles los resultados y la persona que los explicará.
- Dar tiempo al paciente para que haga preguntas y discuta sus inquietudes.
- Incluir a la familia/ser querido, si resulta oportuno.

5614 Enseñanza: Dieta prescrita

Actividades:

- Explicar el propósito de la dieta.
- Informar al paciente del tiempo durante el que debe seguirse la dieta.
- Informar al paciente de las posibles interacciones de fármacos/comidas, si procede.

5520 Facilitar el aprendizaje

Actividades:

- Establecer la información en una secuencia lógica.
- Ajustar la instrucción al nivel de conocimientos y comprensión del paciente.
- Utilizar un lenguaje familiar.
- Definir la terminología que no sea familiar.
- Simplificar las instrucciones.
- Repetir la información importante

Finalizada la ejecución de las intervenciones, valoramos nuevamente los indicadores elegidos para evaluar la eficacia del plan de cuidados.

MÓDULO II: BASES FÍSICAS Y BIOLÓGICAS DE LA RADIOLOGÍA.

4. ESTRUCTURA DE LA MATERIA.

Javier González González

5. LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Juan Tuset Castellano

6. LA RADIATIVIDAD

Juan Tuset Castellano

7. RESONANCIA MAGNÉTICA Y ULTRASONIDOS.

Javier González González

8. UNIDADES Y MAGNITUDES.

Juan Tuset Castellano

9. INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA

Javier González González

10. CONCEPTOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS

Cayetano Fernández Sola

11. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN EL NIVEL MOLECULAR.

Cayetano Fernández Sola

12. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL CELULAR. RADIOSENSIBILIDAD.

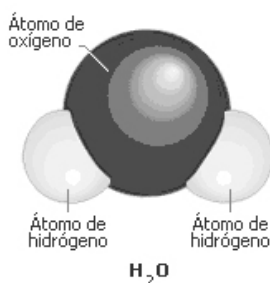
Cayetano Fernández Sola

13. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL TISULAR.

José Granero Molina

14. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL DEL ORGANISMO COMPLETO.

José Granero Molina



“Nada existe excepto átomos y espacio vacío; todo lo demás son opiniones”. Demócrito (Siglo V a. de C.)

CAPÍTULO 4. ESTRUCTURA DE LA MATERIA.

Javier González González.

INTRODUCCIÓN

La materia con la que está constituido este libro, la de usted y la de todo el universo conocido es de naturaleza discreta. Esto significa que la materia es discontinua, esto es, que está formada por partículas. Las leyes de la mecánica cuántica son las que rigen la física de estas estructuras microscópicas.

Si cualquier sustancia¹ la subdividimos un cierto número de veces llegará un momento en el que encontraríamos la unidad más pequeña de materia que conserva todas sus propiedades físicas y químicas, esta unidad es la molécula. En la naturaleza existen centenares de millones de especies moleculares diferentes y cada una de ellas tiene unas propiedades diferentes a las del resto.

A su vez, las moléculas están formadas por partículas más pequeñas llamadas átomos (que en griego significa indivisible). A diferencia de las moléculas, las especies atómicas existentes son solo los 112 elementos que se recogen en la Tabla Periódica y sus propiedades físicas y químicas difieren considerablemente de aquellas que poseen las moléculas de las que forman parte.

EVOLUCIÓN DEL MODELO ATÓMICO

A principios del siglo XX los experimentos de Rutherford pusieron en evidencia que los átomos poseen estructura interna. Según este modelo se podían distinguir dos partes: el núcleo y la corteza. El núcleo es donde se concentra más del 99,99% de la masa del átomo, pero con un tamaño unas 10.000 veces menor. Se puede decir que el átomo está prácticamente vacío. El núcleo además, concentra toda la carga positiva del átomo.

En la corteza se ubican los electrones, que son partículas elementales (es decir, sin estructura interna) con carga negativa. En un átomo neutro existen siempre suficientes electrones en la corteza como para compensar la carga positiva del núcleo.

Se presenta así un modelo atómico similar a un Sistema Solar en miniatura, donde el lugar del Sol lo ocupa el núcleo y donde los electrones equivaldrían a los planetas, pero que en lugar de la fuerza gravitatoria es la fuerza eléctrica la que mantiene la cohesión del sistema.

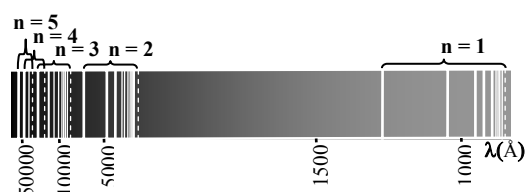
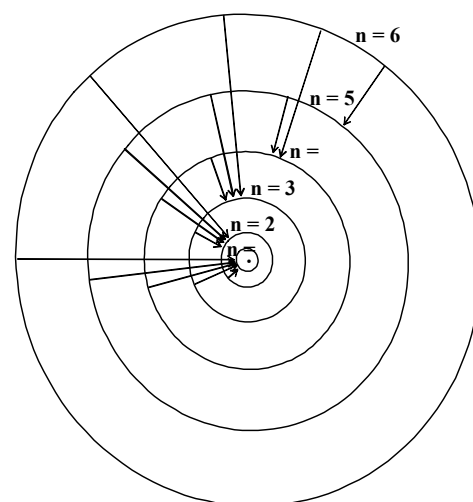


Ilustración 1: Saltos de electrones en el modelo de átomo de hidrógeno de Bohr y posiciones relativas de las rayas que corresponden a los dichos saltos en el espectro del hidrógeno.

En 1913 Niels Bohr propone que los electrones se distribuyen por la corteza sólo en determinados estados energéticos permitidos denominados orbitales. Estos representan orbitas circulares con un radio y una energía definidas por el número cuántico n , que puede tomar los valores enteros: 1, 2, 3....

¹ Se denomina sustancia a una extensión de materia que presenta propiedades químicas homogéneas, idénticas en toda su extensión.

En el modelo de Bohr, para que los electrones puedan pasar de un orbital a otro han de absorber o emitir partículas de luz o fotones, con una energía exactamente igual a la diferencia de energía existente entre los orbitales electrónicos inicial y final. Las posibles transiciones entre estados electrónicos de este modelo concuerdan con los resultados experimentales del espectro del átomo de hidrógeno.

La aplicación sistemática de los postulados de la mecánica cuántica nos ha llevado en los últimos tiempos a una visión de la corteza atómica mucho más compleja en la cual los orbitales electrónicos están descritos por funciones de onda que representan la probabilidad de encontrar al electrón en un volumen dado.

Esta representación también llamada nube electrónica necesita de otros números cuánticos además de n para la descripción completa de la corteza atómica, como son los números l, m .

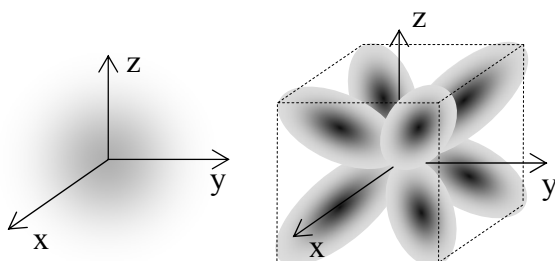


Ilustración 2: Representaciones del modelo de orbitales o nubes electrónicas. La figura de la izquierda corresponde a la función de onda de números cuánticos $n = 1, l = 0, m = 0$ y el otro a la función de onda de números cuánticos $n = 4, l = 3, m = 2$.

Se observa además que cada electrón es un pequeño imán que admite sólo dos posibles estados de imantación. Para reflejar esta propiedad se introduce el número cuántico de espín s .

Los electrones que ocupan los niveles más bajos de energía son los que están más ligados y próximos al núcleo. Pero los electrones de la corteza atómica no se amontonan todos en el nivel más bajo de energía, como cabría esperar en física clásica, sino que se disponen sucesivamente en diversos niveles de energía creciente, sin que pueda haber nada más que uno de ellos

en cada estado definido por los números cuánticos n, l, m y s . Esta propiedad es conocida como *Principio de Exclusión de Pauli*.

La corteza atómica queda representada por una distribución de capas energéticas en las que se sitúan los electrones. Esta estructura, que se conoce como *Configuración Electrónica* determina las propiedades químicas de cada elemento. Por ejemplo, los gases nobles poseen una configuración de capas completamente llenas.

Excitación e Ionización

Una imagen muy intuitiva de la corteza es la llamada de pozo de potencial. En ella, el átomo aparece como un pozo con distintos niveles negativos de energía. Un electrón libre y estático tendría energía cero. Los electrones empiezan llenando el nivel más bajo de energía y van completando progresivamente las demás capas en virtud del *Principio de Exclusión de Pauli*.

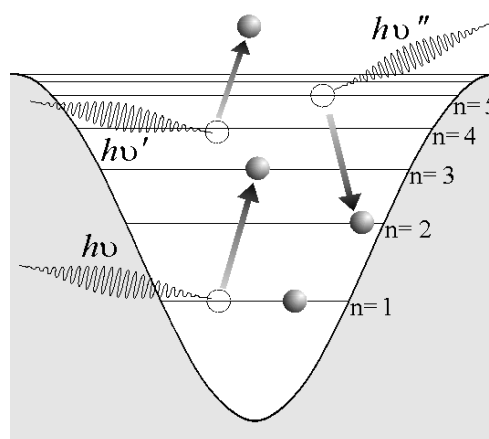


Ilustración 3: Diagrama del pozo de potencial donde se representan diversas interacciones. Un fotón de energía $h\nu$ excita el átomo promocionando un electrón de la capa 1 a la capa 3. Otro electrón en $n = 4$ escapa del átomo gracias a la energía aportada por el fotón $h\nu'$. Además un electrón de la capa 5 se desexcita hasta $n = 2$ emitiendo un fotón $h\nu''$.

Si un electrón absorbe un fotón de energía suficiente, puede promocionarse a un estado energético superior, diremos que el átomo está excitado.

Si por el contrario el electrón recibe suficiente energía como para abandonar el pozo de potencial del átomo diremos que el átomo se transforma en un ión positivo. Si el átomo tiene mayor número de electrones que de protones será un ión negativo.

EL NÚCLEO

El núcleo atómico está compuesto por dos tipos de partículas: los protones y los neutrones. Los protones portan la carga positiva del núcleo, cada uno de ellos tiene una masa 1836 veces la del electrón y exactamente la misma carga del electrón pero cambiada de signo.

Acompañando a los protones en el núcleo están los neutrones, partículas con una masa un poco mayor que la del protón pero sin carga eléctrica.

Tanto protones como neutrones tienen un momento magnético intrínseco o espín idéntico al del electrón.

La fuerza que mantiene el núcleo atómico cohesionado es la fuerza nuclear fuerte. Esta fuerza es de corto alcance y es suficiente intensa como para superar la fuerza eléctrica de repulsión que ejercen las protones del núcleo entre sí.

Las especies nucleares llamadas núclidos o nucleidos se caracterizan por el número de protones y de neutrones que los integran. La notación que más habitualmente se sigue es:



donde X, representa el símbolo químico del elemento. A es número másico, que corresponde a la suma de los protones y neutrones del núcleo y Z es el número de protones en el núcleo y por tanto de electrones en la corteza. El número de neutrones N, será A-Z.

Los núclidos con igual número másico se denomina *isóbaros*. De la misma manera, dos núclidos son *isótopos* si tienen el mismo número de protones. Como el número de electrones en la corteza es igual al de protones en el núcleo, todos los isótopos de un elemento tienen la misma configuración electrónica y por tanto las mismas propiedades químicas. Así mismo, cuando dos núclidos tienen el mismo número de neutrones se denominan *isótonos*.

El número de núclidos conocido es de unos 4000, donde la mayoría de ellos son inestables. Es decir, al cabo de cierto tiempo acaban desintegrándose y formando

otros núclidos. Este fenómeno se denomina radiactividad.

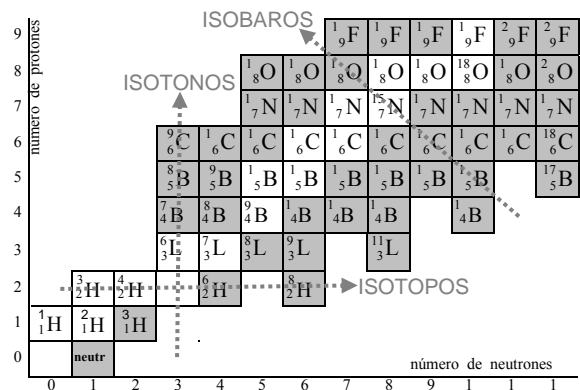


Ilustración 4: Porción inferior de la carta de núclidos donde se muestran las especies nucleares más simples. Los núclidos inestables, denominados radionúclidos aparecen sombreados. También aparece la disposición de los isóbaros, isótopos e isótonos.

RADIATIVIDAD Y REACCIONES NUCLEARES

Al medir la masa de los núclidos, se observa que esta es siempre inferior a la suma de las masas de los nucleones (protones y neutrones) que lo constituyen. Esta aparente violación del principio de conservación de la masa se explica si consideramos que la masa que falta se ha transformado en energía de enlace nuclear. La ecuación que rige esta transformación de masa en energía es:

$$E = m \cdot c^2$$

donde c es la velocidad de la luz.

Esta energía de enlace es la que emplea la fuerza nuclear en vencer la repulsión eléctrica de los protones.

Los núclidos que usan demasiada energía de enlace para mantenerse unidos tienden a transformarse en otros estados de la materia nuclear (otros núclidos) más estables, es decir, con menor energía de enlace. Este proceso es lo que origina la radiactividad.

Fusión y Fisión Nuclear

La **fusión nuclear** consiste en la unión de dos núcleos ligeros para formar otro más pesado. Para que ocurra este tipo de reacciones nucleares los núcleos ligeros han

de vencer primero la repulsión eléctrica y aproximarse lo suficiente como para que las fuerzas nucleares actúen. Esta es la fuente de energía de las estrellas como el Sol.

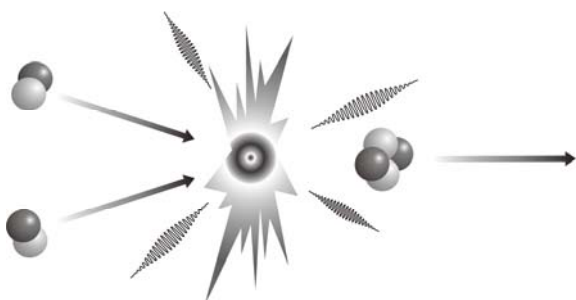


Ilustración 5: Esquema de la fusión de dos núcleos de deuterio (^2H) para formar un núcleo de ^4He acompañado de una gran cantidad de energía.

La **fisión nuclear** es la partición de un núcleo muy pesado en dos más ligeros. Aunque existe la fisión nuclear espontánea, es más frecuente que el núcleo pesado tenga que ser bombardeado con algún tipo de partículas para estimular la reacción. Estos procesos son los que proporcionan la energía de las centrales nucleares.

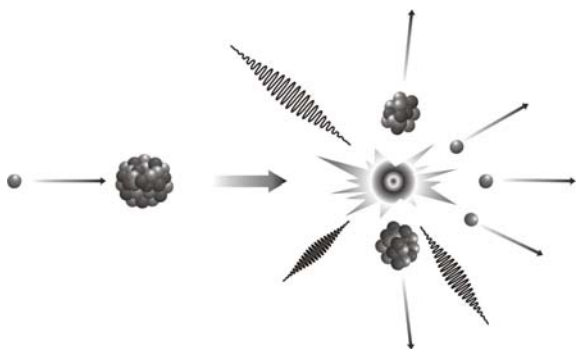


Ilustración 5: Esquema de la fisión de un núcleo de ^{235}U producida por la colisión con un neutrón. Como consecuencia se producen gran cantidad de energía, otros núcleos y algunos neutrones libres.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diego E. Burgos, Damián Guirado, José R. Román. Protección Radiológica General. CC.OO. Andalucía. EDICON 1998.
2. Harold E. Johns, John R. Cunningham. The Physics of Radiology. Charles C Tomas Publisher. Springfield. Illinois. U.S.A.
3. Henry Semat. Física Atómica y Nuclear. Aguilar.

CUESTIONARIO

1. Las propiedades químicas del anhídrido carbónico:

- a) Son análogas a las del carbono y oxígeno.
- b) Dependen de su estado de agregación.
- c) Difieren notablemente de sus elementos constituyentes.
- d) Dependen del número de neutrones del carbono y oxígeno.

2. El radio nuclear es respecto al atómico:

- a) 10000 veces menor
- b) 10000 veces mayor
- c) 10 veces más grande
- d) son iguales

3. Cuando los núclidos tienen el mismo número másico se denominan:

- a) Isóbaros
- b) Isótonos
- c) Isómeros
- d) Isótopos

4. El $^{12}_6\text{C}$ tiene:

- a) 14 neutrones
- b) 7 Nucleones
- c) 6 Neutrones
- d) 14 Protones

5. Un átomo se desexcita cuando:

- a) Emite energía
- b) Absorbe energía
- c) Emite electrones nucleares
- d) Absorbe electrones

6. Un átomo ionizado:

- a) Tiene número distinto de electrones que de protones
- b) Posee menos energía que el átomo neutro de igual Z
- c) Posee más energía que el átomo neutro de igual Z
- d) Es insensible a la acción de campos eléctricos o magnéticos.

CAPÍTULO 5. LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Juan Tuset Castellano.

INTRODUCCIÓN

El término de radiación hace referencia a los fenómenos de transferencia de energía entre dos sistemas físicos, distantes o no, sin necesidad de un medio transmisor. Ejemplos cotidianos de estos fenómenos los tenemos al encender una bombilla y apreciar el calor que se desprende, al calentar los alimentos con el microondas o simplemente cuando utilizamos el teléfono móvil o vemos el televisor.

CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Una carga eléctrica en reposo produce una perturbación del espacio que la rodea llamada campo electrostático en donde las características de cada punto no cambian con el tiempo y cuyo valor disminuye al alejarnos de la carga.

Si las cargas eléctricas se mueven con movimiento uniforme, entonces tenemos una corriente eléctrica continua y constante, que produce un campo eléctrico y otro magnético, también estacionarios.

Los campos eléctrico y magnético pueden producirse por separado, pero en general aparecerán simultáneamente constituyendo el campo electromagnético.

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Cuando las cargas eléctricas tienen un movimiento acelerado, tendremos una corriente eléctrica variable que produce un campo electromagnético que varía con el tiempo y que se propaga a través del espacio con movimiento ondulatorio, constituyendo una onda electromagnética.

El campo electromagnético se propaga, no es instantáneo. Su valor en cada punto del espacio varía de forma periódica dependiendo de la distancia al lugar de origen del campo y del tiempo transcurrido desde su creación.

En 1860 el físico escocés J. C. Maxwell dedujo las ecuaciones de propagación de las ondas electromagnéticas y mostró que la velocidad de las mismas en el vacío es:

$$c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

La velocidad de propagación en cualquier medio material es inferior a la del vacío:

$$v = c / n$$

Siendo n el índice de refracción del medio. Para el vacío $n = 1$ y para el aire en condiciones normales es aproximadamente la unidad.

PROPAGACIÓN EN MEDIOS MATERIALES

Decimos que un medio es transparente a una onda electromagnética cuando esta es capaz de propagarse en dicho medio.

Si la onda no es capaz de propagarse decimos que el medio es opaco.

Un medio puede ser transparente para una determinada onda electromagnética y opaco para otra.

Por ejemplo, el cartón es transparente para los rayos X y opaco para la luz visible.

CONCEPTO

La radiación electromagnética podemos considerarla como una doble onda, formada por un campo eléctrico (E) y un campo magnético (B), que se encuentran en fase (los dos campos toman sus valores máximos, mínimo y nulos en el mismo instante) y cuyos planos de vibración son perpendiculares entre si y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, siendo por tanto doblemente transversal.

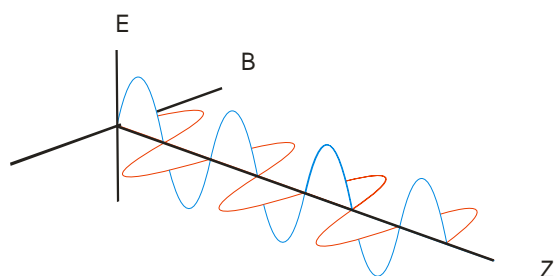


Ilustración 1: Onda electromagnética.

CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Las radiaciones electromagnéticas son ondas y se caracterizan por su frecuencia, su longitud de onda en el vacío o su energía.

La frecuencia ν , representa el número de oscilaciones que efectúa el campo en la unidad de tiempo. Se mide en ciclos por segundo, s^{-1} , unidad que recibe el nombre de hercio, Hz.

La longitud de onda λ , es la distancia entre dos puntos consecutivos en igualdad de fase, es decir, con el mismo valor de campo. Se mide en unidades de longitud, metros, m, en el SI (Sistema Internacional).

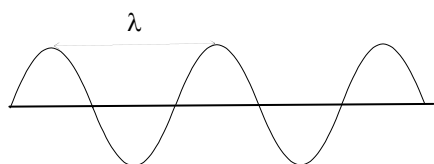


Ilustración 2: Longitud de onda.

La relación entre ambas es:

$$\lambda = c / \nu$$

Siendo c la velocidad de la luz en el vacío.

Cuanto mayor es la frecuencia ν , mayor es la energía y menor es la longitud de onda λ , y al revés cuanto menor es la frecuencia menor es la energía y mayor es la longitud de onda.

El periodo T , es el tiempo que tarda el campo en describir un ciclo, es decir, el tiempo que tarda en repetirse la onda. Se mide en unidades de tiempo, segundos, s, en el SI.

$$T = 1 / \nu$$

ÉXITO DE LA TEORÍA ONDULATORIA

La teoría ondulatoria explica perfectamente todos los fenómenos que se pueden presentar en la propagación de la radiación, como son:

- ✓ Reflexión: cambio de la dirección de propagación.
- ✓ Refracción.

- ✓ Interferencias, al superponerse dos ondas en un punto.
- ✓ Difracción: modificación en la trayectoria de una onda.

Sin embargo la teoría ondulatoria no explica todas las propiedades de la radiación. Ya que presenta carácter corpuscular en su interacción con la materia frente a su carácter ondulatorio cuando se propaga.

CUANTOS DE RADIACIÓN

En 1900, el físico alemán Max Planck demostró que la emisión y absorción de radiación no se produce de forma continua sino en forma discreta mediante lotes o paquetes de energía que se denominan "cuantos". En 1905, Albert Einstein consiguió explicar el efecto fotoeléctrico (ver capítulo 9) postulando que la luz (posteriormente se hizo extensivo a todo el espectro de la radiación electromagnética) puede comportarse como un chorro de partículas y estableció que la radiación es una transmisión discreta de energía.

El cuanto de radiación electromagnética es el fotón. Estamos, por tanto admitiendo que la radiación electromagnética está constituida por pequeños paquetes de energía, a los cuales hemos llamado fotones.

El valor energético del fotón es múltiplo de la frecuencia de su onda asociada, y viene dado por:

$$E = h \cdot \nu$$

Siendo h una constante universal llamada constante de Planck, cuyo valor es:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Podemos considerar los fotones como corpúsculos o paquetes de energía, sin masa.

DUALIDAD ONDA CORPÚSCULO

El hecho de que los fenómenos de propagación de la radiación sean explicados por la teoría ondulatoria y los fenómenos de interacción de la radiación con la materia sean explicados por la teoría cuántica, obliga a la física moderna a reconocer que la radiación electromagnética se comporta unas veces como ondas y otras como partículas.

Se le da a la radiación electromagnética una doble naturaleza, ondulatoria y corpuscular simultáneamente.

En 1924 el físico francés Louis de Broglie propuso que la materia también puede presentar características ondulatorias además de corpusculares.

Cualquier partícula de materia en movimiento (por ejemplo un electrón) tiene asociada una onda que gobierna su movimiento, propagándose a la misma velocidad de la partícula y con una longitud de onda dada por la expresión:

$$\lambda = h / m \cdot v$$

Siendo m la masa de la partícula, v su velocidad y h la constante de Planck.

El carácter ondulatorio de la materia tiene importancia a nivel atómico. Siendo inapreciable a nivel macroscópico ya que la longitud de onda asociada a una partícula es muy pequeña.

Tanto la materia como la radiación presentan propiedades corpusculares y ondulatorias, manifestándose los aspectos corpusculares durante la emisión o absorción y los aspectos ondulatorios durante la propagación.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Cuando ordenamos el conjunto de las ondas electromagnéticas según su frecuencia, longitud de onda o energía, obtenemos el espectro de la radiación electromagnética, que comprende los rayos γ (gamma), rayos X, ultravioleta, luz visible, infrarrojos, microondas, bandas de telefonía móvil, televisión, ondas de radio y potencia.

Los límites entre los distintos tipos de ondas electromagnéticas no están perfectamente definidos. Ya que se solapan las frecuencias de las diferentes radiaciones. Para el caso de las bandas de radio y TV los intervalos de frecuencia están legalmente definidos y especificados.

Los nombres de las ondas electromagnéticas se corresponden con los diversos procedimientos de obtención de las mismas.

Los rayos **gamma** tienen energías superiores a los 10^4 eV y se extienden desde los $3 \cdot 10^{18}$ Hz hasta más de $3 \cdot 10^{22}$ Hz. Son emitidos por núcleos radiactivos y tienen gran poder de penetración, siendo muy

dañinos para los seres vivos. Se utilizan tanto en medicina como en la industria por ejemplo para esterilizar y conservar alimentos.

Los rayos X con energías del orden de 10^2 a 10^6 eV, abarcan la región del espectro electromagnético comprendido entre $3 \cdot 10^{17}$ Hz y $5 \cdot 10^{19}$ Hz. Fueron descubiertos por el físico alemán Roentgen. En los tubos de rayos X se generan haciendo incidir un haz de electrones sobre un blanco de tungsteno. La naturaleza y propiedades de los rayos X y rayos γ son similares. Siendo su origen la principal diferencia. En general los rayos γ son más energéticos pues son debidos a las transiciones entre niveles energéticos de un núcleo, mientras que los rayos X característicos son debidos a transiciones energéticas a nivel de la corteza electrónica de un átomo.

Los rayos X blandos (o de baja energía) se solapan con la radiación ultravioleta en longitudes de onda próximas a los $5 \cdot 10^{-8}$ m.

Estas características físicas de los rayos X y rayos γ les confieren unas propiedades que son aprovechadas por la medicina:

- Son capaces de atravesar la materia de que está hecho el cuerpo humano.
- Producen fenómenos de fluorescencia y fotofluorescencia (permitiendo la radiografía y la fluoroscopia).
- Producen ionizaciones en la materia que atraviesan (inducción de efectos biológicos, base de su aplicación terapéutica).

Los rayos **ultravioleta** cubren la región de frecuencias comprendidas entre $8 \cdot 10^{14}$ Hz hasta los $3 \cdot 10^{17}$ Hz. El Sol es una importante fuente de radiación ultravioleta.

La **luz visible** es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético, se extiende desde aproximadamente $4 \cdot 10^{14}$ Hz ($\lambda = 780$ nm) para la luz roja hasta $8 \cdot 10^{14}$ Hz ($\lambda = 380$ nm) para la luz violeta.

Los rayos **infrarrojos** o 'radiación de calor' ocupan el intervalo de frecuencias comprendido entre $3 \cdot 10^{11}$ Hz y $4 \cdot 10^{14}$ Hz. Todos los cuerpos los emiten en función de la temperatura a que se encuentren.

Las **microondas**, abarcan la zona de aproximadamente 10^9 Hz hasta $3 \cdot 10^{11}$ Hz. Son generadas por dispositivos electrónicos como el klistrón o el magnetrón.

Las ondas de **radiofrecuencia** van desde unos pocos hercios hasta 10^9 Hz. Se generan al acelerar cargas en circuitos electrónicos.

Por debajo de la zona de radio, el espectro entra en las bajas frecuencias, cuyas longitudes de onda llegan a medirse en decenas de miles de kilómetros.

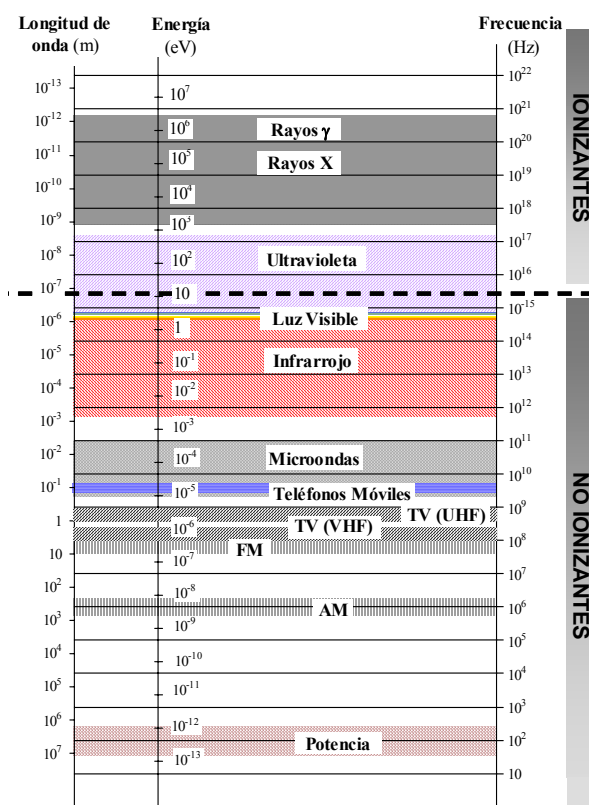


Ilustración 3: Espectro de la radiación electromagnética.

PRODUCCIÓN DE RAYOS X

Los rayos X se producen cuando hacemos incidir un haz de electrones fuertemente acelerados sobre un medio material. Debido a la colisión de los electrones con los átomos del medio se emite radiación electromagnética, siendo radiación X cuando tiene una longitud de onda inferior a 10 nm.

Los mecanismos de producción son dos:

- ✓ Interacción electrón incidente – núcleo del medio. El electrón es frenado en las inmediaciones del núcleo debido a la

atracción que éste ejerce sobre el electrón. Como consecuencia el electrón pierde parte de su energía cinética que es irradiada en forma de fotón, constituyendo la radiación de frenado o bremsstrahlung. La energía del fotón de frenado puede tomar cualquier valor entre un máximo y un mínimo, constituyendo un espectro continuo.

- ✓ Interacción electrón incidente – electrón cortical. Debido a la colisión el electrón del medio adquiere parte de la energía del electrón incidente, pudiendo provocar un salto a un nivel energético superior, quedando el átomo excitado. Espontáneamente el átomo vuelve a su estado fundamental con la emisión de un fotón de energía igual a la diferencia energética de los niveles implicados en el proceso. Los fotones así producidos son característicos del medio material y se corresponden con los posibles saltos entre niveles energéticos de los átomos del medio, constituyendo un espectro discreto. A estos fotones se les llama radiación característica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Robert Eisberg, Robert Resnick. Física cuántica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos y Partículas. Mexico. Editorial Limusa. 1978.
2. Paul A. Tipler. Física. Barcelona. Editorial Reverte, S. A. 1996.
3. Alejo Vidal-Cuadras Roca, Manuel R. Ortega Girón Radiactividad e interacción de la radiación con la materia. Barcelona. Universidad Autónoma. 1986.
4. S. Burbano de Ercilla, E. Burbano García, C. Gracia Muñoz. Física General. Zaragoza. Mira editores. 1993.
5. Diego Burgos Trujillo, Manuel Vilchez Pacheco, Damián Guirado Llorente. Protección Radiológica General. Almería. Edicon. 1998.
6. Faiz M. Khan. The Physics of Radiation Therapy. Baltimore. Williams & Wilkins. 1984.
7. Agustín Tanarro Sanz. Radiaciones Ionizantes Instalaciones Radiactivas y de Rayos X. Madrid. Ediciones JEN. 1986.

CAPÍTULO 6. RADIATIVIDAD.

Juan Tuset Castellano.

INTRODUCCIÓN

La radiactividad fue descubierta por Becquerel en 1896. Y supuso el inicio del estudio de los núcleos atómicos.

La radiactividad es la transformación espontánea de los núcleos con la emisión de partículas y energía.

ESTABILIDAD NUCLEAR

Los átomos están constituidos por una región central llamada núcleo y una nube de electrones que lo envuelve, llamada corteza electrónica. Los núcleos atómicos, formados por protones y neutrones, pueden ser estables o inestables. Los núcleos inestables son aquellos cuya energía o número de protones y neutrones varían con el tiempo. Se les llama nucleidos radiactivos, radionucleidos o radioisótopos.

La interacción fuerte es la responsable de la cohesión del núcleo. Son fuerzas atractivas muy intensas pero de corto alcance, que compensan la repulsión de los protones en el núcleo, debida a las fuerzas electromagnéticas. La interacción fuerte se convierte en fuerza repulsiva a distancias inferiores a 0.5 fm (10^{-15} m) evitando el colapso de los nucleones.

Haciendo un estudio semiempírico de la estabilidad nuclear, representando en un sistema de coordenadas los diferentes nucleidos según su Z (número atómico) y su N (número de neutrones). Se obtienen las siguientes conclusiones:

- ✓ Los nucleidos estables están situados dentro de una estrecha franja.
- ✓ La mayoría de los nucleidos radiactivos están fuera de esta franja.
- ✓ La relación N/Z de los nucleidos estables está entre ciertos límites.
- ✓ La relación N/Z de los nucleidos ligeros estables ($A < 20$) es la unidad.
- ✓ Para nucleidos estables más pesados, la relación N/Z es mayor que 1, tendiendo a 1.6 para nucleidos con $A > 50$.

- ✓ En los nucleidos pesados es necesario un exceso de neutrones para compensar la repulsión entre los protones.
- ✓ Los nucleidos inestables o radiactivos presentan una relación N/Z superior o inferior al valor correspondiente a la franja de estabilidad.

Los nucleidos inestables de forma espontánea se transforman, emitiendo partículas o radiaciones, pudiéndose convertir en nucleidos diferentes, estables o inestables. El proceso se repite hasta que el resultado final sea un nucleido estable, dando lugar a series o cadenas radiactivas.

TIPOS DE PROCESOS RADIATIVOS

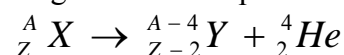
La transformación de los núcleos inestables en núcleos estables se consigue con la emisión de partículas α (alfa), partículas β (beta) y en algunos casos protones o neutrones. También es posible la emisión de radiación γ (gamma) cuando los núcleos se encuentran en estados excitados.

1. Radiación ALFA (α)

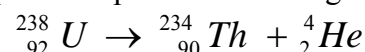
La partícula α es un núcleo de helio, formado por dos protones y dos neutrones, tiene carga positiva igual a dos veces la carga del electrón ($1e = 1.6 \times 10^{-19}$ C).

Cuando un nucleido emite una partícula α se transforma en otro nucleido con un número másico 4 unidades menor y un número atómico 2 unidades menor.

Esquemáticamente el proceso de desintegración α se representa:



La presentan nucleidos pesados con número másico $A > 150$, siendo muy improbable para nucleidos ligeros. Ejemplo:



Esta desintegración se produce cuando la partícula α atraviesa la barrera de potencial del núcleo, esto es un ejemplo del efecto túnel en mecánica cuántica, ya que la partícula α no posee energía suficiente para superar esta barrera.

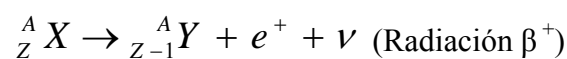
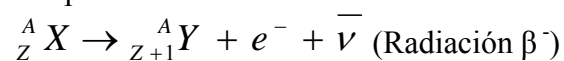
Las partículas α tienen energías determinadas y características para cada radionucleido. Siendo por tanto discreto su espectro energético de emisión.

Cuando se produce una transformación α , el nucleido resultante puede quedar en un estado excitado, produciéndose a continuación la emisión de un fotón γ .

2. Radiación beta (β)

Hay dos tipos de radiación β . Cuando el núcleo emite un electrón e^- , tenemos la radiación β^- . Si el núcleo emite un positrón e^+ , la radiación es β^+ .

Esquemáticamente la desintegración β la representamos:

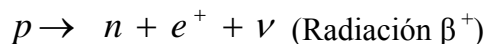
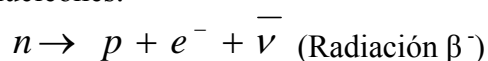


Siendo ν un neutrino y $\bar{\nu}$ un antineutrino. El neutrino es una partícula neutra de masa nula o casi nula, que transporta la energía necesaria para que se cumplan los principios de conservación de la energía, del momento cinético y de la cantidad de movimiento.

Cuando un nucleido emite una partícula β^- , se transforma en otro nucleido de igual número másico y con un número atómico aumentado en la unidad.

Si un nucleido emite una partícula β^+ , se transforma en otro nucleido de igual número másico y con un número atómico disminuido en la unidad.

Con la radiactividad β se produce un cambio en la identidad de uno de los nucleones.



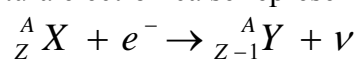
El espectro energético de los emisores β es un espectro continuo que abarca desde la energía cero hasta un valor de energía máxima característica de cada radionucleido.

3. Captura electrónica (C.E.)

En el proceso de captura electrónica, el núcleo atómico captura un electrón orbital de las capas más internas del átomo. Se transforma en otro nucleido con el mismo

número másico y con el número atómico disminuido en la unidad.

El esquema de transformación de la captura electrónica se representa por:



Siendo ν un neutrino.

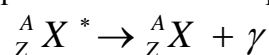
La captura electrónica es un proceso en competencia con la desintegración β^+ , ya que siempre que sea energéticamente posible la desintegración β^+ también lo será la C.E. (al revés no siempre se cumple, ya que podrían darse las condiciones energéticas para la C.E. y no para la desintegración β^+).

Después de una C.E. es posible la emisión de radiación γ consecuencia de la desexcitación del núcleo resultante. Y siempre se producirán rayos X característicos al rellenarse el hueco provocado en la capa electrónica del átomo.

4. Radiación GAMMA (γ)

Cuando un núcleo excitado pasa a otro estado menos energético o a su estado fundamental puede emitir radiación electromagnética que se denomina radiación γ (gamma).

Esquemáticamente la representamos:



El asterisco *, indica que el núcleo se encuentra en un estado excitado.

Cada nucleido tiene unos niveles energéticos determinados, por tanto en la emisión γ , se obtienen grupos discretos de fotones monoenergéticos correspondientes a las diferentes transiciones posibles entre los niveles energéticos. El espectro energético de un emisor γ es un espectro discreto.

LEY FUNDAMENTAL DE LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA

La radiactividad es un fenómeno aleatorio o probabilístico. La probabilidad de que un núcleo se desintegre o transforme es independiente de las condiciones físicas en que se encuentre y de toda influencia externa.

En una muestra radiactiva, el número de núcleos que se desintegran o transforman

dN , es proporcional al número de núcleos presentes, N , y al tiempo transcurrido, dt :

$$dN = \text{cte} \cdot N \cdot dt$$

Esta constante de proporcionalidad es la constante de desintegración radiactiva λ .

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$$

El signo menos indica la disminución de núcleos radiactivos de la muestra.

$$\lambda = -dN/N \cdot dt = \text{probabilidad} / dt$$

λ representa la probabilidad de desintegración de un núcleo en la unidad de tiempo y es característica de cada radionucleido y del tipo de desintegración.

Es el tanto por uno de átomos desintegrados en la unidad de tiempo. Nos indica la velocidad de transformación de un isótopo radiactivo. Cuanto mayor sea el valor de λ , mayor será la velocidad de transformación de esa especie atómica.

Se expresa en unidades de s^{-1} , min^{-1} , h^{-1} , años^{-1} , etc.

Integrando la ecuación diferencial anterior, con la condición inicial de que al comenzar de contar el tiempo $t = 0$, el número de átomos en la muestra es N_0 . Obtenemos la ley fundamental de desintegración radiactiva:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

N_0 : número de átomos radiactivos inicialmente presentes.

N : número de átomos al cabo de un tiempo t .

t : tiempo transcurrido.

λ : constante de desintegración radiactiva.

e : número de Neper, $e = 2.718\dots$

La ley fundamental de desintegración radiactiva nos indica que el número de átomos radiactivos presentes en una muestra decae de forma exponencial.

PERÍODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN, T

“Half life” en inglés, es el tiempo que ha de transcurrir para que el número de átomos radiactivos de una muestra se reduzca a la mitad.

Al aplicar esta definición a la ecuación fundamental de desintegración radiactiva, obtenemos la relación entre la constante de

desintegración radiactiva y el periodo de semidesintegración:

Cuando el tiempo transcurrido $t = T$, entonces $N = N_0/2$

$$N_0/2 = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \quad \text{simplificando}$$

$$1/2 = e^{-\lambda T} \quad \text{tomando logaritmos}$$

$$\ln 1/2 = -\lambda T$$

$$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T$$

$$\ln 2 = \lambda T$$

$$T = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

El periodo de semidesintegración se expresa en unidades de tiempo, s, min, h, años, etc.

Si el periodo de un radioisótopo es pequeño, significa que en un corto espacio de tiempo la muestra se reduce a la mitad, es decir, se desintegra muy rápido, λ será muy grande.

Cada vez que pasa un periodo de semidesintegración, el número de átomos de la muestra se ve reducido a la mitad.

| | | |
|----|-------|-------------|
| 1T | | $N_0 / 2$ |
| 2T | | $N_0 / 4$ |
| 3T | | $N_0 / 8$ |
| kT | | $N_0 / 2^k$ |

Representando el número de radionúclidos presentes en una muestra en función del tiempo transcurrido expresado en periodos de semidesintegración obtenemos la siguiente gráfica:

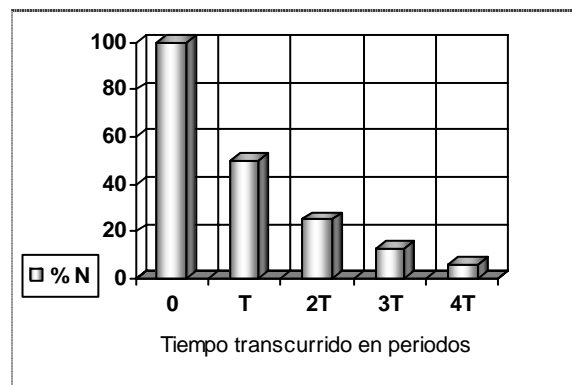


Ilustración 1: Porcentaje de radionucleidos de una muestra en función del tiempo transcurrido expresado en periodos de semidesintegración.

Por ejemplo, el cobalto-60 utilizado en las unidades de cobaltoterapia se transforma mediante un proceso β^- en un estado excitado de níquel-60, que emite dos fotones de energías 1,17 y 1,33 MeV, con un periodo de semidesintegración de 5,27 años, que obliga a sustituir la fuente

radiactiva aproximadamente cada cinco años.

VIDA MEDIA, T

Otro parámetro que nos caracteriza un radioisótopo es la vida media (“mean life” en inglés). Se define como el valor medio de la vida de un átomo radiactivo.

Su relación con la constante de desintegración viene dada por:

$$\tau = 1 / \lambda$$

Y se expresa en unidades de tiempo.

ACTIVIDAD, A

Se define como el número de átomos que se desintegran en la unidad de tiempo. Esta magnitud nos proporciona información sobre lo que emite una muestra radiactiva.

Teniendo en cuenta la definición de actividad y la ley de desintegración radiactiva:

$$A = dN / dt = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

La evolución temporal de la actividad es similar a la disminución exponencial del número de átomos radiactivos de la muestra.

En el Sistema Internacional (S.I), la actividad se mide en desintegraciones por segundo, o s^{-1} , unidad que recibe el nombre de bequerelio o becquerel (Bq). Esta unidad es muy pequeña y frecuentemente se utiliza una unidad especial llamada curio o curie (Ci).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Supongamos por ejemplo, un compuesto radiactivo formado por un radioisótopo con un periodo de 6 horas, si su actividad actual es 2 mCi. ¿Cuál será su actividad al cabo de un día?

$$\lambda = \ln 2 / T = 0,693 / 6 \text{ h} = 0,1155 \text{ h}^{-1}$$

$$A = 2 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,1155 \cdot 24} = 0,125 \text{ mCi}$$

Se puede hacer el cálculo más fácil teniendo en cuenta que un día corresponde a 4 periodos de semidesintegración y que en cada periodo la actividad se queda reducida a la mitad:

$$A = 2 \cdot 10^{-3} / 2^4 = 0,125 \text{ mCi}$$

ACTIVIDAD ESPECÍFICA

Dos muestras radiactivas con el mismo tipo de radioisótopos, tendrán diferente actividad, dependiendo del número de átomos presentes en cada muestra, ya que la que tenga mayor número de radionúclidos sufrirá mayor número de transformaciones.

Para conocer la actividad de cualquier sustancia independientemente del número de átomos presentes, se define la magnitud actividad específica de una muestra radiactiva como la actividad por unidad de masa o el número de desintegraciones por unidad de tiempo y por unidad de masa.

En el sistema internacional se mide en Bq/kg. Aunque frecuentemente se mide en Bq/g y en Ci/g.

BIBLIOGRAFÍA

1. Xavier Ortega Aramburu, Jaume Jorba Bisbal. Las radiaciones ionizantes. Su utilización y riesgos. Barcelona. Edicions UPC. 1995.
2. Alejo Vidal-Cuadras Roca, Manuel R. Ortega Girón. Radiactividad e interacción de la radiación con la materia. Barcelona. Universidad Autónoma. 1986.
3. S. Burbano de Ercilla, E. Burbano García, C. Gracia Muñoz. Física General. Zaragoza. Mira editores. 1993.
4. Faiz M. Khan. The Physics of Radiation Therapy. Baltimore. Williams & Wilkins. 1984.
5. Agustín Tanarro Sanz. Radiaciones Ionizantes Instalaciones Radiactivas y de Rayos X. Madrid. Ediciones JEN. 1986.

CUESTIONARIO (Capítulos. 5 y 6)

1. **La luz, los rayos X y los rayos γ :**
 - a) Son partículas materiales.
 - b) Constituyen fenómenos de muy distinta naturaleza.
 - c) Son ondas electromagnéticas.
 - d) Tienen el mismo poder de penetración en la materia.

- 2. Los rayos X característicos:**
- Tienen espectro continuo.
 - Se producen al desacelerarse electrones.
 - Tienen energías del orden de MeV.
 - Se originan al rellenarse en el átomo vacantes electrónicas en capas electrónicas profundas.
- 3. Los rayos X de frenado o bremsstrahlung:**
- Se producen al rellenarse vacantes electrónicas en capas profundas.
 - Son emitidos cuando se frenan electrones en movimiento.
 - Tienen espectro de líneas o discreto.
 - Su energía es siempre del orden del MeV.
- 4. Los tubos de rayos X emiten:**
- Electrones exclusivamente.
 - Solo fotones monoenergéticos.
 - Un espectro continuo de fotones.
 - Electrones y fotones.
- 5. Las radiaciones electromagnéticas:**
- Tienen una frecuencia constante.
 - Viajan a la misma velocidad en todos los medios.
 - Tienen la misma longitud de onda.
 - En el vacío, tienen una velocidad de $3 \cdot 10^8$ m/s.
- 6. El espectro electromagnético:**
- Comprende únicamente los rayos X y los rayos γ .
 - Es un fenómeno paranormal presente en la naturaleza
 - Es el conjunto ordenado de la radiación electromagnética.
 - Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.
- 7. La radiación electromagnética:**
- Se comporta como una onda cuando se propaga.
 - Se comporta como partícula cuando interacciona con la materia.
 - El cuanto de la radiación electromagnética es el fotón.
 - Todo lo anterior es correcto.
- 8. Podemos decir sobre la radiactividad que es un proceso:**
- Espontáneo.
 - Se produce al calentar un isótopo.
 - A bajas temperaturas no se produce.
 - Depende de la presión y la temperatura.
- 9. Sabemos que la radiactividad fue descubierta en 1896, por:**
- Rutherford y colaboradores.
 - Madam Curie.
 - Becquerel.
 - Roentgen.
- 10. Cuando un nucleido emite una partícula α se transforma en otro nucleido:**
- Con igual número másico y número atómico disminuido en dos unidades.
 - Con un número másico disminuido en 4 unidades y con el mismo número atómico.
 - Con un número másico 2 unidades menor y un número atómico 2 unidades menor.
 - Con un número másico 4 unidades menor y un número atómico 2 unidades menor.
- 11. Cuando un nucleido emite una partícula β^- , se transforma en otro nucleido:**
- De igual número másico y con un número atómico aumentado en la unidad.
 - De igual número másico y con un número atómico disminuido en la unidad.
 - De número másico aumentado la unidad y con un número atómico aumentado en la unidad.
 - De número másico aumentado la unidad y con un número atómico disminuido en la unidad.
- 12. Cuando un nucleido se transforma espontáneamente en otro nucleido de igual número másico y con un número atómico disminuido en la unidad, sabemos que se trata de:**
- Radiación γ .
 - Radiación β^- .
 - Captura electrónica o radiación β^+ .
 - Radiación α .
- 13. Al hablar del periodo de semidesintegración de un radioisótopo, nos referimos a:**
- Su vida media.
 - El tiempo que ha de transcurrir para que el número de átomos radiactivos de la muestra se reduzca a la mitad.
 - La constante de desintegración radiactiva.
 - Al producto de la vida media por el $\ln 2$.
- 14. Conocer la actividad de una muestra radiactiva, supone conocer:**
- El número de átomos que se desintegran en la unidad de tiempo, por unidad de volumen.
 - El número de átomos desintegrados por unidad de tiempo y unidad de masa.
 - El número de átomos transformados en la unidad de tiempo.
 - La energía emitida por unidad de tiempo.
- 15. Una muestra radiactiva de 1 Ci tiene:**
- $3,7 \cdot 10^{15}$ Bq
 - $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
 - 3,7 mBq
 - 3700 Bq

CAPÍTULO 7: RESONANCIA Y ULTRASONIDO-ECO.

Javier González González.

INTRODUCCIÓN

Los avances científicos de la segunda mitad del pasado siglo trajeron nuevas formas de visualizar el interior del cuerpo humano como alternativa a los rayos X.

Las leyes físicas de la transmisión y reflexión de las ondas sonoras, en las que se basan los sistemas de ecolocalización que poseen algunos mamíferos, como los delfines o los murciélagos, sirvieron para desarrollar la ecografía.

Los principios físicos en los que se basa la Resonancia Magnética (RM) no son tan evidentes e implican disciplinas tales como el espín nuclear, el electromagnetismo, la superconductividad, etc.

LA ECOGRAFÍA

Si en un medio material se produce una perturbación, esta se propaga mediante choques sucesivos de las partículas que conforman dicho medio. Se producen así ondas de presión que transportan la energía que dio origen a la perturbación por todo el volumen. Cuando la frecuencia de estas ondas está en el rango de entre 20 y 20.000 Hercios (Hz) se denominan ondas sonoras o sonido. Las ondas de frecuencias superiores (hasta los 100.000 Hz) se denominan ultrasonidos y son las que tienen interés clínico.

En cada tipo de material el sonido tiene una velocidad característica de propagación, que depende principalmente de su densidad. A mayores densidades la velocidad del sonido es mayor también.

Cuando una onda sonora tropieza con una interfase de separación entre dos medios de densidades diferentes, parte de la onda se propaga al segundo medio y el resto de la onda se refleja. La proporción entre la intensidad de la onda transmitida y la onda reflejada depende únicamente de las densidades de ambos medios.

Para aprovechar estos principios físicos en la obtención de imágenes con interés

diagnóstico es necesario contar con un dispositivo, denominado *transductor*, capaz de transformar señales eléctricas de alta frecuencia en vibraciones de la misma frecuencia. Y viceversa, cuando el transductor capta alguna vibración la convierte en impulsos eléctricos.

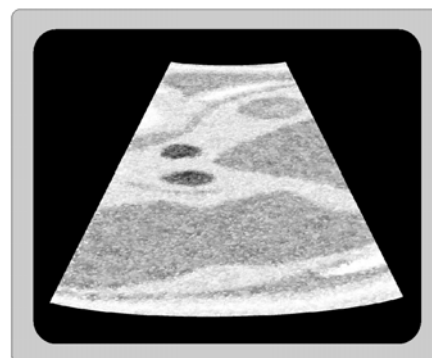


Ilustración 1: Correspondencia entre un corte de TC y su imagen ecográfica.

El sistema es el siguiente: una señal eléctrica de una frecuencia determinada se transforma en ultrasonidos mediante el *transductor*, para que esta onda se propague, se aplica al paciente un gel conductor de las vibraciones. La onda sonora, se va transmitiendo y reflejando cada vez que encuentra una discontinuidad en los tejidos (músculo, grasa, aire, sangre, hueso, etc.). Las ondas reflejadas en cada interfase (el eco) retornan al transductor que las vuelve a convertir en pulsos eléctricos. Analizando la intensidad y el retardo de estos pulsos de retorno se forma la imagen.

Al traducir la intensidad de los pulsos recibidos en una escala de grises se definen las estructuras internas del organismo. Así el hueso, que produce mucho eco (ecogénico), se muestra en color blanco y el líquido libre, que no genera eco, aparece casi negro.

El retardo es el tiempo que transcurre desde que se envía la señal y se recibe el pulso de retorno. Da información de la posición a la que se encuentra cada estructura anatómica.

La ecografía es una técnica de imagen no invasiva, indolora, de realización rápida, bajo coste y con elevada efectividad, entre otras ventajas. Permite valorar partes blandas obteniendo imágenes de los órganos con la suficiente resolución como para poder analizar su tamaño, forma, contenido o funcionalidad según los casos.

Ecografía Doppler

El efecto Doppler se puede observar en gran variedad de situaciones cotidianas, por ejemplo, permite conocer si un vehículo se está acercando o alejando del observador debido a que la frecuencia del sonido del motor aparece más alta (aguda) en el primer caso y mas baja (grave) en el segundo.

La ecografía doppler clínica aplica este fenómeno físico para discriminar si el eco recibido ha sido reflejado por un medio estacionario o en movimiento (sangre en circulación), y este último caso, si se acerca o se aleja. Si la frecuencia del eco es diferente que la frecuencia de la señal emitida, es que el eco ha sido producido por sangre circulante.

La sangre en movimiento se representa en colores, normalmente rojo y azul, para distinguirla bien del resto de la imagen que aparece en blanco y negro.

La ecografía doppler permite observar la vascularización de tejidos, órganos y tumores, aunque su principal aplicación son los estudios hemodinámicos.

LA RESONANCIA MAGNÉTICA

Para obtener imágenes mediante RM lo primero que se debe hacer es alinear los momentos magnéticos de los núcleos de hidrógeno mediante un potente campo

magnético (B_0) generado por una bobina superconductora.

En estas condiciones los protones de los tejidos presentan dos estados de espín: en sentido paralelo al campo magnético (estado menos energético) y en sentido antiparalelo (estado más energético). El número de protones en cada estado es aproximadamente el mismo, aunque existe siempre un pequeño predominio (unas partes por millón) de estados de baja energía.

En ambos casos el eje magnético del protón no permanece estacionario, sino que precesa² con una frecuencia determinada, denominada *frecuencia de Larmor* (ω_L), en torno a la dirección del campo magnético B_0 .

El valor de la frecuencia de Larmor es proporcional al campo magnético en el que el protón se halla inmerso:

$$\omega_L = cte \cdot B$$

Donde B es la suma de todos los campos magnéticos: el aplicado B_0 más otros campos, que pueden ser producidos por los tejidos o por la propia máquina.

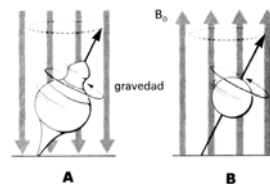


Ilustración 2: Movimiento de precesión, similar al de una peonza

El paso siguiente consiste en promocionar a todos los protones hacia el estado de mayor energía, para lo cual se emite una señal de radio de frecuencia exactamente igual a ω_L . En esto consiste el fenómeno de la resonancia, en la capacidad que tienen los protones de absorber la energía de una onda electromagnética si esta está sintonizada a la frecuencia de Larmor. Además, con esto se consigue otro efecto muy importante: que los espines se pongan todos en la misma fase de precesión (como si un grupo de peonzas sincronizaran sus giros para apuntar todas a la vez en la misma dirección).

² movimiento parecido al de una peonza.

Cuando se deja de aplicar la señal de excitación, el conjunto se relaja y reemite el exceso de energía en forma de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia. Aparecen así dos señales diferenciadas: al regresar la mitad, más o menos, de los protones al estado de menor energía se emite la onda *longitudinal* o T_1 y al desfasarse de nuevo la precesión de los protones se emite la señal denominada *transversal* o T_2 .

La intensidad de las señales T_1 y T_2 será función de la densidad de protones de cada tipo de tejido según se trate de lípidos, proteínas, agua u otras moléculas ricas en hidrógeno.

Para traducir estos procesos físicos en una imagen que sirva para obtener información diagnóstica, es preciso descomponer el volumen total del paciente en pequeñas unidades de volumen denominadas *voxels*.

Lo que se hace es obligar a que en cada instante sólo los protones de uno de estos *voxels* oscilen con la fase y la frecuencia adecuadas. Esto se consigue con la ayuda de otros tres campos magnéticos de baja intensidad: B_x , B_y y B_z , que son aplicados sucesivamente en las tres direcciones del espacio. Se les denomina *campos de gradiente*, que significa simplemente que el valor de estos campos depende de la posición.

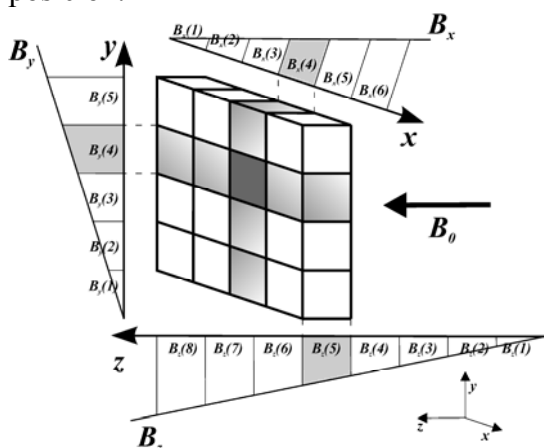


Ilustración 3: Esquema de la sección transversal de un objeto en la que se aprecian los diferentes *voxels*. Para seleccionar este corte axial, se ha elegido el valor 5 del campo de gradiente B_z . Después mediante el campo de gradiente B_y se determina la fila de valor 4, análogamente B_x fija la columna en este caso también la de valor 4.

Al relajarse los protones, se emiten las señales T_1 y T_2 que serán captadas por las antenas del dispositivo, sintonizadas a la frecuencia de Larmor de ese elemento de volumen seleccionado. Uno tras otro, de forma consecutiva, se van eligiendo los elementos de volumen que interesen hasta completar el estudio.

El contraste de la imagen de RM se debe a la traducción de las señales recogidas por las antenas en niveles de gris. Así, el negro corresponde a una ausencia de señal y el color blanco a una señal de intensidad muy elevada.

Los tres factores que intervienen en la amplitud de la señal son T_1 , T_2 (hasta un 100 %) y la densidad de protones (3 %). El operador puede optimizar la imagen final mediante la elección de los parámetros adecuados en cada estudio.

Ventajas de la Resonancia Magnética

La RM, aparte de ser un método inocuo y no invasivo, permite obtener imágenes tomográficas (lonchas de estructuras) en cualquier plano y dirección del espacio. Su resolución (capacidad de distinguir tejidos de diferente composición) es cientos de veces superior a la de cualquier otra técnica radiográfica o ultrasónica (< 1 mm). Además, el hecho de poder jugar con el contraste de las diferentes señales permite visualizar un tejido en toda la gama posible de grises, pudiendo incluso anular su señal.

BIBLIOGRAFÍA

1. B. Kastler, D. Vetter, A. Gangi. Principios de RM. Manual de Autoaprendizaje. Masson.
2. Javier Lafuente. Atlas de Tecnología de la Resonancia Magnética. Lab. Mallinckrodt.
3. Mark Fischetti. Técnicas de Formación de Imágenes. Rev Investigación y Ciencia. Febrero 2005.
4. Sandra L. Hagen-Ansert. Ecografía Diagnóstica. Atlas de Posiciones Radiográficas y Procedimientos Radiográficos. P.W. Ballinger. Masson.

CAPÍTULO 8. MAGNITUDES Y UNIDADES.

Juan Tuset Castellano.

INTRODUCCIÓN

Como en cualquier rama de la Física, para utilizar las radiaciones ionizantes es necesario definir un conjunto de parámetros, magnitudes y unidades que nos permitan caracterizarlas, medirlas y a fin de cuentas trabajar con ellas de forma segura.

Magnitud es todo aquello que puede ser medido. Por ejemplo: la masa, el tiempo, la velocidad, etc. Mientras que unidad de una magnitud es la cantidad de la misma que tomamos como patrón o referencia para compararla con otras cantidades de esa misma magnitud en el proceso que llamamos medida.

Medir es el proceso de comparar dos magnitudes de la misma especie.

Cada cantidad de una magnitud se expresa como el producto de un valor numérico y una unidad.

La Comisión Internacional de Medidas y Unidades Radiológicas (ICRU) define las magnitudes y unidades empleadas en el campo de las radiaciones ionizantes.

MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS

Cuando se miden cantidades muy grandes o muy pequeñas de una magnitud en relación a su unidad, aparecen números muy grandes o muy pequeños. Para trabajar de forma cómoda con estas cifras utilizamos los múltiplos y submúltiplos de las unidades. Se nota anteponiendo al nombre de la unidad un prefijo. Los más usuales son los siguientes:

| Múltiplos | | |
|-----------|---------|---------|
| Factor | Prefijo | Símbolo |
| 10^{18} | exa | E |
| 10^{15} | peta | P |
| 10^{12} | tera | T |
| 10^9 | giga | G |
| 10^6 | mega | M |
| 10^3 | kilo | k |
| 10^2 | hecto | h |
| 10^1 | deca | dc |

| Submúltiplos | | |
|--------------|---------|---------|
| Factor | Prefijo | Símbolo |
| 10^{-1} | deci | d |
| 10^{-2} | centi | c |
| 10^{-3} | mili | m |
| 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{-9} | nano | n |
| 10^{-12} | pico | p |
| 10^{-15} | femto | f |
| 10^{-18} | atto | a |

Ejemplos: $1000 \text{ g} = 10^3 \text{ g} = 1 \text{ kg}$

$0.000001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m} = 1 \mu\text{m}$

$1000000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$

SISTEMA INTERNACIONAL

La ICRU recomienda el uso del Sistema Internacional de Unidades, SI. En este sistema las unidades básicas son el metro para la longitud, el kilogramo para la masa, el segundo para el tiempo, el amperio para la corriente eléctrica, el kelvin para la temperatura, el mol para la cantidad de sustancia y la candela para la intensidad luminosa.

MASA, ENERGÍA Y CARGA

En el SI la unidad de masa es el kilogramo, kg, pero a nivel atómico se define la unidad de masa atómica, u (uma), como la doceava parte de la masa del átomo de carbono doce, $^{12}_6\text{C}$.

$1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Para la energía la unidad en el SI es el julio, J, ($1 \text{ J} = 1 \text{ kgxm}^2/\text{s}^2$) pero por comodidad se utiliza el electrón-voltio, eV, definido como la energía que adquiere un electrón cuando se le somete a la diferencia de potencial de un voltio.

$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

El culombio es la unidad de carga en el SI, pero resulta más práctico el uso de la carga eléctrica del electrón, e.

$1 \text{ e} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

TRANSFERENCIA LINEAL DE ENERGÍA (LET)

Cuando las partículas cargadas atraviesan un medio material pierden su energía progresivamente debido a las ionizaciones y excitaciones de los átomos del medio y a la radiación de frenado. La LET es la energía perdida localmente por las partículas cargadas debida a las ionizaciones y excitaciones de los átomos del medio por unidad de longitud. No se contabiliza la energía cinética de los electrones liberados que exceden un cierto valor Δ , pues su energía se considera que escapa y no se deposita localmente.

$$LET = dE_{\Delta} / dl$$

Se expresa en unidades de julio/metro (J/m). Es frecuente utilizar el submúltiplo Mega electrón-voltio/centímetro (MeV/cm).

EXPOSICIÓN, X

Se define para fotones en aire, como el valor absoluto de la carga de todos los iones de un mismo signo producidos en aire por unidad de masa.

$$X = dQ / dm$$

Unidad en el SI: culombio/kilogramo (C/kg). La unidad tradicional de exposición, ya en desuso, es el roentgen, R.

$$1 R = 2.58 \cdot 10^{-4} C/kg$$

La tasa de exposición se define como la exposición por unidad de tiempo. Su unidad es C/kg·s

DOSIS ABSORBIDA, D

Es la energía media depositada en un material por unidad de masa.

$$D = dE / dm$$

Su unidad es julio/kilogramo (J/kg) y recibe el nombre de gray (Gy).

$$1 Gy = 1 J/kg$$

La tasa de dosis absorbida es la dosis absorbida por unidad de tiempo. Su unidad es Gy/s

DOSIS EQUIVALENTE, H

Los efectos biológicos producidos por la radiación dependen de las características de la radiación incidente (tipo de radiación y energía que determinan su LET). Se define la dosis equivalente como el producto de la dosis absorbida, por un factor de

ponderación que tiene en cuenta el tipo de radiación.

$$H = w_R \cdot D$$

Donde w_R es el factor de ponderación de la radiación que tiene en cuenta la eficacia biológica relativa de la radiación para inducir efectos estocásticos a bajas dosis.

| Radiación | w_R |
|--------------------------------------|-------|
| Rayos X, rayos γ , electrones | 1 |
| Protones | 5 |
| Neutrones (hasta 10 keV) | 5 |
| Neutrones (entre 10 y 100 keV) | 10 |
| Neutrones (entre 100 keV y 2 MeV) | 20 |
| Neutrones (entre 2 y 20 MeV) | 10 |
| Neutrones (más de 20 MeV) | 5 |
| Partículas α , iones pesados | 20 |

La unidad en el SI es el julio/kilogramo (J/kg), que recibe el nombre especial de sievert, (Sv).

$$1 Sv = 1 J/kg$$

La tasa de dosis equivalente es la dosis equivalente por unidad de tiempo. Su unidad es Sv/s

DOSIS EFECTIVA, E

Cada órgano o tejido tiene distinta sensibilidad a la radiación. Para evaluar el detrimento o daño al individuo causado por la irradiación de varios órganos se define la dosis efectiva, como la suma de las dosis equivalentes, recibidas en cada órgano, multiplicadas por un factor de ponderación del tejido.

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

Donde H_T es la dosis equivalente recibida en el tejido T, y w_T es el factor de ponderación del tejido T, que representa la contribución relativa del órgano o tejido T al detrimento total consecuencia de la irradiación uniforme de todo el cuerpo.

| Órgano o tejido | w_T |
|---|-------|
| Gónadas | 0.20 |
| Médula ósea, colon, pulmón, estómago | 0.12 |
| Vejiga, mama, hígado, esófago, tiroides | 0.05 |
| Piel, superficie ósea | 0.01 |
| Resto | 0.05 |

La dosis efectiva se mide en sievert, Sv.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Internacional de Protección Radiológica. ICRP-60. Recomendaciones 1990. Madrid. Edicomplet S.A. 1995.
2. Comisión Internacional de Medidas y Unidades de Radiación. ICRU Report 60. Magnitudes y Unidades Fundamentales para la Radiación Ionizante. Almería. Servyimagen Union, S.L.
3. Xavier Ortega Aramburu, Jaume Jorba Bisbal. Las radiaciones ionizantes. Su utilización y riesgos. Barcelona. Edicions UPC. 1995.
4. S. Burbano de Ercilla, E. Burbano García, C. Gracia Muñoz. Física General. Zaragoza. Mira editores. 1993.

CUESTIONARIO

- 1) **El sievert/año es una unidad de:**
 - a) Tasa de dosis
 - b) Exposición en unidades del S.I.
 - c) Tasa de dosis equivalente
 - d) Tasa de actividad
- 2) **La unidad en el SI de dosis equivalente se simboliza mediante:**
 - a) Gy
 - b) Sv
 - c) C/kg
 - d) St
- 3) **R es símbolo de una unidad de:**
 - a) Exposición
 - b) Tasa de exposición
 - c) Tasa de dosis absorbida
 - d) Dosis equivalente
- 4) **Una dosis de 1 Gy, producida por partículas alfa, corresponderá a una dosis equivalente de:**
 - a) 2000 R
 - b) 2000 mSv
 - c) 200 Sv
 - d) $2 \cdot 10^4$ mSv
- 5) **Señalar en qué caso un sujeto expuesto a rayos X recibe más dosis:**
 - a) 2,5 mR/h durante 40 horas
 - b) 6 R/h durante 2 minutos
 - c) 10 mR/min durante 2 horas
 - d) 50 mR/h durante 8 horas
- 6) **El eV y la uma son respectivamente unidades de _____ y _____.**
- 7) **La unidad actual para medir la tasa de exposición, es:**
 - a) Segundo/kg
 - b) Rad/seg.
 - c) Gy/seg
 - d) Culombio/kg·seg.
- 8) **Para tener en cuenta la sensibilidad de cada órgano frente a la radiación, se define:**
 - a) La exposición
 - a) La dosis absorbida
 - b) La dosis equivalente
 - c) La dosis efectiva
- 9) **El factor de ponderación de los rayos X y rayos γ es:**
 - a) 10
 - b) 100
 - c) 5
 - d) 1
- 10) **Cuando se habla de siervert nos referimos a:**
 - a) Dosis absorbida
 - b) Dosis equivalente
 - c) Dosis efectiva
 - d) La b) y la c) son correctas
- 11) **La dosis absorbida de 1Gy de neutrones de 1 MeV, representa una dosis equivalente de:**
 - a) 1 Sv
 - b) 10 Sv
 - c) 20 Sv
 - d) 40 Sv
- 12) **Una dosis absorbida de 20 Gy de fotones representa una dosis equivalente de:**
 - a) 10 Sv si tienen poca energía.
 - b) 40 Sv para energía media.
 - c) 80 Sv para energía alta.
 - d) 20 Sv independientemente de la energía.

CAPÍTULO 9. INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA.

Javier González González.

INTRODUCCIÓN

La descripción microscópica de la interacción de la radiación con la materia, nos lleva a abordar la naturaleza discreta de la materia y las peculiares propiedades de la mecánica cuántica con su carácter probabilista. Es en el microcosmos del átomo y sus componentes donde se produce el intercambio de energía entre las partículas que conforman la radiación y los átomos que componen la materia ordinaria. A este nivel, la magnitud fundamental en la interacción radiación-materia es la *sección eficaz* (σ), que representa la probabilidad de que se produzca algún proceso de interacción entre un haz de radiación y un solo átomo de un material dado.

Cada una de estos diferentes procesos de interacción depositará la energía en un pequeño volumen de material. Este fenómeno se denomina *depósito de energía*, y representa la energía cinética que la partícula incidente pierde y que se deposita en el punto de interacción.

Desde el punto de vista macroscópico se observa que la radiación al incidir sobre la materia y atravesarla pierde intensidad, es decir, se atenúa. Las leyes de la física clásica que rigen estos procesos se centran en dos conceptos fundamentales: cuanta energía absorbe el medio material y que cantidad de radiación es capaz de atravesar un determinado espesor de material.

INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA

La radiación electromagnética está formada por *cuantos* o paquetes de energía llamados fotones que no tienen ni masa ni carga eléctrica. Los fotones son los vectores (mensajeros) que portan la energía y la cantidad de movimiento que emiten las partículas cargadas al modificar su estado cuántico, por ejemplo, cuando un electrón cambia de orbital.

Del mismo modo las partículas con carga, al interaccionar con los fotones, siempre modifican su estado, pues absorben una parte o la totalidad de la energía y la cantidad de movimiento que estos transportan.

Para el rango de energía en que los fotones se consideran radiación ionizante³ se producen fundamentalmente tres tipos de interacción: *el efecto fotoeléctrico*, *el efecto Compton* y *la creación de pares*. La probabilidad de que ocurra cualquiera de ellos dependerá de la energía del fotón y del material con el que interaccione.

Efecto fotoeléctrico

Este fenómeno consiste en la **absorción total** de un fotón por un electrón muy ligado. Como consecuencia de esto, el electrón, que **absorbe completamente** la energía que portaba el fotón, abandona su orbital y queda libre.

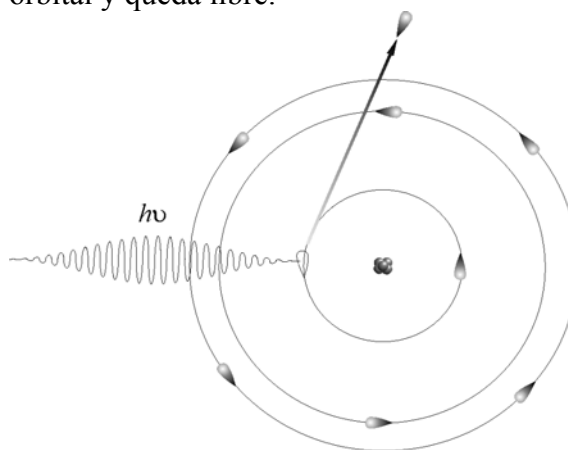


Ilustración 1: Esquema del efecto fotoeléctrico.

La energía cinética que consigue el electrón es la diferencia entre la que portaba el fotón y la energía de ligadura que lo unía al átomo.

La probabilidad de ocurrencia del efecto fotoeléctrico es muy grande cuando los fotones son de baja energía o tienen una

³ Para estas energías, la radiación electromagnética se denomina Rayos X, si los fotones provienen de transiciones en la corteza atómica o Rayos γ si provienen de la desexcitación del núcleo atómico.

energía similar a la que liga al electrón con el átomo (resonancia).

Además, la dependencia de este proceso con la densidad de electrones crece al cubo ($\sigma_{\text{fotoeléctrico}} \propto Z^3$). Así, el plomo con $Z=82$ (cada átomo de plomo tiene 82 electrones), presenta una sección eficaz para el efecto fotoeléctrico 1000 veces más grande que la del oxígeno con $Z=8$.

Efecto Compton

Este proceso es el más probable para fotones con energía de rango medio (entre 10 keV y 10 MeV). Se caracteriza porque un fotón es dispersado por un electrón poco ligado al núcleo, transfiriéndole sólo **una parte de su energía** y cantidad de movimiento. El resultado es similar a lo que ocurre cuando chocan dos bolas de billar: el fotón cede parte de su energía y modifica su trayectoria, y el electrón se acelera y abandona el átomo al absorberlas.

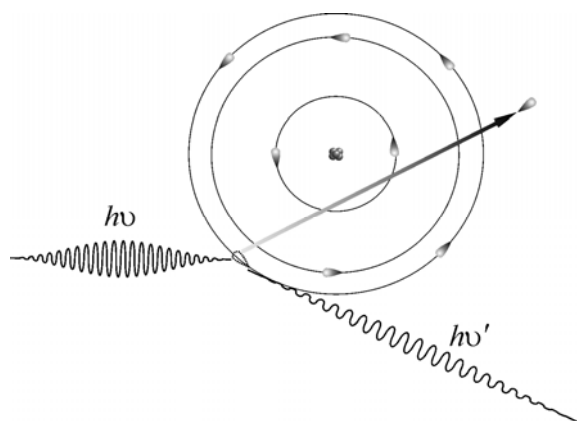


Ilustración 2: Esquema del Efecto Compton.

La dependencia del efecto Compton con la densidad electrónica del material blanco es lineal ($\sigma_{\text{Compton}} \propto Z$).

Creación de pares

Los fotones con una energía superior a 1,022 MeV pueden desintegrarse y convertirse en un par electrón-positrón⁴ (cada uno de ellos con una masa de 0,511 MeV), en virtud de la ley $E = m \cdot c^2$.

Para que se verifique este proceso de transformación de energía en masa es necesario que el fotón atravesase un campo

eléctrico muy intenso, como el producido por un núcleo pesado. Así, la probabilidad de que ocurra el efecto fotoeléctrico depende de la carga de los núcleos del material blanco, proporcionalmente al número atómico al cuadrado ($\sigma_{\text{pares}} \propto Z^2$).

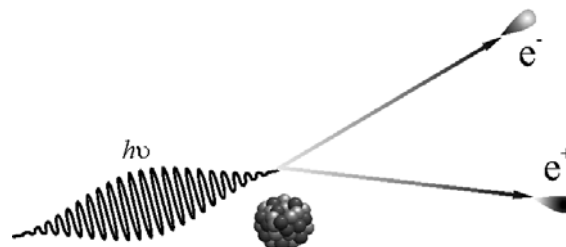


Ilustración 3: Esquema de la creación de pares.

La *sección eficaz total* es la suma de las tres:

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{pares}} + \sigma_{\text{Compton}} + \sigma_{\text{fotoeléctrico}}$$

Coefficiente de atenuación lineal

Cuando un haz monoenergético de radiación electromagnética atraviesa un espesor determinado de un material dado, la proporción de fotones que consigue atravesarlo es siempre idéntica.

Se define así, la *capa hemirreductora (HVL)*⁵ de un material dado, como el espesor capaz de reducir a la mitad el número de fotones de un haz monoenergético que atraviesase el material.

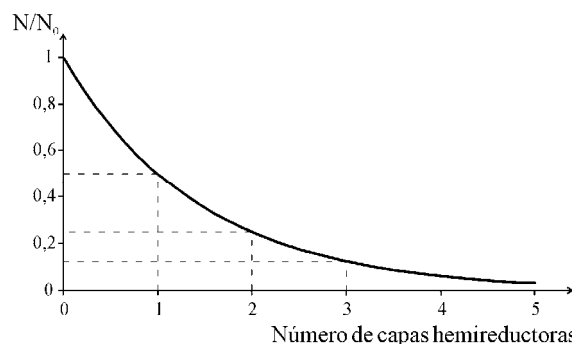


Ilustración 4: Curva exponencial que representa el número de fotones en cada punto entre el número inicial de estos (N/N_0) frente a la profundidad en un material dado.

Si se colocan varias capas hemirreductoras seguidas, la primera reduciría a la mitad el número de fotones

⁴ El positrón es la antipartícula del electrón, tiene su misma masa pero la carga cambiada de signo.

⁵ Del inglés Half Value Layer

incidentes, la segunda a la cuarta parte, la tercera a la octava, y así sucesivamente. El número de fotones que tendríamos en cada punto, vendría definido por una ley exponencial decreciente.

El *coeficiente de atenuación lineal* (μ), de un material dado para un haz monoenergético, es la probabilidad de que un fotón del haz interaccione por unidad de longitud. Suele expresarse en cm^{-1} y es directamente proporcional a la *sección eficaz total*. Se relaciona con el espesor de capa hemirreductora por la expresión:

$$\mu = \frac{0,693}{HVL}$$

Para dos materiales dados, el que tenga un mayor coeficiente de atenuación lineal, será el menos permeable a la radiación.

INTERACCIÓN DE LAS PARTÍCULAS CARGADAS CON LA MATERIA

El átomo que visto desde lejos es eléctricamente neutro, posee campos eléctricos muy intensos en su interior, producidos por los electrones corticales y el núcleo. Estos campos, actúan sobre las partículas cargadas incidentes, obligándolas a decelerarse y transmitiendo así, parte de su energía cinética al medio. Existen tres tipos de interacciones entre las partículas cargadas incidentes y los átomos del medio: *colisión elástica*, *inelástica* y *radiativa*.

En la *colisión elástica* se conserva la energía total, y la energía cinética de la partícula incidente se transforma en calor.

En la *colisión inelástica* parte de la energía cinética de la partícula incidente se invierte en producir excitaciones e ionizaciones en los átomos del medio.

La *colisión radiativa* implica la emisión de fotones de frenado.

Las partículas cargadas incidentes van perdiendo energía de forma continua tras cada una de las múltiples interacciones a las que se ven sometidas en su trayectoria. Debido a esto, para un tipo de partículas con cierta energía y un material dado, éstas

sólo pueden alcanzar en él una profundidad máxima determinada, denominada *alcance*.

A la cantidad de energía cedida por las partículas cargadas por unidad de longitud en un medio se le denomina *transferencia lineal de energía* (LET).

Electrones

Los electrones son las partículas cargadas con menor masa. Por ello, para una determinada energía, su *alcance* es más alto (del orden de algunos centímetros en agua) que el de cualquier otra partícula. También por su baja masa, son fácilmente desviadas de su trayectoria por los núcleos atómicos. Estos cambios de dirección implican que, para que se conserve la cantidad de movimiento total, deben emitirse fotones (*colisión radiativa*). La radiación electromagnética que se produce al chocar los electrones contra un blanco se denomina *radiación de frenado*. Esta es la radiación que emiten los tubos de rayos X, como los utilizados en diagnóstico.

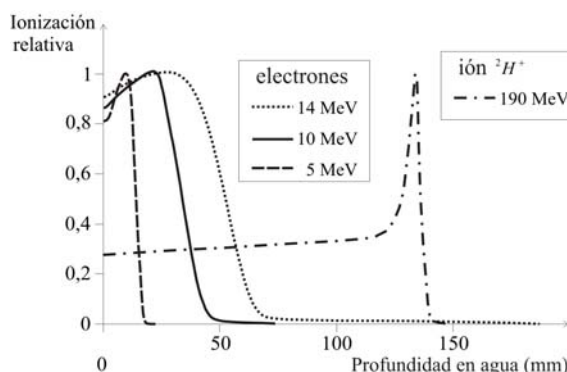


Ilustración 5: Curvas de ionización relativa frente a profundidad en agua. Los haces de electrones se midieron en un acelerador lineal de uso clínico. Las colas de las curvas están producidas por la radiación de frenado. Se muestra en comparación la curva de un haz de deuterones de alta energía donde aparece claramente el pico de Bragg.

Partículas pesadas

Estas partículas transfieren poca energía y cantidad de movimiento en cada interacción con los electrones del material blanco, por lo que casi no sufren desviación de su trayectoria al atravesar un medio. Sin embargo, el número de colisiones a las que se van sometidas es muy elevado, por lo que su alcance siempre es muy pequeño.

En cada choque o interacción, la cantidad de energía perdida por la partícula incidente es prácticamente independiente de su velocidad. Pero cuando la partícula está prácticamente frenada, se produce un brusco aumento en la transferencia de energía hasta que esta se detiene completamente. Este aumento de la tasa de energía transferida al medio al final de la trayectoria de las partículas se conoce como *pico de Bragg*.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Allisy, A. Wambersie, R.S. Caswell. ICRU REPORT 60. Magnitudes y Unidades Fundamentales para la Radiación Ionizante. Edición española. Sociedad Española de Física Médica. 2003.
2. Diego E. Burgos, Damián Guirado, José R. Román. Protección Radiológica General. CC.OO. Andalucía.
3. Harold E. Johns, John R. Cunningham. The Physics of Radiology. Charles C Tomas Publisher. Springfield. Illinois. U.S.A.
4. Henry Semat. Física Atómica y Nuclear. Aguilar.

CUESTIONARIO

1.-En el efecto fotoeléctrico la energía del fotón incidente:

- a) Se cede al núcleo atómico expulsando un electrón nuclear.
- b) Se disipa en arrancar un electrón cortical y producir un fotón disperso.
- c) Se cede al átomo, expulsándose un electrón cortical.
- d) Se emite en forma de fotón.

2.-En el blindaje de radiación X deben usarse materiales

- a) De número atómico bajo.
- b) De número atómico alto.
- c) De número atómico intermedio.
- d) No importa el número atómico.

3.-La probabilidad de interacción Compton depende únicamente:

- a) Del número atómico.
- b) De la densidad electrónica del medio.
- c) Del número de neutrones del material blanco.
- d) Las dos primeras son ciertas.

4.-La atenuación que experimenta un haz de fotones al atravesar un espesor dado de material depende:

- a) De la energía de los fotones y también de la naturaleza del material.
- b) De la naturaleza del material y del espesor exclusivamente.
- c) De la distancia entre la fuente de radiación y el material.
- d) Únicamente de la energía de la radiación y de su intensidad.

5.-Colocando entre una fuente radiactiva y un detector un blindaje equivalente a tres capas hemirreductoras, la medida debe reducirse a:

- a) La mitad.
- b) La tercera parte.
- c) La cuarta parte.
- d) La octava parte.

6.-Los rayos X de frenado o Bremsstrahlung:

- a) Se producen al rellenarse vacantes electrónicas en capas profundas.
- b) Son emitidos cuando se frenan electrones en movimiento.
- c) Tienen espectro de líneas o discreto.
- d) Su energía es siempre del orden del MeV.

7.-La interacción Compton se produce fundamentalmente por interacción con

- a) Los núcleos de los átomos.
- b) Electrones muy ligados.
- c) Electrones de valencia.
- d) Los protones de los núcleos de los átomos.

CAPÍTULO 10. CONCEPTOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

Cayetano Fernández Sola

INTRODUCCIÓN

Desde la época de los descubrimientos de los Rayos X y la radiactividad se ponen de manifiesto los efectos nocivos de tales radiaciones. Las personas que participan en las demostraciones con exposición a la radiación y los propios descubridores son los primeros afectados. Baste recordar los casos del ayudante de Edison o de los esposos Curie, quienes sufrieron en su propio cuerpo los efectos de este agente físico frente al que no existía la conciencia de la necesidad de protección. Así lo expresa Pierre Curie en una comunicación a la comunidad científica de los resultados de su propia irradiación:

«La piel comenzó a enrojecer (...); la apariencia era la de una quemadura, (...). Al vigésimo día se formaron costras, (...). Cincuenta y dos días después de la acción de los rayos, queda aún en estado de llaga una superficie de un centímetro cuadrado, que adquiere un aspecto grisáceo, indicando una mortificación más profunda.»

Sin embargo, será con ocasión de graves incidentes bélicos y accidentes nucleares cuando la comunidad científica disponga de un gran “banco de datos” para desarrollar sus investigaciones sobre los efectos biológicos de las Radiaciones Ionizantes (en adelante RI) en el ser humano. En efecto, los supervivientes de las bombas atómicas arrojadas sobre Hiroshima y Nagasaki en la II Guerra Mundial (1945), desarrollaron síntomas y patologías que van desde vómitos, diarrea, hemorragia, alopecia, esterilidad temporal o cataratas a corto plazo; hasta un aumento de las distintas formas de cáncer a largo plazo.

Los accidentes nucleares, entre los que destaca el de la central nuclear de Chernobyl (1986), y los efectos adversos observados en los pacientes sometidos a

tratamientos con radiaciones ionizantes (radioterapia), completan las fuentes de información para el estudio de los efectos biológicos de las RI.

Trataremos, en éste capítulo, los mecanismos y etapas de la acción de la radiación sobre el organismo vivo así como la clasificación de esos efectos biológicos inducidos por las radiaciones ionizantes. En siguientes capítulos profundizaremos en la respuesta a la radiación en los distintos niveles de organización: molecular, celular, tisular y orgánica total (organismo completo).

CARACTERÍSTICAS DE LOS EFECTOS INDUCIDOS POR LA RI.

1. Tipos de acción de la radiación:

- ✓ **Directa** La radiación ionizante interacciona directamente con una macromolécula importante para la célula (principalmente ADN), apareciendo cambios bioquímicos sin reacciones químicas intermedias.
- ✓ **Indirecta.** La radiación deposita su energía en el agua intracelular produciendo hidrólisis y la presencia de radicales libres en el agua que tenderán a reaccionar químicamente y pueden hacerlo con el ADN u otras macromoléculas importantes.

2. No selectivos La interacción de la RI con la materia posee un carácter probabilístico pudiendo afectar a cualquier estructura celular. No obstante, no todas las estructuras poseen la misma importancia para la integridad de la célula si resultan dañadas.

3. Inespecíficos. Los efectos biológicos inducidos por la radiación no son diferentes de los producidas por otros agentes químicos o biológicos (virus, tóxicos, etc.).

ETAPAS DE LA INDUCCIÓN DE EFECTOS BIOLÓGICOS POR LAS RI.

Las radiaciones ionizantes interactúan con la materia constituyente de los organismos vivos produciendo ionizaciones y excitaciones de sus átomos. Esto originará cambios químicos que, de manera directa o indirecta, pueden afectar al ADN celular. Entrarán entonces en juego los mecanismos de reparación del ADN. Las posibilidades son varias (Ilustración 1):

- ✓ Reparación correcta: el ADN, en determinadas circunstancias, es capaz de reparar la radiolesión, en cuyo caso no aparecerá efecto alguno.
- ✓ Reparación incorrecta: si la lesión del ADN afecta a las dos cadenas de nucleótidos, se dificulta la correcta reparación pudiendo aparecer cambios en la secuencia de bases o mutaciones, que serán transmitidas a su descendencia si la célula sobrevive. En este suceso está el origen de los efectos estocásticos.

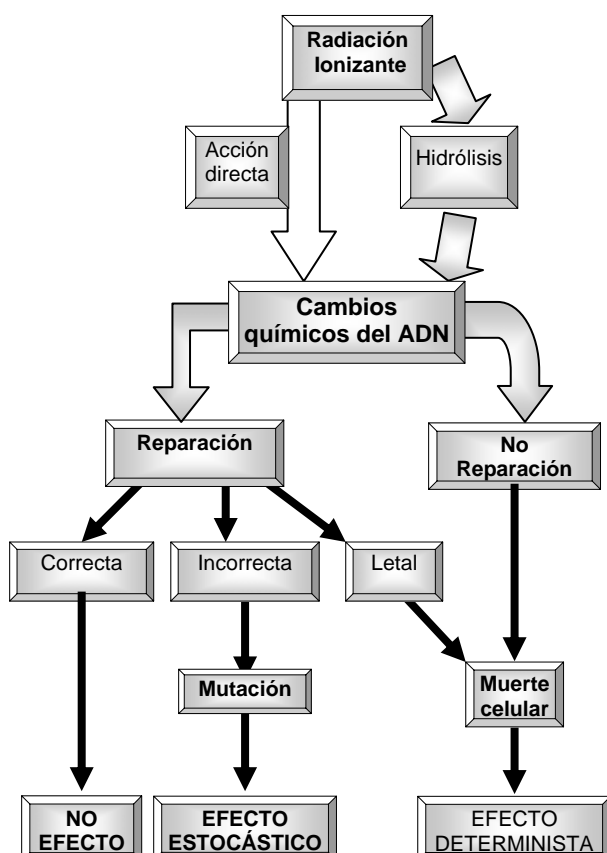


Ilustración 1: esquema de las etapas de la inducción de efectos biológicos

- ✓ Reparación letal: en el mismo supuesto anterior, puede ocurrir que la célula no sobreviva a una reparación grosera del ADN, en cuyo caso sobreviene la muerte celular, que si alcanza a una población suficiente de células puede desencadenar el efecto determinista.
- ✓ No reparación: también desencadena la muerte celular y el efecto determinista si afecta a una población importante.

CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RI

A. SEGÚN QUIEN LOS SUFRE

1. **Somáticos.** Cuando el efecto biológico es padecido por el propio individuo irradiado. Son somáticos todos los efectos deterministas y alguno de los probabilísticos. Ejemplo: dermatitis y cáncer de piel respectivamente.
2. **Sobre el embrión/feto:** cuando una mujer gestante resulta irradiada y el haz de radiación atraviesa el embrión, la muerte de unas pocas células pueden desencadenar efectos severos que se manifestarán en el recién nacido. No pueden considerarse hereditarios.
3. **Hereditarios.** Cuando son irradiadas las células germinales, se pueden producir modificaciones en el código genético de las mismas que se transmiten a sus descendientes (espermatozoides y óvulos). El resultado será un efecto biológico que no sufre el individuo irradiado sino su descendencia. Ejemplo: malformación congénita.

B. SEGÚN EL PERÍODO DE LATENCIA.

1. **Inmediatos.** Aquellos efectos que aparecen tras períodos de latencia breves, del orden de horas o días. Son todos ellos deterministas y requieren altas dosis recibidas de forma aguda.
2. **Retardados o diferidos.** cuando el periodo de latencia es largo, del orden de meses o años. Es el caso de todos los efectos estocásticos (cáncer...) y también de algunos deterministas (queratosis...).

C. SEGÚN LA RELACIÓN DOSIS-RESPUESTA

Como hemos dicho, la deposición de energía por la radiación ionizante en la materia que atraviesa es probabilística, por lo que es posible que dosis muy bajas depositen energía suficiente para que una célula muera o modifique su código genético.

En el primer caso (muerte celular) será necesario un gran número de células afectadas para que tenga consecuencias en el tejido y, por lo tanto, una dosis elevada. En cambio, la mutación de una sola célula puede acabar desarrollando un cáncer, por lo que existen otro tipo de efectos que son posibles a muy bajas dosis. Nos encontramos por tanto ante dos tipos de efectos: estocásticos y deterministas.

1. Efectos Estocásticos. También llamados probabilísticos y haplocíticos. El mecanismo desencadenante es la mutación genética como consecuencia de una reparación incorrecta del ADN dañado, ante la que la célula sobrevive transmitiéndola a su descendencia. La probabilidad de que ocurra depende de la dosis, pero no así su gravedad, que dependerá de otros factores como la localización, etc. Estos efectos pueden presentarse a cualquier dosis recibida, es decir, no requieren ninguna dosis umbral (bastaría la mutación en una sola célula) y suelen ser de aparición tardía. Entre los más destacados está el cáncer.

2. Deterministas o dosisdependientes: antes llamados no estocásticos. El daño resulta de la muerte de un número sustancial de células, para lo que se necesitará una dosis mínima por debajo de la cual el número de células afectadas es insignificante para la aparición del efecto. A esa dosis la llamamos dosis umbral y adquiere un valor distinto para cada tipo de efecto determinista. Si una célula muere, no puede ser responsable de efectos cancerosos o hereditarios, pero si muere una población celular importante

aparecerán los efectos deterministas (policíticos).

| | DETERMINISTA | ESTOCÁSTICO |
|---|---------------------------------|---|
| Gravedad | Depende de la dosis | Independiente de la dosis (la probabilidad depende de la dosis) |
| Mecanismo | Muerte celular (muchas células) | Mutación (una o pocas células) |
| Relación dosis-efecto | Lineal. | |
| Dosis Umbral | SÍ | NO |
| Aparición | Inmediata o tardía | Tardía |
| Ejemplo Somático Hereditario | Anemia, Alopecia NO EXISTEN | Cáncer Retraso mental |

Tabla 1: Cuadro resumen de la clasificación de efectos biológicos según la relación dosis respuesta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ballinger PW. Atlas de posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos. Barcelona: SALVAT MASSON; 1993.
2. Burgos Trujillo D, Vilchez Pacheco M, Guirado Llorente D. Protección Radiológica General. Almería; Edicon; 1998.
3. Cuenca Solanas M, Alted López E, Novillo-Fertrell P. Efectos nocivos causados por las radiaciones ionizantes. En: Blanco Coronado JL editor. Impacto medioambiental en la salud Granada: Némesis; 1999. p 289-299.
4. Kereller AM. Risk estimates for radiation-induced cancer. The epidemiological evidence. Radiation and Environmental Biophysics. 2000; 39 (1): 17- 24.
5. Lledó Rodríguez F. Radiaciones ionizantes: efectos y protección. Inquietudes. 1995 (2): 21-21.
6. Ortega Aramburu X, Jorba Bisbal J. Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos-I. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL; 2000.
7. Prieto Baena MS. Radioterapia: efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Enferm Docente. 1993 (48): 32-36.

CAPÍTULO 11. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL MOLECULAR DE ORGANIZACIÓN.

Cayetano Fernández Sola

INTRODUCCIÓN

Hemos considerado las radiaciones constituidas por paquetes de energía (fotones) que se desplazan a la velocidad de la luz ($c = hv = 3 \times 10^{10}$ cm/seg). Cada una se caracteriza por su energía, determinada por su frecuencia.

Los efectos biológicos inducidos por las radiaciones dependerán esencialmente de la cantidad de fotones capaces de ionizar un átomo, no de la cantidad total de energía depositada por la radiación en un cuerpo. Así, por ejemplo, en una exposición prolongada al sol recibiremos más energía que con unas radiografías, siendo su efecto biológico menos apreciable. La energía de los fotones de una radiación ha de ser superior a los 124 eV para que produzca efectos biológicos a través de una interacción ionizante.

Estos efectos biológicos serán la expresión de lesiones directas de la radiación en las macromoléculas importantes y de reacciones químicas que, de manera indirecta, pueden acabar comprometiendo la viabilidad de las células.

Por ello nos centraremos en este capítulo en el estudio de las lesiones producidas por las radiaciones ionizantes en el ADN (directos) y de la radio hidrólisis y formación de radicales libres como mecanismos desencadenantes de los efectos indirectos.

ESTRUCTURA DEL ADN

El ácido desoxirribonucleico es la molécula más importante del cuerpo humano, pues contiene el código genético de la célula que determina las características genéticas de cada individuo.

En los núcleos de cada célula existe ADN, que junto a otras moléculas constituyen los cromosomas, que controlan

el crecimiento y el desarrollo de la célula y las características de cada individuo.

La molécula de ADN (Ilustración 1) está conformada por una doble cadena en forma de hélice, cada una de las cuales se constituye de una secuencia de nucleótidos (base nitrogenada, azúcar, fosfato). La secuencia azúcar-fosfato-azúcar es siempre constante, pero la secuencia de bases⁶ es muy variable, siendo la que determina el código genético de la célula. Las dos cadenas se unen entre sí mediante puentes de hidrógeno establecidos entre las bases: la adenina siempre se aparea con la timina (A-T) y la guanina con la citosina (G-C).

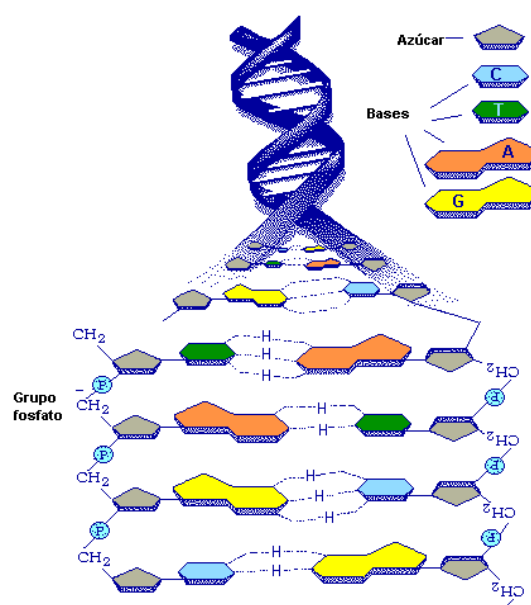


Ilustración 1: Estructura del ADN

Para replicarse, la doble cadena de ADN (en la fase S del ciclo celular) empieza a abrirse a modo de cremallera en la mitad de cada peldaño. En ese momento el ADN contiene una única cadena, desapareciendo los pares de bases. La base de cada cadena escindida sirve de molde para que se le unan secuencias idénticas a las que se separaron. De esa manera la molécula de ADN se ha replicado en dos moléculas

⁶ Las bases pueden ser **Púricas** (Adenina A, Guanina G) o **Pirimidínicas** (Citosina C, Timina T).

“hijas” con idéntica disposición de los pares de bases (idéntico código genético).

RADIOLESIÓN DEL ADN

El ADN, por su importancia, su singular ensamblaje, y su menor abundancia respecto de otras, es la más sensible de todas las macromoléculas. Como todas las moléculas, es más sensible a la irradiación *in vivo* que a la irradiación de soluciones *in vitro*.

Los efectos de la radiación en esta noble molécula pueden resumirse en:

1. Aberraciones cromosómicas.

Cuando el daño inducido por la radiación tiene la gravedad suficiente, es probable que se produzcan alteraciones cromosómicas visibles. Se trata de mutaciones clastogénicas, un daño destructivo como la ruptura cromosómica, la recombinación o la pérdida de partes de cromosomas.

2. Mutaciones puntuales.

La molécula de ADN puede sufrir daños no visibles, que si bien pueden ser reparados, es probable que desemboquen en la muerte celular o la proliferación incontrolada de células. Si la lesión ocurre en una célula germinal es posible que las manifestaciones no se observen hasta las generaciones posteriores.

Se han identificado alrededor de cien lesiones distintas, que incluyen alteraciones en las bases o destrucción de azúcares, pero destacan por su frecuencia e importancia (Ilustración 2):

- ✓ Fractura simple de cadena: Escisión de la cadena de nucleótidos, con un solo lado dañado.
- ✓ Fractura doble de cadena: Escisión, con los dos lados dañados, de la cadena principal de nucleótidos que forman la doble hélice.
- ✓ Unión cruzada: Escisión de la cadena principal y entrecruzamiento subsiguiente.
- ✓ Rotura en los travesaños y separación de las bases.
- ✓ Pérdida o cambio de una base.

Roturas simples son de fácil reparación, pues una de las cadenas permanece intacta sirviendo como patrón de copia para reparar el daño.

Roturas de la doble cadena implican pérdida de las pares de bases y la desaparición del modelo de copia, con lo que en la mayoría de los casos no serán reparadas o lo serán de manera incorrecta.

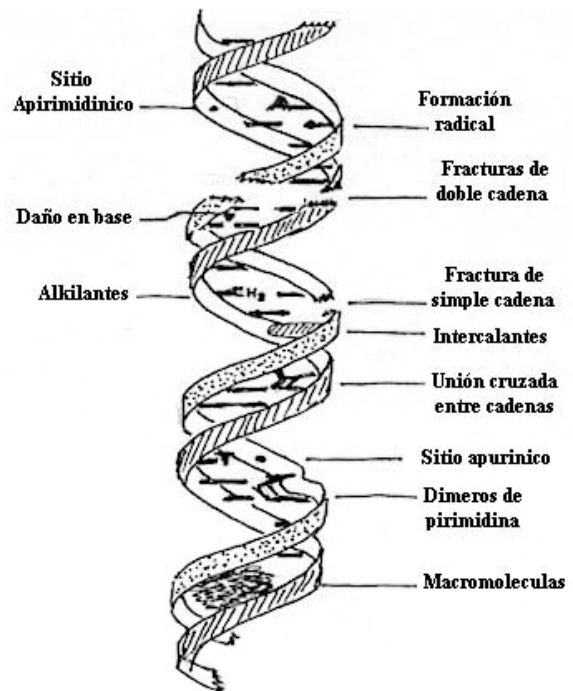


Ilustración 2: Radiolesiones del ADN.

MECANISMOS DE REPARACIÓN DEL ADN

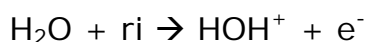
Las células poseen mecanismos, no del todo conocidos, para restaurar las lesiones en el ADN inducidas por muy numerosos agentes, entre los que las radiaciones ionizantes son uno más. De la eficacia de estos sistemas de reparación dependerá finalmente la aparición o no del efecto y el tipo de efecto desencadenado:

- ✓ Mecanismos pre-replicativos suelen restaurar correctamente la lesión del ADN, con lo que la célula conserva su genoma y no se manifiesta el efecto de la radiación.
- ✓ Mecanismos post-replicativos: es más probable que durante la restauración estructural del ADN se produzcan cambios en las secuencias de bases en las regiones lesionadas. en algunos

casos tales cambios serán de tal entidad que ocasionen la muerte celular, pero puede ocurrir que la célula sobreviva a ellos con un cambio en su código genético que transmitirá a sus descendientes.

RADIÓLISIS DEL AGUA.

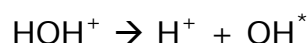
Puede considerarse al cuerpo humano como una solución acuosa, compuesto aproximadamente en un 80% por moléculas de agua. En consecuencia la irradiación del agua va a ser el principal fenómeno de la interacción de la radiación con el cuerpo. Cuando la molécula de agua resulta irradiada se disocia en dos iones (par iónico) según la ecuación:



El electrón libre, a su vez puede unirse a otra molécula de agua:

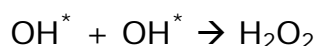


Ambos iones (HOH^+ y HOH^- , son inestables, pudiendo disociarse, con el resultado final de un par iónico y dos radicales libres:



La recombinación de los iones evitará el daño biológico; pero los radicales libres (OH^* y H^*) son sustancias altamente reactivas, capaces de difundirse por la célula interaccionando en un punto distante, provocando lesiones puntuales en puntos alejados del lugar donde se produjo la ionización inicial.

Igualmente pueden combinarse con otras moléculas y originar otros radicales libres. Tal es el caso del peróxido de hidrógeno, sustancia nociva para la célula que actúa como agente tóxico formado por la unión de dos radicales libres según la ecuación:



Vemos así que los radicales libres formados como consecuencia de la deposición de energía de las radiaciones ionizantes en el medio acuoso que constituye el cuerpo humano son los

responsables de los que hemos llamado *efectos indirectos*. Se admite que el 95% de los efectos de la radiación *in vivo* son de éste tipo, pudiendo incrementarse el porcentaje en presencia de oxígeno (como ocurre en los tejidos vivos), pues favorece la formación de nuevos tipos de radicales libres.

BIBLIOGRAFÍA

1. Burgos D, Guirado D, Román JR. Protección Radiológica General. Almería: EDICON; 1998.
2. Bushong S C, et al: Manual de Radiología para Técnicos. Física, Biología y Protección Radiológica. 6ª ed. Madrid: Harcourt; 1998.
3. Lledó Rodríguez F. Radiaciones ionizantes: efectos y protección. Inquietudes. 1995. (2):21-25.
4. Prieto Baena MS. Radiobiología. Enferm Docente. 1993 (49):9-16.
5. Servicio de Física y protección Radiológica, Actas del curso de capacitación de operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Hospital Universitario "Virgen del Rocío"; 1996.
6. Vidal Milla A. Radiactividad. Medio Ambiente y Salud. Rev ROL Enferm. 1986 IX (96-97):13-17.

CUESTIONARIO (Capítulos 10 y 11)

1. **La leucemia es un efecto de las radiaciones ionizantes que puede presentarse:**
 - a) A cualquier dosis de radiación.
 - b) Sólo si se supera el valor umbral de dosis muy elevado (15 Gy).
 - c) Sólo si se llevan más de 8 años expuesto a radiaciones ionizantes
 - d) Sólo si se supera el valor umbral de dosis muy bajo (0.5 Gy).
2. **La relación dosis/respuesta para los efectos probabilísticas es:**
 - a) Lineal sin umbral
 - b) Exponencial
 - c) Lineal con umbral
 - d) Curva en U.

3. Señala el mecanismo que desencadena los efectos estocásticos:

- a) Muerte celular inducida por la radiolesión del ADN o formación de radicales libres en el agua intracelular
- b) Reparación incorrecta no letal de la lesión en el ADN celular
- c) Reparación letal de la lesión del ADN
- d) No reparación de la lesión del ADN.

4. El efecto biológico de las radiaciones ionizantes:

- a) Es inespecífico y no selectivo y se produce de manera directa o indirecta.
- b) Es específico y selectivo (sólo en tejidos proliferativos) y se produce por lesión directa o indirecta del ADN.
- c) Es específico (radiolesión del ADN) y no selectivo, pudiendo producirse de manera directa o indirecta (hidrólisis → radicales libres → recombinación con ADN).
- d) Son correctas a y c).

5. Los efectos biológicos inducidos por las RI dependen esencialmente de:

- a) La cantidad total de energía depositada por la radiación en un cuerpo
- b) La cantidad de fotones capaces de ionizar un átomo.
- c) La tasa de dosis únicamente.
- d) Son correctas a y b).

6. Las aberraciones cromosómicas:

- a) Suponen un daño destructivo para el ADN.
- b) Si ocurren en las células germinales, sus manifestaciones se observarán en generaciones posteriores.
- c) Incluyen la ruptura cromosómica, y la pérdida de partes de cromosomas.
- d) Todas son ciertas.

7. La escisión doble de la cadena de ADN:

- a) Es una aberración cromosómica inducida por las RI.
- b) Es una lesión del ADN fácilmente reparable.
- c) Es un efecto biológico determinista de las RI
- d) Es una mutación puntual con poca probabilidad de reparación.

8. ¿En qué fases del ciclo celular son más eficaces los mecanismos de reparación del ADN?

- a) En las fases post-replicativas.
- b) Cuando el ADN está en proceso de duplicación.
- c) En las fases pre-replicativas
- d) En la fase "S" del ciclo celular.

9. La radiólisis de la molécula de agua:

- a) Resulta irrelevante en la inducción de efectos biológicos, pues es una molécula muy común.
- b) Es responsable del 95% de los efectos directos de la RI.
- c) Origina radicales libres, capaces de provocar lesiones alejadas del lugar donde se produjo la ionización inicial.
- d) Origina radicales libres, cuya recombinación evita el daño biológico

10. La formación de radicales libres:

- a) Es responsable de los efectos indirectos (95% de los efectos de la radiación *in vivo*).
- b) Resulta inhibida en presencia de oxígeno.
- c) Es la disociación en dos iones de la molécula de agua irradiada.
- d) Resultan de la disociación del par iónico HOH^+HOH^- únicamente.

CAPÍTULO 12. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL CELULAR DE ORGANIZACIÓN. RADIOSENSIBILIDAD.

Cayetano Fernández Sola

INTRODUCCIÓN

Poco después del descubrimiento de los rayos X, se observó que parecían tener mayor eficacia selectiva para destruir células cancerosas sin afectar a las sanas. Nace así el concepto de Radiosensibilidad celular, fundamentado sobre las características inherentes de la célula y no de la radiación.

RESPUESTA CELULAR A LA RADIACIÓN

El daño molecular que hemos descrito puede expresarse en el nivel celular de organización de cinco formas fundamentalmente:

1. **Muerte mitótica.** Es la pérdida de la capacidad reproductora de las células proliferativas. La célula puede mantener sus funciones y su aspecto morfológico, pero al perder su capacidad de división puede considerarse como muerta.
2. **Muerte en interfase.** La radiación puede producir la muerte celular antes de que entre en división. El resultado es el cese en sus funciones metabólicas y puede afectar tanto a células proliferativas (linfoides) como a las que no se dividen (neuronas)
3. **Retraso mitótico.** Manifestado como un bloqueo temporal de las células dentro del ciclo. A dosis bajas, las células se recuperan e inician de nuevo la división.
4. **Muerte diferida** Supone que las células, tras ser irradiadas, sólo efectúan unos pocos ciclos antes de morir.
5. **Modificación celular:** Consiste en una transformación de la carga genética celular a la que la célula sobrevive, conservando su capacidad reproductiva. En consecuencia las poblaciones celulares subsiguientes heredan la

modificación genética pudiendo dar lugar a neoplasias (si se trata de células somáticas) o a malformaciones congénitas (si se trata de las células germinales).

RADIOSENSIBILIDAD

Entendemos por Radiosensibilidad la vulnerabilidad de los organismos a las radiaciones. Su estudio y cuantificación difiere según el nivel de organización de que se trate:

- ✓ Para una especie se define sobre la Dosis Letal Media (dosis que produce la muerte de la mitad de los individuos de un conjunto irradiado tras un determinado período de tiempo). Por ejemplo hablamos de DL50/60 para una especie cuando esa dosis produce la muerte del 50% de la población a los 60 días de la irradiación.
- ✓ En el individuo la expresión del daño depende del conjunto de daños titulares y de que los tejidos conserven su capacidad funcional.
- ✓ Para los tejidos, su cuantificación resulta difícil porque en un tejido coexisten células de distinta radiosensibilidad.

La radiosensibilidad no está asociada con la rapidez de la respuesta, sino con la gravedad del efecto, pues una reacción precoz no implica mayor gravedad. Por ejemplo, en pacientes sometidos a teleterapia, se suele presentar de forma precoz eritema o descamación de la piel, que desaparecen al cesar el tratamiento. A su vez pueden aparecer efectos años después de la terapia que suelen ser irreversibles y, por tanto, más graves que los precoces.

RADIOSENSIBILIDAD CELULAR

Para el estudio de la Radiosensibilidad celular utilizamos las curvas de supervivencia celular, pero sólo para poblaciones celulares con capacidad

clonogénica, pues este criterio no es aplicable a poblaciones que no se dividen

1. Supervivencia celular:

Empezaremos por definir la muerte celular, que puede tener significados distintos:

- ✓ Células diferenciadas no proliferativas (nerviosas, musculares...): la muerte celular se define como la pérdida de su función específica.
- ✓ Células proliferativas (cancerosas, germinales, hematopoyéticas...): se acepta como muerte celular la pérdida de capacidad reproductora.

La curva de supervivencia celular es la representación gráfica de la fracción de células que sobreviven a una dosis determinada de un tipo concreto de radiación. En la Ilustración 1 observamos, por ejemplo, que la fracción de supervivencia de una población celular a 6 Gray de Rayos X es de 0.1, lo que significa que un 10% de las células de esa población han sobrevivido a tal dosis.

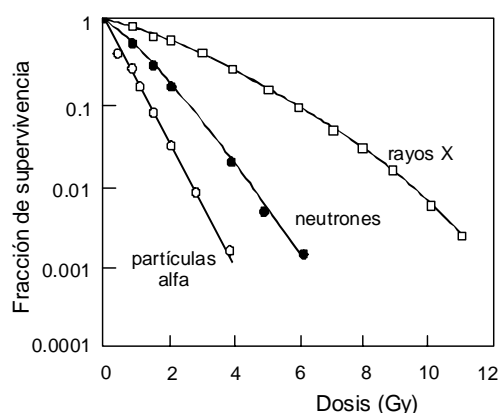


Ilustración 1: Curva de supervivencia celular a distintos tipos de radiación.

2. Hormesis y respuesta adaptativa

Algunos experimentos *in vitro* muestran que, administrando una pequeña dosis condicionante previa, disminuyen los efectos celulares de una segunda dosis mayor con respecto a los que se producen en ausencia de tal dosis condicionante.

A este fenómeno se le ha denominado respuesta adaptativa; empleándose el término *hormesis*, de manera más genérica, para referirse a la estimulación positiva de dosis pequeñas de agentes nocivos.

Ahora bien, esos resultados (también demostrados en animales) no pueden extrapolarse a seres humanos.

La comprobación y aceptación de ésta hipótesis implicaría un cambio radical en los pilares de la radiobiología y la radioprotección. Pero, mientras la evidencia disponible no sea más concluyente, los organismos encargados de la protección radiológica mantienen una filosofía proteccionista, obviando este efecto a la hora de dictar recomendaciones.

3. Factores que modifican la Radiosensibilidad celular.

✓ FACTORES FÍSICOS

- **Calidad de la radiación:** Cuando una radiación de bajo LET incide sobre una célula, es poco probable que se produzcan lesiones graves. Esto tal vez obedezca a que los mecanismos de reparación corrijan el daño. En cambio, la misma dosis de radiaciones de alto LET induce lesiones más groseras del ADN celular, de difícil reparación, produciendo una menor supervivencia celular.

En el ejemplo de la Ilustración 1, observamos que a 4 Gy de rayos X (baja LET) sobreviven el 50% de las células (0.5) y que a esa misma dosis de radiación alfa (alta LET), únicamente sobreviven el 1 por mil de las células (0.001).

- **Tasa de dosis:** Altas tasas de dosis resultan más eficaces en la producción de lesiones que las tasas de dosis bajas. Esto se debe a que las bajas tasas permiten la reparación celular antes de que se acumule el daño suficiente para producir la muerte celular.

✓ FACTORES QUÍMICOS.

- **Radiosensibilizadores:** Determinadas sustancias, como el oxígeno molecular, inducen una mayor producción de radicales libres como consecuencia de la

radiolisis inicial con lo que aumentan la sensibilidad celular a la radiación. Se estima que necesitamos multiplicar por 2-3 la dosis de radiación de baja LET para producir el mismo daño en una célula oxigenada que en una hipóxica.

- **Radioprotectores:**

Por mecanismos poco conocidos (secuestro o recombinación de radicales libres), algunas sustancias pueden reducir la acción indirecta de la radiación, haciendo más resistentes a las células irradiadas. La toxicidad de estas sustancias limita su utilización en la práctica.

✓ FACTORES BIOLÓGICOS.

- **Ciclo celular:** No existen pruebas concluyentes de las fases del ciclo en que la célula es más sensible, dependiendo más del tipo celular considerado. En general se aceptan como las fases más radiosensibles la G₂ y Mitosis, si bien en algunas estirpes celulares puede ocurrir al contrario.
- **Diferenciación:** las células no diferenciadas, como las células madre, son más radiosensibles que las diferenciadas (neuronas, musculares, etc.). Por ejemplo un hematíe es bastante resistente a la radiación, en cambio sus células precursoras del tejido hematopoyético son muy sensibles.
- **Capacidad reproductiva:** Al aumentar la tasa de proliferación celular, también lo hace la Radiosensibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Burgos D, Guirado D, Román JR. Protección Radiológica General. Almería: EDICON; 1998.
2. CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas): Curso de adiestramiento para operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Ministerio de Industria y Energía; 1995.

3. Cuenca M, Alted E, Novillo P.: Efectos nocivos causados por las radiaciones ionizantes. En: Blanco Coronado JL (editor): Impacto Medioambiental en la Salud. Granada: Ediciones Némesis, S.L.; 1999. P. 289- 299.
4. Lledó F. Radiaciones ionizantes: efectos y protección. Inquietudes. 1995 (2): 21-25.
5. Ministerio de Sanidad y consumo. Instituto Nacional de la Salud. Manual general de protección radiológica. Madrid: INSALUD, Secretaría General. 1993.
6. Ortega Aramburu X, Jorba Bisbal J. Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos- I. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL; 2000.
7. Prieto Baena MS. Radiobiología (II). Enferm Docente. 1993. (49): 9-16.
8. Sáenz González MC, Sacristán Salgado A, Mateos Campos R. Problemas sanitarios de los contaminantes físicos. En: Piédrola Gil. Medicina preventiva y salud pública. 10ª ed. Barcelona: Masson S.A.; 2001. p.341- 355.
9. Servicio de Física y protección Radiológica. Actas del curso de capacitación de operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Hospital Universitario "Virgen del Rocío"; 1996.

CUESTIONARIO

1. Entendemos por muerte celular:

- a) El cese de la función de las células proliferativas
- b) La pérdida de la capacidad de reproducción de las células no proliferativas
- c) El cese de la función de células no proliferativas y pérdida de capacidad de reproducción de las células proliferativas
- d) Conjuntamente a) y b).

2. Los radioprotectores:

- a) Son sustancias utilizadas eficazmente para disminuir los efectos biológicos en las células sanas.
- b) Aumentan la sensibilidad celular a la radiación.
- c) Son sustancias que disminuyen la radiosensibilidad celular, pero no se utilizan debido a su toxicidad.
- d) Son sustancias como el oxígeno que modifican la radiosensibilidad celular.

3. Una células es más radiosensible cuanto:

- a) más diferenciada sea
- b) menos diferenciada sea.
- c) Más cromosomas tenga.
- d) Más hipóxica se encuentra

4. ¿Cómo se modifica la radiosensibilidad celular en función de la LET (transferencia lineal de energía) de la radiación?:

- a) Un mismo grupo celular es más sensible a la radiación de alta LET.
- b) Un mismo grupo celular es más resistente a la radiación de alta LET.
- c) Un mismo grupo celular es más sensible a la radiación de baja LET
- d) No tienen ninguna relación.

5. Una población de células irradiada con 6 Gray de rayos X presenta una fracción de supervivencia de 0.1. ¿Cuántas células mueren?

- a) El 99%.
- b) El 0.1%.
- c) El 90%.
- d) El 10%.

6. La curva de supervivencia celular es:

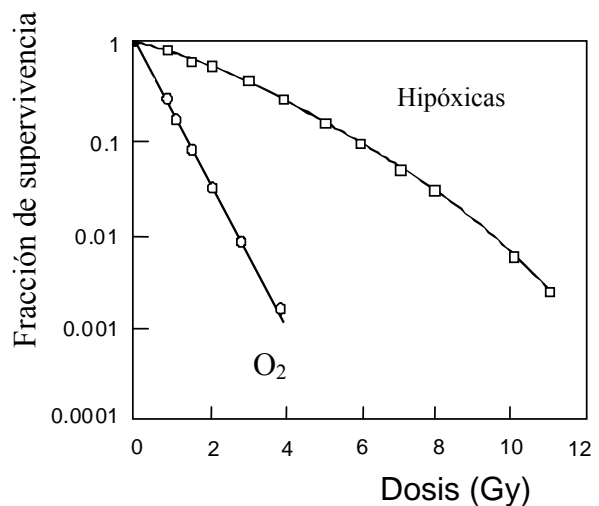
- a) La representación gráfica de la fracción de supervivencia de un grupo de células en función de la dosis recibida.
- b) Un criterio no válido para el estudio de la Radiosensibilidad de poblaciones celulares clonogénicas.
- c) Un criterio válido para el estudio de la Radiosensibilidad de grupos celulares no proliferativas.
- d) Todas son falsas.

7. Razona porqué la curva de supervivencia a la radiación presenta una curva descendente.

8. La hormesis:

- a) Es la aplicación de un fenómeno más amplio (respuesta adaptativa) a las radiaciones ionizantes.
- b) Es uno de los fenómenos en los que se sustenta la protección radiológica.
- c) Es la estimulación positiva de los organismos expuestos a dosis bajas de un agente potencialmente nocivo.
- d) Es un fenómeno, descrito en la experimentación in vitro y con animales, extrapolable, por ello a los humanos.

9. Interpreta la siguiente curva de supervivencia:



CAPÍTULO 13. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL NIVEL TISULAR.

José Granero Molina.

INTRODUCCIÓN

Tras un análisis de las consecuencias más relevantes de la irradiación sobre las células, es preceptivo abordar el problema desde un nivel superior de organización como es el nivel tisular.

Los tejidos son conjuntos o tramas celulares constituidas por células de la misma naturaleza (y por los elementos derivados de las mismas), que forman parte del material constitutivo del organismo. Se encuentran en permanente renovación mediante la sustitución de las células que mueren por otras nuevas.

La respuesta sistémica a la radiación depende de la sensibilidad de los órganos que componen dicho sistema (considerados individualmente), y a su vez, la respuesta de un órgano dependerá de la sensibilidad de los tejidos que lo integran.

EFECTOS DETERMINISTAS

La respuesta de un órgano o sistema a la radiación, se define como: *“Los cambios morfológicos y/o funcionales, visibles o detectables, producidos por una determinada dosis en un cierto intervalo de tiempo”*.

Radiosensibilidad de órganos y tejidos:

La respuesta de un órgano o tejido a una determinada dosis de radiación depende primariamente de 2 cosas:

- ✓ Sensibilidad inherente de sus células componentes, consideradas de forma individual.
- ✓ Cinética de la población celular, considerando al conjunto.

La evolución de la respuesta a una agresión depende esencialmente de la velocidad con que las células de un tejido se reemplazan, así como de su dinámica de producción, diferenciación, envejecimiento y pérdida. La mayoría de los tejidos radiosensibles están formados por poblaciones celulares de proliferación

rápida, y agresiones como las producidas por radiaciones ionizantes pueden esterilizar la célula cepa, paralizando la formación de células maduras (radiatorresistentes en su mayoría).

Si la radiosensibilidad de las células que componen dos tejidos es similar, la aparición de un daño y su reparación estará en función de que se trate de *tejidos jerárquicos* (poseen al menos dos compartimentos, células maduras y células germinales), o de *tejidos flexibles* (no presentan jerarquía celular).

En la mayor parte de los casos, los órganos presentan alteraciones morfológicas en respuesta a la radiación, que pueden evolucionar mediante reparación o regeneración. Aunque las respuestas dependen del tiempo de post-irradiación y de la dosis, destacan una serie de afectaciones sobre tejidos específicos.

EFECTOS IMPORTANTES SOBRE ÓRGANOS Y TEJIDOS.

1. Sangre y órganos hematopoyéticos.

La sangre se compone esencialmente de eritrocitos, leucocitos y plaquetas suspendidas en plasma. La producción de células sanguíneas corre a cargo sobre todo de la médula ósea, a partir de las células madre (células cepa hematopoyéticas) proliferan células que progresivamente se diferencian hacia cualquier línea hematopoyética (Ilustración 1).

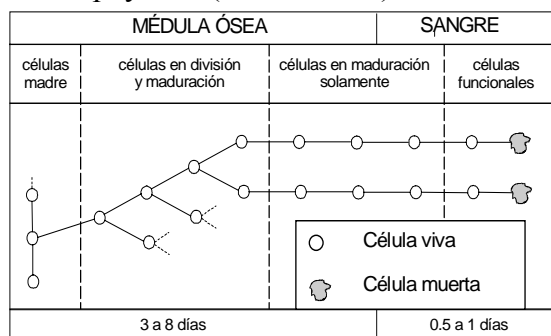


Ilustración 1: Modelo de renovación celular (V. Bond et al., 1971).

El descenso en el número de células sanguíneas tras la exposición a dosis moderadas de radiaciones ionizantes, se debe a la radiosensibilidad de las *células cepa* y de los *precursores comprometidos* (formados a partir de las anteriores). La parada proliferativa de estas células conduce al bloqueo de la hematopoyesis medular y al descenso de células funcionales en sangre:

- ✓ Eritroblastos: son las células más radiosensibles y los primeros en disminuir (se recuperan en una semana).
- ✓ Mielocitos: tardan lo mismo en disminuir, pero más en recuperarse.
- ✓ Megacariocitos: disminuyen en 1-2 semanas, recuperándose entre 2-6 semanas.

Las consecuencias son: anemia (por el descenso de la serie roja), disminución o falta de resistencia a procesos infecciosos (pérdida de leucocitos) y tendencia a hemorragias (disminución de plaquetas).

2. Sistema digestivo:

El intestino delgado es la parte más radiosensible del tubo digestivo. En la superficie de la mucosa intestinal encontramos las *vellosidades intestinales* (componente funcional del tejido, pero donde no hay procesos de división). La proliferación celular se da en las *criptas de Lieberkuhn*, entre las distintas vellosidades.

La irradiación puede llegar a inhibir la proliferación celular en las criptas, por lo que el revestimiento puede quedar altamente lesionado. Consecuencias:

- ✓ Reducción del tamaño de las vellosidades intestinales y descenso de la capacidad de absorción.
- ✓ Deshidratación, pérdida de electrolitos hacia la luz intestinal y diarreas.
- ✓ Paso de bacterias del tracto intestinal a la sangre a través de la pared intestinal, con posible infección sistémica.
- ✓ Ulceraciones de la mucosa intestinal.

3. Piel y mucosas:

La piel está formada por una capa exterior (epidermis), una capa de tejido conjuntivo (dermis) y una capa de tejido subcutáneo graso y conjuntivo. La

epidermis presenta una capa basal de células que se dividen (reemplazan a las perdidas en la superficie), y que son radiosensibles. Las consecuencias de la irradiación de la piel son:

- ✓ Dosis > 5 Gy: eritema temprano, similar a una quemadura.
- ✓ Dosis de 10 Gy: descamación seca.
- ✓ Dosis de 15 Gy: descamación húmeda.
- ✓ Caída temporal o permanente del cabello (dosis aprox. de 10 Gy).
- ✓ Reacciones tardías irreversibles: piel delgada, frágil, heridas, ulceraciones, mala cicatrización, etc.



Ilustración 2: M. Kassabian (1870-1910) fotografió los efectos de la radiación sobre sus manos

La organización celular de las mucosas es parecida a la de la piel, pero con una vida más corta de las células diferenciadas que acelera la aparición de efectos precoces (eritema, ulceraciones, fibrosis, etc.).

4. Sistema inmunitario:

En el origen del sistema inmune están las células cepa hematopoyéticas, que originan en la médula ósea los precursores linfopoyéticos, que se diferencian a su vez en precursores de los linfocitos B (respuesta humoral, producción de anticuerpos) y linfocitos T (respuesta celular). Los linfocitos, y sobre todo ciertas poblaciones de linfocitos B, son muy vulnerables a la radiación (con dosis de 0.1Gy sufren muerte celular programada a los pocos minutos de la exposición. Consecuencias:

- ✓ Inmunosupresión funcional.
- ✓ Incremento de la susceptibilidad a infecciones.

5. Testículos:

Presentan células diferenciadas que no se dividen (espermatozoides), y que son radiorresistentes; pero también células no

diferenciadas que se dividen rápidamente (espermatogonias), muy radiosensibles. La espermatogénesis se ve afectada por bajas dosis de radiación:

- ✓ 0.08 Gy: reducción temporal de espermatozoides.
- ✓ 0.2 Gy: reducción durante varios meses.
- ✓ 2 Gy: esterilidad de 1- 2 años.
- ✓ 6 Gy: esterilidad permanente.

6. Ovarios:

Las células primitivas (oocitos) que dan lugar a los óvulos, no se dividen, sino que están presentes en un determinado número desde el nacimiento y van disminuyendo hasta la menopausia. Estos oocitos son muy radiosensibles, siendo los folículos pequeños los más radiorresistentes:

- ✓ Baja dosis: esterilidad temporal y desequilibrios hormonales transitorios.
- ✓ Altas dosis (5- 12 Gy): esterilidad permanente.

7. Sistema Nervioso Central:

Integrado por el cerebro y la médula espinal, sus células neuronales no se dividen (radiorresistentes), mientras que las células de la neuroglia mantienen cierta capacidad de automantenimiento (las hace sensibles). Consecuencias:

- ✓ Lesión de células formadoras de mielina (desmielinización de fibras).
- ✓ Lesión en la barrera hemato-encefálica (posible edema cerebral).
- ✓ Lesiones neuronales (precisan dosis de radiación muy elevadas).

8. Pulmón:

Es el órgano más radiosensible del tórax, tras el timo. Los efectos de la irradiación se centran esencialmente en la interfase alveolo capilar, con trastornos del equilibrio osmótico que conducen a:

- ✓ Edema pulmonar.
- ✓ Hemorragia.
- ✓ Neumonías, etc.

9. Cristalino:

Al ser su epitelio un tejido jerárquico, la irradiación produce una maduración anómala de las células que conforman las fibras que lo componen. Consecuencias:

- ✓ Opacidad del cristalino (2 Gy).
- ✓ Dosis > 10 Gy: 100% de cataratas.

10. Hígado:

Órgano de renovación celular muy lenta y con células madre poco diferenciadas en el parénquima. Tolera, de entrada, grandes dosis de radiación, pero se deteriora progresivamente.

- ✓ Irradiación parcial: hipertrofia compensatoria de la zona no irradiada.
- ✓ Dosis aprox. de 35 Gy: puede desarrollarse una hepatitis fatal.

11. Tiroides:

Glándula cuyas células funcionales entran en división por estimulación hormonal, perteneciendo al grupo de tejidos de organización flexible. Al igual que el hígado, presenta una alta tolerancia a la irradiación en un plazo corto, incluso ante altas dosis. Efectos de la irradiación:

- ✓ Hipotiroidismo por muerte de células proliferativas (largo periodo de latencia).
- ✓ Dosis de 7.5 Gy: disfunciones tiroideas en la mitad de los afectados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bushong S C, et al: Manual de Radiología para Técnicos. Física, Biología y Protección Radiológica. 6ª ed. Madrid: Harcourt; 1998.
2. CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas): Curso de adiestramiento para operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Ministerio de Industria y Energía; 1995.
3. Cuenca M, Alted E, Novillo P.: Efectos nocivos causados por las radiaciones ionizantes. En: Blanco JL editor: Impacto Medioambiental en la Salud. Granada: Ediciones Némesis, SL; 1999. P. 289- 299.
4. Guirado Llorente D: Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. En: Comisiones Obreras Andalucía. Protección Radiológica General. Almería Edicon; 1998. P. 57- 84.
5. PROINSA, Compañía Internacional de Protección, Ingeniería Y Tecnología: Curso de capacitación para el personal que opere con instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico general. Madrid; 1995.
6. Sáenz MC, Sacristán A, Mateos R.: Problemas sanitarios de los contaminantes físicos. En: Piédrola Gil. Medicina preventiva y salud pública. 10ª ed. Barcelona: Masson S.A.; 2001. p.341- 355.

CUESTIONARIO

1. **Los efectos deterministas de la radiación están mediatizados por la magnitud de la dosis recibida y el tiempo de exposición.**
 - a. Siempre.
 - b. Algunas veces.
 - c. Casi nunca.
 - d. Nunca.
2. **La mayoría de tejidos radiosensibles están formados por poblaciones celulares de proliferación lenta.**
 - a. Siempre.
 - b. Algunas veces.
 - c. Casi nunca.
 - d. Nunca.
3. **Cuando los tejidos hematopoyéticos se someten a dosis importantes de radiación, se produce un aumento importante de células funcionales en sangre.**
 - a. Siempre.
 - b. Algunas veces.
 - c. Casi nunca.
 - d. Nunca.
4. **El intestino grueso y el recto, son las zonas más radiosensibles del tubo digestivo.**
 - a. Verdadero.
 - b. Depende del paciente.
 - c. Algunas veces.
 - d. Falso.
5. **La irradiación del tubo digestivo puede producir deshidratación y diarreas.**
 - a. Verdadero.
 - b. Algunas veces.
 - c. Sólo deshidratación.
 - d. Falso.
6. **La caída temporal o permanente del cabello es un efecto de la radiación sobre la piel, a dosis menor de 5 Gy.**
 - a. Verdadero.
 - b. Algunas veces.
 - c. Sólo en cuero cabelludo.
 - d. Falso.
7. **Los trastornos hereditarios de las radiaciones ionizantes son:**
 - a. Específicos.
 - b. Deterministas.
 - c. De umbral bajo.
 - d. Estocásticos.
8. **Los linfocitos B:**
 - a. Son muy resistentes a la radiación.
 - b. Sólo son vulnerables al someterse a dosis > de 10 Gy.
 - c. Son vulnerables incluso bajo dosis de 0.1 Gy.
 - d. La consecuencia directa de su resistencia es la baja susceptibilidad a las infecciones.
9. **Los espermatozoides son muy radiosensibles:**
 - a. Verdadero.
 - b. Falso.
 - c. Sí, igual que las espermatogonias.
 - d. Falso, son las espermatogonias las que son radioresistentes.
10. **Dosis de radiación > de 12 Gy sobre los ovarios, producen:**
 - a. Trastornos hormonales.
 - b. Sofocos y diaforesis únicamente.
 - c. Esterilidad permanente.
 - d. Esterilidad reversible en 2 meses.
11. **En el Sistema Nervioso Central:**
 - a. Neuronas y neuroglia, son radioresistentes.
 - b. Neuronas y neuroglia, son radiosensibles.
 - c. Las neuronas son radioresistentes.
 - d. La neuroglia es radioresistente.
12. **Entre los posibles efectos de una dosis de aprox. de 2 Gy sobre el cristalino, encontramos:**
 - a. No hay efectos.
 - b. Opacidad del cristalino.
 - c. Hemorragias.
 - d. 100% de cataratas.

CAPÍTULO 14. EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL ORGANISMO COMPLETO.

José Granero Molina.

INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante deposita probabilísticamente su energía en forma de ionizaciones y excitaciones del medio biológico. Estos fenómenos producen directamente, o a través de reacciones químicas intermedias, lesión de moléculas importantes para la vida como el ADN.

La respuesta orgánica total a la radiación va venir determinada por la respuesta combinada de todos los sistemas irradiados. Pero como la radiosensibilidad varía en cada sistema, la respuesta global quedará determinada en cierta medida por el sistema afectado que sea más radiosensible.

Los efectos deterministas a altas dosis de radiación ocasionan la muerte celular, y si se afectan gran número de células de un determinado órgano o tejido, de ser éste vital, pueden llegar a provocar la muerte de la persona afectada. Por sus diferentes factores condicionantes, se distinguirá entre el adulto y el embrión y feto.

Por otra parte, los efectos estocásticos se producirán como consecuencia de la alteración del material genético de aquellas células que sobreviven a la radiación.

RESPUESTA ORGÁNICA TOTAL A LA RADIACIÓN.

ADULTO:

Hablamos de Síndrome Orgánico Total de Radiación, cuando la exposición a la radiación se produce en condiciones de: exposición aguda (minutos), zona expuesta (totalidad del organismo o en su mayor parte) y exposición a fuentes penetrantes de radiación de origen externo. Esta situación producirá signos, síntomas y un cuadro clínico variable que se conoce como "*síndrome de irradiación (SDI)*".

Para comparar los efectos letales de diferentes niveles de dosis, se emplea esencialmente el concepto de DL 50/60 (dosis necesaria para producir la muerte al 50% de la población expuesta al cabo de 60

días), siendo aprox. 3-5 Gy para el hombre, en ausencia de cuidados especiales.

El tiempo de supervivencia y la causa por la que se produce la muerte dependen de la dosis de radiación recibida. Se suelen diferenciar tres etapas en la aparición de los efectos biológicos:

- ✓ Prodrómica (se inicia en las primeras 48 h. y dura de minutos a días): alteración del SNC y los sentidos con náuseas, vómitos, diarreas, cefalea, etc.
- ✓ Latente (de minutos a semanas): periodo de ausencia de síntomas.
- ✓ Enfermedad manifiesta: aparecen síntomas concretos de los sistemas lesionados.

Si representáramos el tiempo de supervivencia en función de la dosis recibida, obtendríamos tres zonas principales que corresponderían a los siguientes síndromes:

1. Síndrome de la Médula ósea.

El individuo muere entre los 30- 60 días, fundamentalmente por destrucción del sistema hematopoyético y destrucción de la médula ósea

- ✓ Dosis de 3- 5 Gy
- ✓ Según la etapa encontramos:
 - Presencia de náuseas, vómitos y diarreas; tras la fase de latencia hay leucopenia (infecciones graves), trombopenia y trastornos de la coagulación (hemorragias, anemia, etc.).
 - Recuperación en dosis < 3 Gy, dosis más altas pueden provocar la muerte.

2. Síndrome gastrointestinal.

El individuo muere entre los 10- 20 días, esencialmente por la eliminación de la mucosa gastrointestinal.

- ✓ Dosis > de 5 Gy.
- ✓ Según la etapa encontramos:
 - Náuseas, vómitos y diarreas intensas, a las que se une la fiebre tras aprox. 5 días de latencia.

- El intestino delgado pierde la mucosa, con lo que se pierden líquidos, proteínas y electrolitos a la luz digestiva. Infección generalizada producida por gérmenes habituales del intestino.

3. Síndrome del SNC.

El individuo muere entre los 5- 10 días, esencialmente por la destrucción del SNC.

- ✓ Dosis > de 50 Gy (aunque la afectación se da a partir de los 15 Gy).
- ✓ Según la etapa encontramos:
 - Comienza con náuseas, vómitos, confusión, disminución del nivel de conciencia, etc. Tras una latencia de horas, aparece ataxia, convulsiones, coma y muerte (edema cerebral, hemorragias, etc.).

| DOSIS ABSORBIDA EN TODO EL CUERPO (Gy) | PRINCIPAL EFECTO QUE CONTRIBUYE A LA MUERTE | TIEMPO EN MORIR TRAS LA IRRADIACIÓN (Días) |
|--|---|--|
| 3-5 | Daño en médula ósea | 30 - 60 |
| 5-15 | Daño en tracto gastrointestinal y pulmones | 10 - 20 |
| >15 | Daño al sistema nervioso | 1 - 5 |

Tabla 1: Rango de dosis asociados a la muerte y síndromes inducidos para irradiación aguda de baja LET en todo el cuerpo.

EMBRIÓN Y FETO.

Los principales efectos deterministas de la radiación en los fetos de los mamíferos son la muerte, las malformaciones y la aparición de cambios estructurales.

Tanto el embrión, como el feto, son más sensibles que el organismo en cualquier otro periodo de la vida. Es por ello que, el carácter letal y las posibles anomalías inducidas por la radiación en los mismos dependen, entre otros factores, del tiempo de gestación en el que se encuentre la mujer afectada.

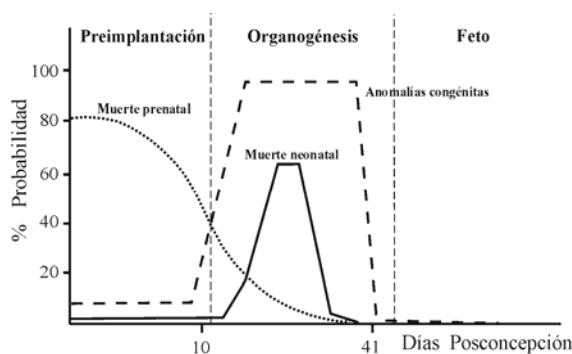


Ilustración 1: Representación de los efectos biológicos en el embrión inducidos por una dosis de 2 Gy en diferentes tiempos de postfecundación (De "Radiobiology for the radiobiologist". EJ. Hall).

1. Fase de preimplantación:

Activa división celular que precede al anidamiento en la mucosa uterina.

- La irradiación produce elevada mortalidad prenatal (abortos).
- No se da alta incidencia de anomalías congénitas.

2. Fase de organogénesis:

Las actividades de multiplicación y diferenciación celular son máximas:

- Existe baja probabilidad de muerte prenatal por la radiación.
- Alta probabilidad de que se produzcan anomalías y deformidades congénitas (SNC, esqueleto, etc.), que pueden acabar en muerte neonatal en un alto porcentaje.

3. Fase del desarrollo:

La disminución de la actividad mitótica y el incremento de células diferenciadas aumentan la radioresistencia del feto (a partir de la 15ª semana de gestación).

- La irradiación produce menor número de anomalías aparentes.
- Baja incidencia de muerte.
- Pueden aparecer microcefalias, descenso del coeficiente de inteligencia, etc.

EFFECTOS ESTOCÁSTICOS.

Los efectos estocásticos se producen a consecuencia de la alteración del material genético en aquellas células que sobreviven a la radiación. Aquí no puede hablarse de

una dosis umbral y, aunque el aumento de la dosis conlleva el incremento de la probabilidad de que aparezcan estos efectos (cáncer, malformaciones en descendientes, etc.), eso no implica que sean más graves.

Los efectos estocásticos pueden producirse para cualquier nivel de dosis y asumimos que la relación dosis-respuesta es lineal sin umbral, a bajas dosis.

1. EFECTOS SOMÁTICOS:

El efecto estocástico más importante es la inducción de algún tipo de cáncer, aunque también se habla de una aceleración del envejecimiento de aparición tardía.

La irradiación del organismo pone en marcha procesos celulares que implican a varios genes (algunos muy ligados a la regulación del crecimiento celular), que si resultan afectados por dicha radiación, puede verse alterado todo su programa de proliferación – diferenciación celular.

La radiación, al igual que ciertos virus, tóxicos químicos, etc., es capaz de aumentar la probabilidad de que se produzca un proceso neoplásico. Los tumores causados por radiación pueden aparecer en casi todos los tejidos, aunque su frecuencia varía marcadamente de unos tejidos a otros.

Aunque hoy se acepta que este proceso ocupa varias etapas, en todos los casos aparece la *iniciación del daño* (puede ocurrir tras una única exposición breve a un agente potente como la radiación ionizante), continua con la *promoción tumoral* y finaliza con la *progresión maligna*.

| DETRIMENTO (x10Sv ⁻²) ⁻¹ | | | | |
|---|--------------|-----------------|------------------------|-------|
| POBLAC. EXPUESTA | CÁNCER FATAL | CÁNCER NO FATAL | EFECTOS HERED. SEVEROS | TOTAL |
| TRABAJ. ADULTOS | 4 | 0.8 | 0.8 | 5.6 |
| POBLAC. TOTAL | 5 | 1 | 1.3 | 7.3 |

Tabla 2: Coeficiente de riesgo nominal para efectos estocásticos (probabilidad estimada de desarrollo de un cáncer de consecuencias fatales por unidad de dosis efectiva). Comisión Internacional de Protección Radiológica.

2. EFECTOS GENÉTICOS:

Son debidos a daños en los gametos (espermatozoides y óvulos) o sus células madre, y van a afectar a los descendientes de la persona irradiada. La radiación va a suponer un incremento en el número de mutaciones que se sabe se producen de manera espontánea con cierta probabilidad.

Los efectos de tales mutaciones puede que no se manifiesten en el individuo irradiado, sino en sus futuros descendientes (si la mutación es dominante, se manifestará en los descendientes directos; si es recesiva, sólo se expresará en aquellas generaciones que contengan células cuyos pares cromosómicos posean la misma mutación; si no es así, el gen mutado quedará enmascarado por el dominante y el efecto de la mutación no será expresado).

BIBLIOGRAFÍA

- Barrachina Bellés L: Métodos complementarios de diagnóstico. En: Barrachina Bellés L. Enfermería Médico-Quirúrgica. Generalidades. Barcelona: Masson S.A.; 2003. P. 1- 18.
- Bushong S C, et al: Manual de Radiología para Técnicos. Física, Biología y Protección Radiológica. 6ª ed. Madrid: Harcourt; 1998.
- CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas): Curso de adiestramiento para operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Ministerio de Industria y Energía; 1995.
- Guirado Llorente D: Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. En: Comisiones Obreras Andalucía. Protección Radiológica General. Almería Edicon; 1998. P. 57- 84.
- Kereller AM. Risk estimates for radiation-induced cancer. The epidemiological evidence. Radiation and Environmental Biophysics. 2000; 39 (1): 17- 24.
- Sáenz González MC, Sacristán Salgado A, Mateos Campos R.: Problemas sanitarios de los contaminantes físicos. En: Piédrola Gil. Medicina preventiva y salud pública. 10ª ed. Barcelona: Masson S.A.; 2001. p.341- 355.
- Suzanne C Smeltzer, Brenda G Bare. Enfermería medicoquirúrgica de Brunner y Suddarth. Vol. I. 9ª ed. Madrid: McGraw-Hill.- Interamericana; 2002.

CUESTIONARIO

Señala la opción correcta entre las posibles respuestas que se proponen. Sólo una de las opciones marcadas se considerará como respuesta correcta.

- 1. El Síndrome Orgánico Total de Radiación, implica condiciones de:**
 - a) Exposición aguda.
 - b) Exposición de la totalidad (o de la mayor parte) del organismo.
 - c) Exposición a fuentes penetrantes de origen externo.
 - d) Todas.
- 2. La DL 50/60, es la dosis necesaria para producir la muerte en un:**
 - a) 50% de la población expuesta, al cabo de 60 años.
 - b) 50% de la población expuesta, al cabo de 60 días.
 - c) 60% de la población expuesta, al cabo de 50 días.
 - d) Todas son falsas.
- 3. Los efectos de la radiación sobre organismo completo, se presentan en tres etapas, a saber:**
 - a) Prodrómica, mecánica y manifiesta.
 - b) Prodrómica, eléctrica y latente.
 - c) Prodrómica, latente y manifiesta.
 - d) Prodrómica, manifiesta, resolutive.
- 4. La recuperación de la médula ósea tras la irradiación, es un proceso que ocurre:**
 - a) Siempre.
 - b) Nunca.
 - c) Tras dosis > de 3 Gy.
 - d) Tras dosis < de 3 Gy.
- 5. En el Síndrome Gastrointestinal, tras dosis > de 5 Gy, encontramos progresivamente:**
 - a) Náuseas y vómitos.
 - b) Diarreas y fiebre.
 - c) Pérdidas de mucosa e infección generalizada.
 - d) Todas son correctas.
- 6. Una sintomatología con náuseas, vómitos, ataxia, convulsiones, disminución de conciencia, coma y muerte, es típica de:**
 - a) Síndrome de Médula Ósea.
 - b) Síndrome Gastrointestinal.
 - c) Síndrome del SNC.
 - d) Todas son falsas.
- 7. Los principales efectos deterministas de la radiación sobre los fetos de los mamíferos son:**
 - a) Cambios estructurales.
 - b) Malformaciones y muerte.
 - c) a y b, son correctas.
 - d) Todas son falsas.
- 8. Las anomalías inducidas en el feto por efecto de la radiación, dependen de:**
 - a) Tamaño del feto.
 - b) Sexo del feto.
 - c) Que la mujer embarazada sea múltipara.
 - d) Del tiempo de gestación.
- 9. La irradiación del feto produce elevada mortalidad en la fase de:**
 - a) Preimplantación.
 - b) Organogénesis.
 - c) Desarrollo.
 - d) Es indiferente la fase.
- 10. La irradiación del feto produce elevadas anomalías y deformidades en la fase de:**
 - a) Preimplantación.
 - b) Organogénesis.
 - c) Desarrollo.
 - d) Es indiferente la fase.
- 11. La irradiación del feto produce la menor tasa de muerte en la fase de:**
 - a) Preimplantación.
 - b) Organogénesis.
 - c) Desarrollo.
 - d) Es indiferente la fase.

MÓDULO III: PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

15. FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

Javier González González.

16. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OPERACIONAL.

Cayetano Fernández Sola.

17. VIGILANCIA RADIOLÓGICA

Francisca Rosa Jiménez López.

18. NORMAS ESPECÍFICAS (EN RX, MN, RT).

Javier González González.

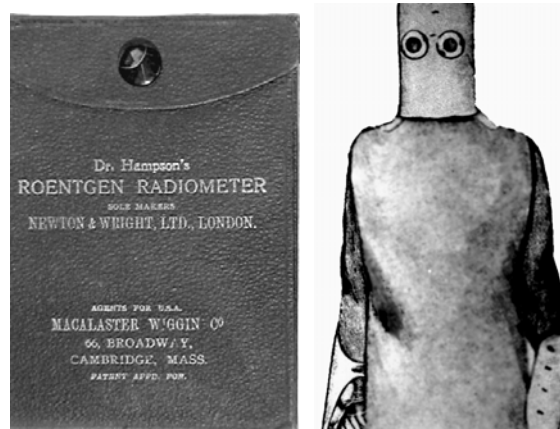


Ilustración: dosímetro y casco de protección utilizados en los albores de la radioprotección.

*“Levántate si te caes,
y antes de volver a andar,
mira dónde has caído
y pon allí una señal”.*

(En breve antología de Gustavo Adolfo Bécquer. Centro Andaluz de las Letras. Málaga. 2000)

CAPÍTULO 15: FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

Javier González González.

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual no puede prescindir de los beneficios que aporta la utilización de las radiaciones ionizantes. Durante el siglo XX, paralelamente al desarrollo de actividades que emplean este tipo de radiaciones, se fue evidenciando la toxicidad de las mismas y la necesidad de someter a algún tipo de control la exposición humana a las radiaciones ionizantes.

En 1895 Roentgen anuncia el descubrimiento de los rayos X. Las primeras directrices para reducir los riesgos de la exposición a las radiaciones de los trabajadores sanitarios las emite la Sociedad Radiológica Alemana en el año 1913 debido a la prematura muerte de numerosos radiólogos.

Pero no será hasta el año 1928, en el que se crea el ICRP (International Commission on Radiological Protection), cuando se empieza a sistematizar los numerosos casos clínicos y resultados experimentales con el fin de crear el cuerpo científico de la Protección Radiológica.

CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de continuar con el capítulo es conveniente realizar algunas definiciones someras de los términos usuales en protección radiológica.

Detrimento: magnitud que permite medir y cuantificar el daño que la radiación ionizante produce sobre las personas. Incluye efectos como: probabilidad de muerte por cáncer, efectos hereditarios graves, reducción de vida si se produce un efecto letal y cánceres no letales.

Exposición (irradiación): Acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes.

Exposición accidental: exposición de personas como resultado de un accidente. No incluye la exposición de emergencia.

Exposición de emergencia: exposición voluntaria de personas que realizan una acción urgente necesaria para prestar ayuda a personas en peligro, prevenir la exposición de un gran número de personas o para salvar una instalación o bienes valiosos, que podría implicar la superación de alguno de los límites de dosis individuales establecidos para los trabajadores expuestos.

Exposición ocupacional: es la recibida en el lugar de trabajo y principalmente como consecuencia del trabajo.

Exposición médica: exposición de personas como parte de su diagnóstico o tratamiento.

Fuente: Aparato o sustancia capaz de emitir radiaciones ionizantes.

Intervención: actividad humana que evita o reduce la exposición de las personas a la radiación, actuando sobre las fuentes, las vías de transferencia y las propias personas.

Práctica: cualquier actividad humana que aumente la exposición de personas a la radiación.

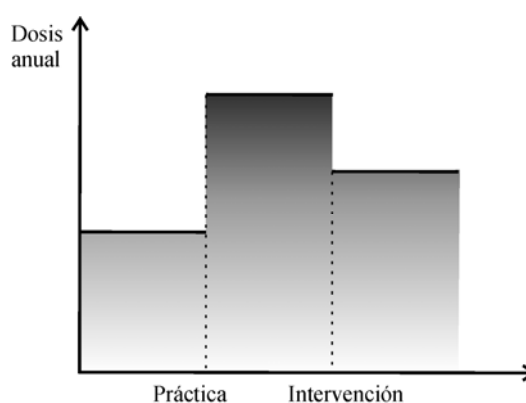


Ilustración 1: Representación esquemática del incremento de dosis anual tras el desarrollo de una práctica y su posterior reducción después de realizar una intervención.

EL SISTEMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

El Sistema de Protección Radiológica es un cuerpo de conceptos, principios y técnicas conformado por organizaciones políticas y científicas internacionales, que se encargan de adaptar la evidencia científica experimental y concretarla en forma de normativa y recomendaciones específicas para cada práctica que suponga un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes.

Su objetivo es evitar la aparición de efectos deterministas, manteniendo las dosis por debajo de los umbrales, y reduciendo todo lo razonablemente posible la incidencia de los efectos estocásticos.

En la **Ilustración 2** aparece el esquema de la evolución de la información que transforma la evidencia científica en normativa de seguridad radiológica. En este proceso de varias fases participan diferentes organizaciones.

La primera fase consiste en recopilar los datos obtenidos por los investigadores en áreas como la física de las radiaciones ionizantes, la radiobiología y la epidemiología. De ello se encarga el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y la Comisión Internacional para las Unidades Radiológicas (ICRU).

En la segunda etapa se elaboran, con los datos científicos aportados, las bases de la Protección Radiológica, de ello se encarga la ICRP.

De la aplicación de las sugerencias de la ICRP se encargan organizaciones como la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Estas últimas son las que desarrollan las guías y recomendaciones en la tercera etapa del proceso.

El cuarto paso es la redacción de la normativa legal. En la Unión Europea el organismo competente para ello es el EURATOM, cuyas directivas se han de aplicar a todos los estados miembros. En España el **Consejo de Seguridad Nuclear**

(CSN) es el organismo regulador que propone al Gobierno la reglamentación necesaria en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. El CSN genera la normativa que considera conveniente, además de adecuar la legislación nacional a la internacional, especialmente la derivada de las directivas de la Unión Europea.

Además, el CSN tiene capacidad para dictar por iniciativa propia normas de obligado cumplimiento sin que requiera la aprobación posterior de cualquier otro poder o administración.

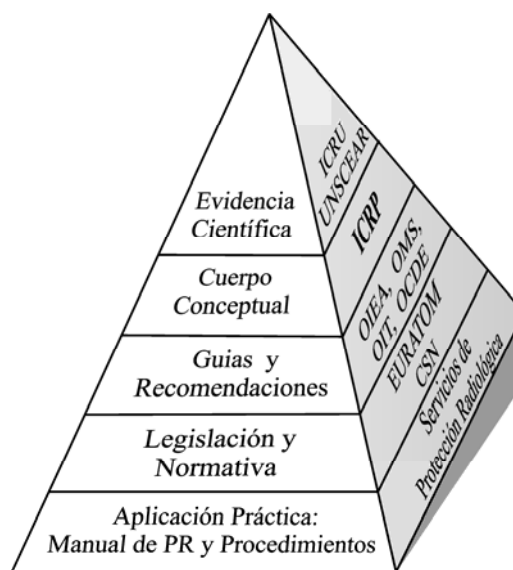


Ilustración 2: Esquema del Sistema de Protección Radiológica, donde se muestra la función que desarrolla cada una de las organizaciones competentes en la materia.

La última fase es la aplicación efectiva de la legislación. De esto se encargan los *Servicios de Protección Radiológica*. Para ello, elaboran los *Manuales de Protección Radiológica* donde partiendo de una identificación previa de los riesgos radiológicos existentes en cada instalación y cada práctica se concretan las normas de trabajo, los planes de emergencia y los procedimientos de trabajo y de protección radiológica.

En los *protocolos* escritos se describe minuciosamente la forma de actuar en cada una de las posibles tareas y situaciones que se puedan dar en cada práctica y cada instalación, de forma que se minimicen los riesgos de la exposición a las radiaciones ionizantes.

A nivel práctico, para los trabajadores de una instalación radiactiva, lo importante es conocer y aplicar la información que se elabora en la etapa final del proceso. De este resultado, depende el éxito o el fracaso de la totalidad del sistema de protección radiológica.

PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

En cada una de las prácticas realizadas o que se van a realizar es obligatorio minimizar la exposición. Para ello, es obligatorio aplicar los tres principios fundamentales en protección radiológica, que son: **justificación**, **optimización** y **limitación**.

Justificación

No debe adoptarse ninguna técnica que haga uso de las radiaciones ionizantes a no ser que produzca un claro beneficio neto para la sociedad, además debe ser imposible conseguir el mismo resultado por otros medios.

Como ejemplo de práctica no justificada podemos citar el uso de los pararrayos radiactivos que emplean para su funcionamiento una fuente de ^{241}Am y fueron instalados en España en la década de los sesenta y setenta. Las evidencias demuestran que en ningún caso son más efectivos que los pararrayos convencionales y aunque los riesgos en condiciones normales de funcionamiento son escasos, el riesgo de contaminación por deterioro del sistema es apreciable y en caso de accidente los riesgos son considerables. Por ello, su empleo no está justificado, están prohibidos y se están desmantelando todos los ya instalados.

Sin embargo, los detectores de humo que utilizan ^{241}Am presentan también la misma problemática que los pararrayos radiactivos. Sin embargo todos los años se salvan decenas de vidas y millones de euros gracias a este tipo de sistemas contra-incendios. Esta razón justifica su uso.

Optimización

Cuando una práctica ya ha sido justificada y adoptada, la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzca una exposición, deben mantenerse tan bajos como sea razonablemente posible (criterio ALARA⁷). Para ello se tendrán en cuenta factores económicos y sociales.

La optimización es un proceso que empieza con el diseño de cada práctica, ya que es esta etapa donde es más barato minimizar la exposición. Debe continuar durante todo el desarrollo de la práctica optimizando los procedimientos de trabajo mediante el análisis de la dosimetría personal de los trabajadores, la vigilancia de la dosimetría ambiental y de los efluentes y residuos radiactivos que se generen en el proceso.

Para cuantificar la optimización se debe estudiar la relación costes-beneficios. Para el conjunto de la sociedad, en general, los costos (detrimento) y los beneficios no se reparten de forma equitativa. Para evitar que unos pocos individuos carguen con la mayoría de los efectos negativos aunque se consigan grandes beneficios para el resto de la sociedad, hay que establecer una serie de restricciones.

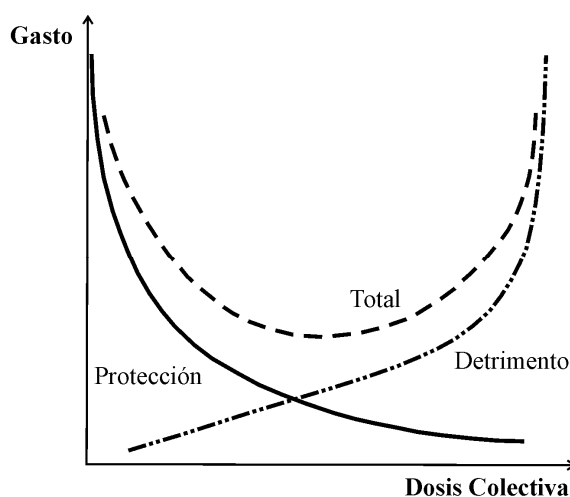


Ilustración 3: Gráficos en los que se muestra la relación entre el costo económico y la dosis colectiva en función de que el dinero se gaste en protección radiológica o en paliar los efectos del detrimento de la salud. La suma de las dos curvas anteriores presenta un mínimo en el punto óptimo.

⁷ "As Low As Reasonably Achievable" (Tan bajo como sea razonablemente posible).

Para el caso de exposición ocupacional y de exposición al público la optimización más sencilla consiste en actuar sobre la fuente de radiación. Para ello se imponen la **restricción de dosis** que se define como el nivel básico obligatorio de protección del individuo respecto a una fuente única. La ICRP recomienda unos niveles de restricción que pueden ser modificados a la baja por las autoridades competentes.

En las exposiciones médicas siempre prima el principio de justificación del procedimiento terapéutico o diagnóstico, aunque se definen unos **niveles de referencia** que nos indicarían la dosis media absorbida por el paciente en un determinado procedimiento. Estos niveles de referencia se deben aplicar con bastante tolerancia y su utilidad principal es la de servir de modelo en a la hora de desarrollar un programa de garantía de calidad.

Limitación

La suma de las dosis recibidas por un individuo, que suelen ser el resultado de varias prácticas, no debe sobrepasar ciertos límites.

Los límites de dosis se aplican a los individuos y tienen por finalidad evitar que cualquier persona esté expuesta a riesgos inadmisibles por la realización de varias prácticas. En su cómputo no se incluirá la dosis debida al fondo radiactivo natural ni la exposición sufrida como consecuencia de exámenes y tratamientos médicos.

Los límites actualmente en vigor fueron publicados en la ICRP-60 y adoptados por la legislación española en el *R.D. 783/2001 Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes*. Los más significativos son:

Trabajadores Expuestos: El límite de dosis efectiva será de 100 mSv durante todo periodo de 5 años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

Trabajadoras embarazadas: El feto se considera miembro del público, por lo que se debe asegurar que las condiciones de trabajo son tales que la dosis al feto no supere 1 mSv durante todo el embarazo.

Público: 1 mSv por año oficial. Aunque bajo circunstancias especiales puede permitirse una dosis más alta en un único año, siempre que la suma de cinco años oficiales consecutivos no supere un total de 5 mSv.

Además, se establecen ciertos límites de dosis equivalente para las partes del cuerpo más expuestas a la radiación a fin de protegerlas de los efectos deterministas. Se muestran en la siguiente tabla.

| | Trabajadores Expuestos | Público |
|--|---------------------------|-------------|
| Cristalino | 150 mSv/año | 15 mSv/año |
| Piel | 500 mSv/año* | 50 mSv/año* |
| Manos, antebrazo, pies y tobillos | 500 mSv/año | |

*Tasa de dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm², con independencia de la zona expuesta.

La asunción de los límites de dosis por la legislación conlleva a una serie de falsas apreciaciones. La primera de ellas es considerar que no superar los límites implica una buena praxis, la segunda es considerar que los límites son la cota que separa lo peligroso de lo seguro.

Los límites de dosis actuales mantienen el incremento de la probabilidad de aparición de cáncer, durante toda la vida, por debajo del nivel de riesgo de cualquier accidente domestico o laboral y evitan los efectos deterministas a todos los tejidos del organismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diego E. Burgos, Damián Guirado, José R. Román. Protección Radiológica General. Almería: EDICON 1998.
2. ICRP Publication 60. Recommendations of the Internacional Commission on Radiological Protection. 1990.
3. William R. Hendee. Biomedical Uses of Radiation. WILEY-VCH. Weinheim. 1999.
4. Real Decreto 1428/1986, de 13 de Junio, por el que se dictan normas sobre homologación de pararrayos. BOE 165, de 11/07/1986.

CAPÍTULO 16. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OPERACIONAL.

Cayetano Fernández Sola.

INTRODUCCIÓN

El sistema de protección radiológica ha de ser llevado a la práctica mediante la aplicación de medidas concretas en el lugar de trabajo sometido a riesgo radiológico.

La finalidad de tales medidas será la reducción del riesgo de exposición a las radiaciones por parte de los profesionales, estudiantes y miembros del público. Se centrarán en la instalación, los profesionales, y el diseño de los procedimientos fundamentalmente.

Todas estas medidas constituyen la denominada *protección radiológica operacional* y deben incluir la evaluación previa, la clasificación de los diferentes lugares de trabajo, la clasificación de los trabajadores, la vigilancia dosimétrica y la vigilancia médica.

FORMACIÓN PREVIA

Una de las medidas fundamentales es la formación previa de los trabajadores profesionalmente expuestos, que habrá de proporcionarse antes de iniciar la actividad, en un nivel adecuado a su responsabilidad sobre:

- Riesgos biológicos de las radiaciones ionizantes.
- Normas generales de radioprotección y precauciones a adoptar en el régimen normal de trabajo así como en caso de accidente.
- Normas específicas que deben observarse en las operaciones a realizar y ante situaciones de emergencia.
- Tipos y utilización de detectores e instrumentos de medida de la radiación (dosimetría).
- Utilización de equipos de protección personal.
- Responsabilidades derivadas del puesto de trabajo con respecto a la protección radiológica.
- Necesidad de someterse a los exámenes médicos pertinentes para evaluar el

estado sanitario y probables lesiones producidas por la radiación.

CLASIFICACIÓN DEL PERSONAL PROFESIONALMENTE EXPUESTO

El Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RD53/92) (Reglamento) clasifica a las personas en tres grupos:

- ✓ **Población en su conjunto:** colectividad formada por los trabajadores PE, los estudiantes y los miembros del público.
- ✓ **Miembro del público:** cualquier individuo de la población considerado aisladamente, con exclusión explícita de los trabajadores PE y estudiantes durante su jornada de trabajo habitual. Por ejemplo, son miembros del público los familiares o acompañantes del paciente, el personal sanitario no clasificado como (PPE), etc.
- ✓ **Trabajador profesionalmente expuesto (PPE):** aquellas personas que, por las condiciones en que se desarrolla su trabajo (de modo habitual u ocasionalmente) están sometidos a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes que puede entrañar dosis anuales superiores a un décimo ($1/10$) de cualquiera de los límites anuales fijados en el Reglamento para los trabajadores.
Los estudiantes mayores de 16 años tienen la consideración de PPE, estando sometidos a los mismos límites y normas de protección.

Por razones de vigilancia y control, la legislación clasifica a los trabajadores profesionalmente expuestos en 2 categorías, categoría A y categoría B:

1. Categoría A.

Aquellos trabajadores que, por las condiciones en que realizan su trabajo, no es improbable que reciban dosis superiores a tres décimos ($3/10$) de alguno de los límites

fijados en el Reglamento de Protección Radiológica para los trabajadores.

En general, se consideran de categoría A aquellos trabajadores que pueden estar expuestos al haz directo de radiación.

2. Categoría B:

Aquellas personas que, por las condiciones en las que realizan su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a $\frac{3}{10}$ de cualquiera de los límites fijados en el Reglamento.

En general, se consideran de categoría B aquellos trabajadores que en el desempeño de su trabajo no están expuestos al haz directo de radiación.

CLASIFICACIÓN Y SEÑALIZACIÓN DE ZONAS DE TRABAJO:

La directiva EURATON 96/29 establece que se han de tomar medidas respecto a todos los lugares de trabajo donde exista riesgo de recibir dosis superiores a 1 mSv por año o del orden de un décimo ($\frac{1}{10}$) de los límites establecidos. En función del riesgo, las zonas se clasifican en zona de libre acceso, vigilada y controlada, que engloba la zona de permanencia limitada, de acceso reglamentado y la de acceso prohibido.

Las distintas zonas de trabajo han de estar perfectamente señalizadas colocando, en un lugar visible y en todos los accesos a cada zona, carteles con un trébol (de un color distinto para cada zona) sobre un fondo blanco con orla del mismo color que el trébol (Ilustración 1).

Los distintos riesgos que pueden estar presentes en la instalación radiológica se simbolizan:

- Irradiación: añadiendo picas en el extremo de las aspas del trébol.
- Contaminación: añadiendo un punteado gris sobre el fondo blanco.
- Ambos: se añaden a la señal los dos elementos anteriores.

Estos símbolos, se complementan con una leyenda que indica el tipo de zona en la parte superior de la señal y el tipo de riesgo en la parte inferior.



Ilustración 1: Trébol Gris de señalización de zona vigilada con riesgo de contaminación (punteado) e irradiación (picas).

En la tabla 1 se resumen la clasificación y señalización de las zonas así como las categorías de PPE que tienen acceso a cada una de ellas.

| ZONA | DEFINICIÓN | SEÑA LIZACIÓ | PPE Categoría |
|----------------------|---|--------------|---------------|
| LIBRE ACCESO | Muy improbable $D > \frac{1}{10} L$ | - | Todas |
| VIGILADA | No improbable $D > \frac{1}{10} L$ Muy improbable $D > \frac{3}{10} L$ | Trébol Gris | A y B |
| CONTROLADA | No improbable $D > \frac{3}{10} L$ | Verde | A |
| Permanencia Limitada | Existe riesgo $D > L$ | Amarillo | A |
| Acceso Reglamentado | Existe riesgo de $D > L$ en cortos periodos de tiempo. | Naranja | A |
| Acceso Prohibido | Existe riesgo $D > L$ de una sola vez | Rojo | A |

Tabla 1: Cuadro resumen de la clasificación y señalización de zonas de trabajo, definidas en función de la probabilidad de alcanzar dosis (D) respecto de cualquiera de los límites establecidos (L)

DISTANCIA/TIEMPO/BLINDAJE

1. Ley del inverso del cuadrado de la distancia.

La superficie de la esfera equivale a $4 \pi r^2$. Siendo r el radio de la circunferencia, mide la distancia de la fuente de radiación a la superficie irradiada.

Si consideramos una fuente puntual de fotones situada en el centro, el flujo de

radiación ϕ (cantidad de fotones por centímetro cuadrado), se calcula dividiendo el número de fotones emitidos por la fuente, N , entre la superficie total S_1 . Esta superficie aumenta en razón del cuadrado de la distancia al foco (radio) con lo que el flujo de radiación varía en inversa razón (disminuye) al quedar repartidos los mismos fotones en una superficie mayor.

Así, por ejemplo, situados a un metro de una fuente (que emite 16 Gy por hora) recibiremos los fotones incidentes que se reparten en una superficie

$$S_1 = 4\pi (1)^2 = 4\pi.$$

por lo tanto el flujo será:

$$\phi = N/4\pi. = 16/4\pi$$

$$(\text{= } 16/12,57 = 1,28 \text{ Gy}\cdot\text{h.})$$

Si nos alejamos 1 metro más ($r = 2\text{m}$), los N fotones se reparten ahora en una superficie 4 veces mayor:

$$S_2 = 4\pi 2^2 = 16\pi;$$

con lo que el flujo de radiación será cuatro veces menor:

$$\phi = N/16\pi. = 16/16\pi$$

$$(\text{= } 16/50,26 = 0,32 \text{ Gy}\cdot\text{h})$$

Comprobamos que el flujo de dosis varía en una razón que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente:

$$\phi(r) = \phi_1/r^2$$

$$(0,32 = 1,28/2^2 = 1,28/4)$$

Esta reducción geométrica del flujo de radiación se conoce como *Ley del Inverso del Cuadrado de la Distancia* y ha de tenerse en cuenta, sabiendo que la eficacia de alejarse de la fuente es mayor que otras medidas mucho más costosas.

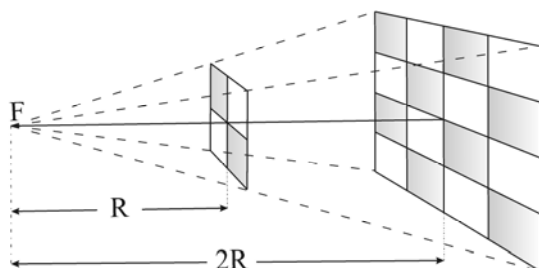


Ilustración 2: Representación gráfica del principio del inverso del cuadrado de la distancia.

2. Principio del tiempo.

La tasa de dosis se define como la dosis por unidad de tiempo (por ejemplo 16 Gy por hora). La dosis acumulada, D , es el producto de la tasa dosis por el tiempo de exposición.

$$D = \dot{D} \cdot t$$

Siguiendo el ejemplo anterior, si permanecemos dos minutos a un metro de esa fuente recibiremos:

$$D = (16/60) \times 2 = 0,26 \times 2 = 0,52 \text{ Gy}$$

Si reducimos el tiempo a la mitad (1 min.) la dosis total acumulada se reducirá a la mitad:

$$D_2 = (16/60) \times 1 = 0,26 \times 1 = 0,26 \text{ Gy}$$

Como se observa, reducir el tiempo de exposición reduce la dosis

3. Blindaje

Una medida complementaria de radioprotección es la utilización de blindajes, consistentes en la interposición de determinados materiales entre la fuente emisora de radiación y el individuo, de manera que la radiación incidente queda atenuada por el material interpuesto.

Los blindajes se utilizan a menudo en las aplicaciones médicas de la radiología, encontrándonos con varios tipos según la ubicación del mismo:

- ✓ **En la construcción de equipos.** Se emplean barreras para evitar la emisión de radiación en todas las direcciones salvo en aquella que interese.
- ✓ **Blindaje estructural.** En el diseño de las instalaciones se calculan los grosores de distintos materiales que hay que colocar en cada pared (y si procede suelo, techo...) para atenuar la radiación incidente en los profesionales expuestos. Estos cálculos son realizados por los radiofísicos de protección radiológica atendiendo a diversos factores como:
 - El factor de ocupación de cada estancia adyacente.
 - La distancia desde el foco o fuente hasta el lugar a proteger.
 - Estimaciones de las dosis media y máxima que se pueden recibir durante la jornada laboral.

- Del tipo de radiación dependerá los materiales utilizados: plomo para radiación electromagnética (Rayos x, γ), parafinas más plomo para electrones...
- ✓ **Equipos de protección personal.** En el desarrollo de muchos procedimientos se hace necesaria la utilización de prendas blindadas (normalmente con plomo) para la protección del profesional, de miembros del público o de los pacientes:
 - Batas, guantes, gafas plomadas.
 - Protectores de tiroides (collarines plomados), gonadales, oculares...

BIBLIOGRAFÍA

1. Burgos D, Guirado D, Román JR. Protección Radiológica General. Almería: EDICON; 1998.
2. ICRP-25. The Handling, Storage, Use and Disposal of Unsealed Radionuclides in Hospitals and Medical Research Establishments.
3. ICRP-28. The Principles and General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers.
4. ICRP-57. Radiological Protection of the Worker in Medicine and Dentistry.
5. Ministerio de Sanidad y consumo. Instituto Nacional de la Salud. Manual general de protección radiológica. Madrid: INSALUD, Secretaría General. 1993.
6. Servicio de Física y protección Radiológica, Actas del curso de capacitación de operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Hospital Universitario "Virgen del Rocío"; 1996.

CUESTIONARIO (capítulo 16 y 17)

1. **En una zona no resulta improbable recibir dosis de radiación superiores a 30 mSv en 5 años. Completa los datos relativos a esta zona:**
 - a) Clasificación:
 - b) Señalización:
 - c) Profesionales que trabajan:

2. **La reducción del flujo de dosis guarda con la distancia a la fuente una relación:**
 - a) Lineal (a doble distancia, doble flujo de dosis)
 - b) Inversamente proporcional
 - c) Directamente exponencial.
 - d) Exponencial inversa.
3. **Los profesionalmente expuestos a R I clasificados como categoría A, estarán sometidos a:**
 - a) Vigilancia médica anual y vigilancia dosimétrica anual.
 - b) Vigilancia médica anual y vigilancia dosimétrica mensual.
 - c) Vigilancia médica mensual y vigilancia dosimétrica mensual.
 - d) Vigilancia médica mensual y vigilancia dosimétrica anual.
4. **Normas de utilización del dosímetro:**
 - a) Quienes han de llevarlo:
 - b) Cuando:
 - c) Dónde/cómo:
 - d) Guardarlo /archivo:
5. **La revisión médica excepcional:**
 - a) Se realiza siempre antes de la incorporación de un trabajador a una instalación radiológica.
 - b) Se realiza a petición del trabajador.
 - c) Se realiza a los trabajadores que hayan superado los límites de dosis correspondientes.
 - d) Se realiza al finalizar el contrato.

CAPÍTULO 17. VIGILANCIA RADIOLÓGICA.

Francisca Rosa Jiménez López.

INTRODUCCIÓN

Las radiaciones ionizantes constituyen una eficaz herramienta para el diagnóstico y tratamiento de muchos problemas de salud aunque su potencial peligrosidad ha precisado el diseño de mecanismos y procedimientos de protección y control que hagan factible la compatibilidad entre el beneficio obtenido y los efectos nocivos emanados de su utilización.

La Comunidad Europea estableció las normas básicas para la protección sanitaria contra los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en las Directivas 80/836/EURATOM y 84/476/EURATOM basadas en las recomendaciones básicas de la publicación de la ICRP nº 26 de 1997. Dichas directivas fueron adoptadas por la legislación española en el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes actualmente en vigor (R. Decreto 53/1992) el cual establece las Normas Básicas relativas a la Vigilancia Médica de los trabajadores expuestos.

La protección y la vigilancia radiológicas constituyen tareas multidisciplinarias que redundarán en beneficio de la persona expuesta a este riesgo específico.

DEFINICIÓN

La Vigilancia Radiológica comprende una serie de medidas a tomar en el área de trabajo y sobre los profesionales expuestos, para medir la radiación o la radioactividad por razones relacionadas con la evaluación o el control de la exposición a radiación o a material radioactivo, y la interpretación de tales mediciones.

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

La evaluación de la exposición abarca:

1. Vigilancia del lugar del trabajo:

Como se ha visto en el tema correspondiente las zonas de trabajo están

clasificadas y etiquetadas según el mayor o menor riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en: a) zonas de libre acceso, b) vigiladas y c) controladas. Dichas zonas deben tener un adecuado control y una vigilancia radiológica (inspecciones periódicas y rutinarias) y, posteriormente, una evaluación.

Mediante detectores de radiación se deberá realizar una medición de tasas de dosis externas indicando la naturaleza y calidad de la radiación que se trate así como otra medición de la concentración de actividad en el aire y la densidad superficial de las sustancias radiactivas contaminantes indicando la naturaleza y su estado físico y químico. El control dosimétrico ambiental dependerá del tipo de zona y de la radiación emitida.

En caso necesario, dichas medidas se registrarán y servirán para estimar dosis individuales.

2. Vigilancia individual:

La vigilancia individual se realiza para conocer los niveles de dosis o contaminación que ha podido recibir el trabajador. Será sistemática para los trabajadores de la Categoría A y estará basada en mediciones individuales efectuadas por servicios dosimétricos autorizados.

Respecto a los trabajadores de la categoría B habrá que corroborar que están clasificados adecuadamente pudiendo utilizarse, también, la vigilancia individual. Si esto no es factible, la vigilancia dosimétrica se basará en una estimación realizada a partir de las mediciones individuales de las dosis recibidas por otros trabajadores expuestos o a partir de los resultados de la vigilancia del área de trabajo.

Será obligatorio para los trabajadores de la CATEGORÍA A:

- ✓ El uso de dosímetros individuales que reflejen la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del

organismo durante toda la jornada laboral.

- ✓ Si existe riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo, el uso de dosímetros adecuados en las zonas que potencialmente presentan más riesgo.

Normas de utilización del dosímetro personal

- Llevarlo siempre puesto durante las horas de trabajo o durante operaciones con radiaciones ionizantes.
- Colocarlo a la altura del tórax, por fuera de la ropa de trabajo; debajo de la bata plomada (en su caso). Si es de muñeca, debajo de los guantes plomados.
- En caso de pluriempleo, se empleará uno para cada lugar de trabajo (si procede en ambos)
- Finalizada la jornada se guarda fuera de la exposición al sol o cualquier fuente de radiación, calor, etc.

- ✓ Si existe riesgo de contaminación interna, la realización de medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes.



Ilustración 1: Dosímetros de muñeca de película fotográfica y de solapa (termoluminiscencia)

En el caso de trabajadores de la CATEGORÍA B:

- ✓ No será preceptivo el uso de dosímetros personales, siempre y cuando se disponga de dosimetría de área o de zona en los lugares de trabajo que permita controlar que las dosis recibidas son inferiores a $\frac{3}{10}$ de los límites anuales de dosis.

La dosimetría individual será realizada por las entidades o instituciones expresamente autorizadas y supervisadas por el CNS.

Es obligatorio el registro de las dosis recibidas por cada trabajador durante toda su vida laboral (art. 34 del Reglamento). El documento es un historial dosimétrico individual del que puede disponer el

trabajador (Carné Radiológico). Deberá ser guardado un mínimo de 30 años contados a partir de la fecha del cese del trabajo.

3. Vigilancia médica

Según el Reglamento, todo trabajador expuesto a las radiaciones ionizantes debe ser sometido a un examen médico de salud con una periodicidad mínima anual (esta frecuencia puede aumentarse según criterio médico) y permitirá comprobar el estado de salud del trabajador respecto a su aptitud y la ausencia de incompatibilidad en este trabajo. En caso de superación de los límites de dosis también se llevará a cabo un examen médico excepcional. Respecto al personal de nuevo ingreso deberá someterse a un examen médico exhaustivo, según las indicaciones del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). El servicio médico, propio o contratado, deberá ser autorizado por el órgano de la Comunidad Autónoma competente en materia de sanidad previo informe del CSN.

CRITERIOS

Los criterios en la vigilancia médica se basan, entre otros, en el concepto de la existencia de algún grado de riesgo independientemente del nivel de exposición.

Los objetivos del examen médico son, por una parte, recoger unos datos de base, y por otro, detectar y evaluar alteraciones que pudieran suponer una contraindicación médica para el quehacer profesional de estos trabajadores.

¿QUÉ COMPRENDE EL EXAMEN MÉDICO?

El examen médico es un examen clínico convencional al que se le añaden exploraciones especiales según la naturaleza de los riesgos asociados al trabajo a realizar. El contenido de la Historia médico-laboral, incluye una ficha de identificación, la anamnesis sobre aparatos/sistemas, el examen físico y las pruebas complementarias:

- ✓ **Identificación del trabajador:** datos personales, laborales (antecedentes laborales de interés, nombre de la empresa, puesto de trabajo actual y riesgos asociados), información dosimétrica, fecha de revisión médica,

fecha de última revisión y Servicio Médico que la realiza.

- ✓ **Antecedentes:** antecedentes médicos y quirúrgicos personales significativos en relación a terapéutica farmacológica, de estudios diagnósticos o tratamientos con radiaciones ionizantes (consignando la dosis si se conoce), hábitos, antecedentes médico-familiares.
- ✓ **Anamnesis** general y sobre aparatos/sistemas: *Síntomas generales* (astenia, anorexia); *Otorrinolaringología* (vértigos); *Oftalmología* (utilización de lentes o lentillas); *Cardiorrespiratorio* (tos); *Gastrointestinal* (pirosis); *Genitourinario* (disuria); *Ginecológico* (menarquia, última menstruación); *Locomotor* (dolor articular); *Piel y mucosas* (erupciones); *Neurológico* (parestesias).
- ✓ **Examen físico:** Aspecto general; Piel, pelo, uñas y mucosas; Cuello: tiroides; Tórax; Exploración abdominal genital, cardiorrespiratoria, del aparato locomotor y neurológica.
- ✓ **Exploraciones Complementarias:** *Analítica de sangre* (en todos los casos se hará un examen hematológico y bioquímico y, a criterio del médico, se podrán pedir otros parámetros como amilasa, estudio lipídico, etc.); *Análisis de orina*; Electrocardiograma; *Exploraciones recomendadas* (al realizarse este examen por primera vez y cada 4 años es recomendable realizar una *Espirometría*, una *Audiometría* y una *Exploración Oftalmológica que incluya la visión estereoscópica Agudeza Visual, Discriminación y Distinción de Colores*).
Las exploraciones mencionadas no excluyen la realización de otras que, considerando el trabajo a realizar, y el criterio del Servicio Médico correspondiente, contribuyan a una mejor evaluación de la aptitud del trabajador para un puesto de trabajo específico.

✓ **Revisión médica excepcional, en caso de sobreexposición**

A los trabajadores que hayan superado los límites de dosis correspondientes, caso de sobreexposición, se les llevará a cabo una revisión médica excepcional por un Servicio Médico Especializado. Dicho examen se realizará lo antes posible y abarcará lo regulado en la revisión médica básica más las pruebas complementarias requeridas por las circunstancias de la sobreexposición y sus consecuencias. Los SME son los que fijarán los criterios de exposición posterior de estos trabajadores y determinarán su posible atención médica.

4. Protocolo Médico

Según el Reglamento, cada persona profesionalmente expuesta a las radiaciones ionizantes, tendrá abierto un protocolo médico que comprenderá:

- ✓ Los resultados del examen médico previo y de los reconocimientos médicos periódicos y eventuales.
- ✓ El historial dosimétrico de toda la vida profesional.
- ✓ El historial dosimétrico adicional donde se registren las estimaciones de dosis recibidas por diagnóstico y por tratamiento médico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Burgos D. Protección Radiológica General. Huércal-Overa (Almería): Edicon; 1998.
2. CSN. Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de Seguridad 1994; 7.4 (1): 1-19
3. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. NTP 304: Radiaciones ionizantes: normas de protección. Disponible en: http://WWW.mtas.es/insht/ntp/ntp_304.htm 03/08/2005.
4. Real Decreto 815/2001, de 13 de julio, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas. (Boletín Oficial del Estado, número 168, de 14-7-2001).

CAPÍTULO 18: NORMAS DE TRABAJO EN RADIODIAGNÓSTICO, MEDICINA NUCLEAR Y RADIOTERAPIA.

Javier González González.

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones radiactivas de uso sanitario han de presentar, antes de iniciar su actividad, una *Memoria de Puesta en Marcha* para poder obtener el permiso de funcionamiento de la autoridad competente.

En dicho documento se reflejan los elementos de *Protección Radiológica Operacional*, específicos para cada instalación, como son: la clasificación de zonas y de personal, los métodos de información y formación, la evaluación de la dosimetría y de las medidas de protección y los registros que se generen en cada caso.

En la Memoria también se describen los puestos de trabajo, sus responsabilidades y los procedimientos particulares de cada actividad a desarrollar. Estas Normas de Trabajo son propias de cada instalación, aunque aquí las sintetizaremos a la forma más genérica que se pueda aplicar a cada tipo de servicio sanitario.

NORMAS GENERALES

1. Todo trabajador profesionalmente expuesto debe conocer y cumplir:
 - ✓ Los límites de dosis
 - ✓ Los riesgos radiológicos y los efectos que puedan producirse
 - ✓ El reglamento de funcionamiento.
 - ✓ El plan de emergencia de la unidad.
 - ✓ Las normas de utilización de los dosímetros personal usados para la vigilancia individual
2. Durante el trabajo, el trabajador que tenga asignado un dosímetro debe utilizarlo. Este es responsabilidad del usuario, siendo personal e intransferible, y se guardará alejado de las fuentes de radiación.
3. El personal femenino en periodo de gestación la advertirá al Supervisor responsable en cuanto tenga

conocimiento de ello, para recibir las instrucciones adecuadas.

4. Diariamente el operador/supervisor de cada instalación, rellenará el Libro Diario de Operaciones, en el que quedará constancia de:
 - ✓ Hora de conexión y desconexión de los equipos.
 - ✓ Carga de trabajo de los equipos.
 - ✓ Comprobaciones, verificaciones y operaciones de mantenimiento que afecten a la seguridad radiológica. Personas o entidades que las realizan.
 - ✓ Condiciones especiales de funcionamiento.
 - ✓ Incidencias. Detalle ordenado de sucesos.
 - ✓ Averías. Forma de ponerse de manifiesto, incluso las intermitentes, actuaciones, aceptación formal y verificaciones a cumplir.
 - ✓ Verificaciones y calibraciones de los equipos de detección y medida de radiaciones.
 - ✓ Resumen de datos relevantes sobre vigilancia radiológica ambiental y personal.
 - ✓ Resultado de las pruebas de hermeticidad de las fuentes encapsuladas, los criterios de aceptación.
 - ✓ Datos sobre simulacros de emergencia realizados.
 - ✓ Cambios en la organización.
 - ✓ Cambios de procedimientos que afecten a la seguridad radiológica.

Normas de Formación del Personal

1. Anualmente se realizarán Seminarios de Formación para revisar el Reglamento de Funcionamiento y Plan de Emergencia.

2. Es obligatoria la asistencia del personal acreditado de la instalación a la realización de los Seminarios de Formación.

NORMAS DE TRABAJO EN RADIODIAGNÓSTICO

Radiología Convencional

1. Durante la realización de las pruebas, solo permanecerá en el interior de la sala el personal imprescindible. No permanecerá ningún paciente en la sala mientras se está explorando a otro.
2. Antes de empezar cualquier tipo de exploración deben cerrarse las puertas de la sala de exploración.
3. El personal que manipule los equipos de la instalación debe situarse adecuadamente para recibir el mínimo posible de exposición a la radiación. Esto se consigue colocándose tras el puesto emplomado de control y sin asomarse durante el disparo.
4. No dirigir nunca el haz directo hacia las ventanas, puesto de control y cuarto oscuro.
5. Se debe colimar el campo de irradiación al mínimo compatible con las necesidades del diagnóstico. El paciente es una fuente de radiación dispersa, por ello es importante reducir al máximo el volumen irradiado (colimando), aumentar la distancia del foco al paciente y utilizar compresores cuando sea factible.
6. El número de placas debe ser el menor posible compatible con el diagnóstico a realizar.
7. Si por las características de una exploración se hace necesario la inmovilización del paciente, se realizará mediante sujeciones mecánicas. Si no fuera posible, se realizará por una o varias personas voluntarias, cumpliendo las siguientes normas:

- ✓ En ningún caso se encontrarán entre ellas mujeres gestantes ni menores de 18 años.

- ✓ Deben intervenir el menor número posible de personas, evitando quedar expuestos al haz directo.
 - ✓ Recibirán instrucciones precisas para reducir al mínimo su exposición a la radiación.
 - ✓ Irán provistos de guantes y delantales emplomados.
8. Si no se dispone de personal voluntario, la inmovilización la llevara a cabo siempre el personal de la instalación en turnos rotativos, provistos de su dosímetro personal y cumpliendo las siguientes normas:
 - ✓ En ningún caso se encontrarán entre ellas mujeres gestantes ni menores de 18 años.
 - ✓ Deben intervenir el menor número posible de personas, evitando quedar expuestos al haz directo.
 - ✓ Se deberá estar lo más alejado posible del haz y del paciente (para evitar la radiación directa y dispersa respectivamente).
 - ✓ Se anotarán en un registro los datos (nombre de la persona que ha sujetado al paciente, fecha, número de disparos y datos de la técnica radiográfica).
 9. Se debe reducir lo máximo compatible con la técnica a realizar, la corriente (mA) y/o la carga (mAs) en cada disparo. Si es necesario, se aumentará la tensión (kV).
 10. Se programarán y ordenarán las técnicas exploratorias de tal modo que supongan para el paciente el disminuir al máximo la cantidad de radiación necesaria para realizar la exploración.
 11. Cuando sea necesario sostener un chasis se emplearán dispositivos mecánicos. Si no existen, lo sujetará el propio paciente. Si es imposible lo sujetará el personal de la instalación.
 12. Siempre que sea posible, utilizar protectores gonadales para pacientes.

Normas Generales para Radioscopia y Radiología Intervencionista

1. Durante la radioscopia sólo estarán en la sala las personas estrictamente imprescindibles. Todas ellas deben colocarse delantal emplomado. Se mantendrán lo más apartados posible del paciente y tubo, acercándose sólo cuando sea estrictamente necesario.
2. Todas las personas que estén en la sala llevaran su dosímetro personal, que irá detrás del delantal.
3. Si fuera imprescindible trabajar con las manos dentro del haz de radiación o en sus inmediaciones se usarán guantes emplomados y gafas emplomadas.
4. Si hay riesgo de que ciertas partes del cuerpo reciban una dosis significativamente más alta que el resto (cristalino, manos), se dispondrá de otros dosímetros representativos de esas zonas (de anillo, de muñeca, etc.).
5. La distancia paciente-intensificador debe ser lo más pequeña posible.
6. La distancia foco-paciente nunca debe ser menor de 30 cm, recomendándose que sea superior a 45 cm.
7. En exploraciones a pie de tubo, se debe colocar el tubo bajo el paciente y el intensificador sobre él, con el fin de disminuir la radiación dispersa. En caso contrario se colocarán dispositivos de protección, como pantallas, cortinas...

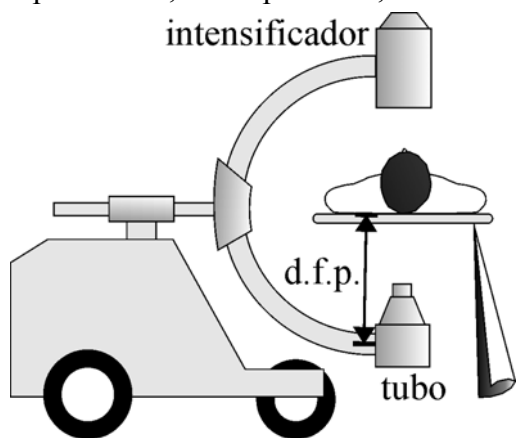


Ilustración 1: Se debe trabajar en la configuración de tubo abajo e intensificador arriba siempre que sea compatible con el estudio. Así el tubo se puede apantallar por una cortina emplomada. Intensificador cerca del paciente; d.f.p. ≥ 30 cm.

8. Cerrar el diafragma o colimador al tamaño mínimo compatible con el estudio a realizar.
9. Siempre que sea posible, debe usarse escopia pulsada ya que reduce considerablemente la exposición al paciente y a los operadores.
10. Sólo se pulsará el pedal de escopia cuando se necesite información y no de forma continuada, siempre que sea posible usar la memoria de imagen. De esta forma, el tiempo total de escopia es mucho menor, y se reduce, de forma notable, la exposición.
11. El monitor nunca se situará detrás del paciente para evitar que al mirarlo incida radiación dispersa en el cristalino del operador.

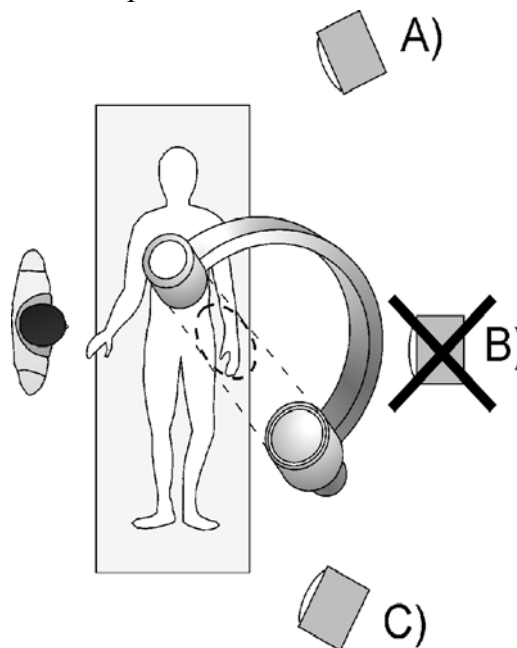


Ilustración 2: Si se coloca el monitor de televisión en la posición B) la radiación dispersa que sale de la zona irradiada del paciente (ovalo punteado) incide directamente sobre el cristalino del operador. Para evitarlo, se debe colocar el monitor en las posiciones A) o C).

12. No utilizar la escopia de alta definición, salvo que sea precisa una alta resolución espacial (la imagen de escopia de alta definición suministra una tasa de dosis más de tres veces superior a la escopia normal).
13. Es preciso prestar atención al tiempo de escopia transcurrido, y conocer las

limitaciones del equipo que esta utilizando, no esperar a que salte el protector térmico.

14. No utilizar la escopia para centrar una radiografía.

NORMAS DE TRABAJO EN MEDICINA NUCLEAR

1. Observar las medidas generales de radioprotección con fuentes no encapsuladas:
 - ✓ Se administrará la dosis siempre en la zona diseñada a tal efecto en el servicio de medicina nuclear (no se debe llevar la dosis a las zonas de hospitalización)
 - ✓ Se prohíbe comer, beber, fumar o utilizar cosméticos en las áreas donde se manipulen o almacenen las fuentes radiactivas no encapsuladas.
 - ✓ En la utilización de radiofármacos volátiles (¹³¹I) se utilizará mascarilla protectora, para administrar cápsulas bastará el uso de protector de tiroides y bata plomada.
 - ✓ Al finalizar la manipulación de los radioisótopos, se verificará la posible existencia de contaminación en su ropa y calzado con un contador de contaminación
 - ✓ En caso de contaminación: ducharse, cambiarse la ropa y aplicar las medidas de descontaminación que se precisen.
 - ✓ Como norma general conviene lavarse las manos con agua y jabón al abandonar el trabajo, utilizar ropa específica para el trabajo (uniforme) y lavarla cada turno.
2. En las salas siempre se encontrarán el menor número de personas posible, compatible con la manipulación y colocación del paciente e instrumental.
3. El personal de la instalación controlará el acceso de personas ajenas a la misma.
4. Se prohibirá la entrada de personas no necesarias a las distintas salas donde haya riesgo de contaminación o irradiación, especialmente a mujeres embarazadas y a menores de 18 años.

Para localizar a alguien se llamará por interfono o teléfono desde el exterior.

5. En caso de contaminación de personas o superficies de cualquier sala de la instalación se aplicará el plan de emergencia, donde estarán indicadas las actuaciones a seguir.
6. No se introducirá ningún objeto que no sea estrictamente necesario, evitando así extender la posible contaminación.
7. Los recintos de manipulación de los radiofármacos estarán siempre libres de cualquier otra fuente, para disminuir la irradiación en las manos.
8. Cumplimentar el diario de operaciones
9. El personal encargado de la inyección a pacientes utilizará guantes de plástico, de un solo uso, que posteriormente se tratará, como residuo sólido.
10. Previamente a la inyección del material radiactivo, se comprobará que la dosis corresponde al paciente.
11. La jeringa con el radionucleido a inyectar al paciente, se trasladará en un contenedor emplomado, manteniéndolo, a ser posible, cuando se inyecte.
12. Nadie que tenga una herida abierta (vendada o no) por debajo de la muñeca trabajará con radionucleidos, evitando así el riesgo de contaminación interna.
13. Periódicamente se verificará la ausencia de contaminación superficial en suelo, superficies y objetos de trabajo.
14. Antes de enviar cualquier tipo de ropa a la lavandería se verificará que no se encuentran contaminadas.
15. Todo paciente inyectado se considerará como una fuente radiactiva, por ello:
 - ✓ Se le avisará, previamente a la realización del estudio, que no venga acompañado por menores de 18 años o mujeres embarazadas.
 - ✓ En lo posible, no saldrá de sala de espera de pacientes inyectados, excepto para abandonar el hospital.
 - ✓ No entrará en sala de pacientes inyectados hasta que no se le aplique el radiofármaco.

- ✓ En dicha sala sólo permanecerán las personas inyectadas. La entrada de acompañantes deberá ser autorizada por el personal de la instalación.
- ✓ Se evitará inyectar fuera de la sala de inyección y en la sala de espera.
- ✓ La actividad inyectada será la menor posible, compatible con el estudio a realizar.
- ✓ Tras la realización de una exploración radiológica a pacientes hospitalizados, se remitirán instrucciones personalizadas para el personal que lo atienda posteriormente.
- ✓ En caso de realizar estudios a mujeres en edad de procrear, se constatará de forma previa que no está embarazada o que está dentro de los 10 días (preferiblemente 5) siguientes al inicio de la menstruación.

NORMAS DE TRABAJO EN RADIOTERAPIA

Normas de Acceso a las Salas de Tratamiento

1. No entrar en las salas de tratamiento si no es imprescindible.
2. Antes de entrar en cualquier búnker se comprobará que no hay irradiación, mediante el detector ambiental o la señalización luminosa.
3. Siempre que se entre al búnker del ALE se retirará la llave del control. Esta operación se considera de seguridad propia de la persona que entra en la sala e impide la posibilidad de que se realice un disparo de forma accidental.
4. El acceso a las salas de tratamiento está permitido únicamente al personal perteneciente a la instalación, con permiso del responsable de consola. Cualquier otra persona que deba entrar, lo hará siempre en compañía de personal acreditado.
5. Recibir permiso de entrada no libera del cumplimiento de las normas de acceso e irradiación.

6. Si el responsable de consola debe abandonarla lo hará en posesión de la llave de accionamiento del equipo o dejará a otro responsable en consola. Nunca debe darse la situación de llave de accionamiento de la unidad colocada y ausencia de responsable en consola.

Normas de Irradiación

1. No se pondrá en marcha ninguna unidad, si no se han realizado las verificaciones necesarias. Para ello deberá dar permiso escrito en el Libro Diario de Operaciones el servicio de Radiofísica.
2. Antes del inicio de cualquier irradiación se asegurará que no hay nadie en el búnker a excepción del paciente en caso de irradiar para un tratamiento.
3. Antes de irradiar se comprobará la correcta elección de parámetros y posicionamiento del paciente (en su caso).
4. Solamente el paciente, y para recibir su tratamiento, permanecerá dentro del búnker durante el tiempo que dure éste.
5. El tratamiento se controlará continuamente a través de los monitores de televisión, interrumpiéndolo cuando se considere que no cumple las condiciones pretendidas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diego E. Burgos, Damián Guirado, José R. Román. Protección Radiológica en Radioterapia. Almería: EDICON 1998.
2. Diego E. Burgos, Damián Guirado, José R. Román. Protección Radiológica en Radiodiagnóstico. Almería: EDICON 1998.
3. Diego Burgos, Damián Guirado, José R. Román. Protección Radiológica en Medicina Nuclear y Laboratorios. Almería: EDICON 1998.
4. ICRP-25. The Handling, Storage, Use and Disposal of Unsealed Radionuclides in Hospitals and Medical Research Establishments.
5. ICRP-28. The Principles and General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers.
6. ICRP-57. Radiological Protection of the Worker in Medicine and Dentistry.

MÓDULO IV: MEDIOS DE CONTRASTE EN RADIOLOGÍA.

19. CONTRASTES EN EXPLORACIONES CON RAYOS X.

Gabriel Aguilera Manrique.

20. CONTRASTES EN RESONANCIA.

Antonia Pérez Galdeano.

21. ECO POTENCIADORES.

Cayetano Fernández Sola.

22. RADIOFÁRMACOS

Cayetano Fernández Sola.



Ilustración: Imágenes de una angioresonancia y una arteriografía con sustracción digital

*“... Cójase a un vivo, al que sin previo aviso
se le inyecta en las venas un pigmento.
El contraste, ni rauda ni remisio,
llega hasta el arrabal del pensamiento”.*

(José Hierro. Emblemas neurorradiológicos. 1990).

CAPÍTULO 19. CONTRASTES EN EXPLORACIONES CON RX.

Gabriel Aguilera Manrique

INTRODUCCIÓN

Una de las intervenciones de enfermería más frecuentes en los servicios de diagnóstico por imagen es la administración de contrastes y la consiguiente vigilancia. Por ello, el enfermero debe estar familiarizado con estas sustancias; conocer, prevenir y combatir los efectos adversos; explicar al paciente la necesidad de administrar el contraste, sus complicaciones y recoger el consentimiento firmado por el paciente aclarando las dudas que éste tenga al respecto. Así mismo debe registrar los volúmenes administrados, vía utilizada, exploración realizada, efectos observados, etc.

El principio de este grupo de sustancias es la atenuación de la radiación, de manera que las estructuras que se rellenan o captan el medio de contraste destacan en la imagen (contrastan) con respecto de las estructuras vecinas.

ADMINISTRACIÓN ORAL

DEFINICIÓN

Sustancias utilizadas en estudios radiológicos para rellenar el tubo digestivo y realzar las estructuras que le rodean o lesiones que podrían confundirse con asas intestinales.

TIPOS DE CONTRASTE ORAL

Se utilizan principalmente dos sustancias en la composición de los contrastes orales, el yodo (hidrosoluble) y el bario.

1. Contrastes baritados: El bario es una sustancia inerte que se prepara de en suspensión, pudiendo diluirse o mezclarse para formar una pasta. Es más denso que el agua y por consiguiente es más visible que el medio de contraste yodado hidrosoluble. Cuando los preparados de bario se utilizan espesos, tienen como propósito cubrir la mucosa intestinal, en tanto que el contraste hidrosoluble sólo llena el lumen del intestino, no se adhiere a la mucosa con la misma eficacia.

- 2. Contrastes yodados:** como soluciones de amidotrizoato sódico y meglumina (Gastrografin) son medios de contraste iónicos; se mueven más deprisa en el tránsito gastrointestinal que las suspensiones de bario, por esto permiten realizar una exploración rápida del intestino grueso cuando el paciente no puede cooperar para llevar a cabo un estudio satisfactorio con enema o cuando se requiere un relleno intestinal rápido como en exploraciones de TAC.
- 3. El aire** también se utiliza como contraste negativo por tener menos densidad que el tejido que lo contiene.

TÉCNICAS DE CONTRASTE ORAL:

- **Técnica de contraste simple** cuando se utiliza un sólo medio de contraste, generalmente se recurre al bario menos espeso, para no oscurecer las anormalidades de la mucosa o el lumen intestinal.
- **Técnica de doble contraste** cuando se utiliza conjuntamente con otro medio de contraste. Se utiliza el bario más espeso que reviste la mucosa intestinal y se introduce aire en el lumen intestinal para distenderlo, permitiendo obtener un perfil de la mucosa.

CONSIDERACIONES PREVIAS

- Comprobar identidad del paciente, prueba solicitada, e información clínica aportada. Revisar la integridad y fecha de caducidad del producto.
- Asegurarnos que el paciente está en ayunas.
- Información de la técnica a realizar, necesidad y modo de la administración del contraste y firma de la autorización del paciente. Comunicarle el sabor amargo del producto.
- Hacer la dilución correcta que prescriba el radiólogo.
- La posición del paciente dependerá del tipo de estudio: en la T.A.C., después de tomar el contraste oral debe permanecer el paciente en decúbito supino, en estudios dinámicos (tránsitos) el radiólogo irá

variando la posición del enfermo en función de las necesidades del estudio.

PRECAUCIONES/RECOMENDACIONES

El contraste yodado está contraindicado en caso de reacciones alérgicas previas y el baritado en sospecha de perforación intestinal.

Explicar al paciente que puede aparecer ocasionalmente diarrea, que cede de forma espontánea y que puede agravar una colitis o enteritis existente.

En caso de que aparezcan náuseas, es preferible la toma lenta del preparado e incluso la supresión de alguna de las tomas a forzar su ingestión y que aparezcan vómitos.

El preparado se puede administrar por sonda nasogástrica si el paciente está inconsciente o intubado, tras lo cual se ha de pinzar la sonda.

En pacientes con pancreatitis suele ser muy importante la administración de contraste, pero a su vez resulta muy penosa, porque provoca malestar y vómitos con facilidad.

En pacientes diabéticos se puede detectar una subida de glucemia en controles posteriores

PROCEDIMIENTO.

Esofagografía: Se le da al paciente una suspensión de sulfato de bario en un vaso, pidiéndole que trague varios sorbos y mantenga el resto en la boca hasta el momento inmediatamente anterior a la exposición.

Serie gastroduodenal: El paciente debe acudir en ayunas de 8 horas. No es aconsejable que fumen desde la noche anterior. Para la técnica de doble contraste se utiliza además el gas, producido por una bebida carbonatada, polvo, cristales o píldoras especiales efervescentes.

Estudio de tránsito intestinal: Con el contraste oral se puede estudiar cualquier segmento del intestino según se vayan opacificando las asas intestinales. Algunos radiólogos utilizan estimulantes para acelerar el peristaltismo como agua fría, té, café. Finaliza la exploración cuando el contraste alcanza la válvula ileocecal.

Es preferible el contraste de bario al hidrosoluble ya que este se diluye con facilidad y no se ve con detalle la mucosa

Estudios de TAC: El objetivo es conseguir una cantidad adecuada de contraste en el tracto gastrointestinal para su visualización mediante TAC. Habitualmente se utiliza solución de bario de poca concentración (al 1,5 %) ya que a mayor concentración produce artefactos que impiden realizar una exploración nítida.

La pauta de administración varía dependiendo de la exploración pero para conseguir un óptimo relleno de todo el tracto gastrointestinal hasta el recto se llenan 6 vasos con la dilución de bario al 1.5%, y se administran a razón de dos vasos cada media hora, guardando dos para el momento de comenzar el TAC, con el fin de contrastar estómago y duodeno.

ADMINISTRACIÓN RECTAL

DEFINICIÓN

Introducción del medio de contraste a través del esfínter anal, con el fin de conseguir que la ampolla rectal y el intestino grueso tengan una cantidad adecuada de contraste para su visualización.

PROCEDIMIENTO

En estudios de TAC: Preparar el material y la dilución de contraste. Explicar el procedimiento al paciente y colocarlo en decúbito lateral izquierdo sobre el salvacamás. Introducir la sonda lubricada por el esfínter anal, hasta que el balón se aloje en el interior; Inflar el balón con unos 10 cc de suero salino y conectar el sistema de suero con la sonda. Administrar la solución y clampar la sonda. Al terminar el estudio evacuar en lo posible la solución administrada.

Enema opaco: Está contraindicado en caso de peritonitis, presencia de aire libre en peritoneo y en sospecha de megacolon.

El paciente se coloca en decúbito lateral izquierdo, con la rodilla derecha flexionada sobre la mesa por delante y por encima de la rodilla izquierda. Esta postura relaja la musculatura abdominal, lo que disminuye la presión intraluminal rectal y hace menos difícil la relajación del esfínter anal.

El contenido del enema debe estar 45-60 cm por encima del nivel del ano. Se purga el sistema y se lubrica la sonda rectal. No debe

introducirse más de 8-10 cm de sonda rectal, ni forzarse el tubo. En coordinación con el técnico y el radiólogo, se libera la pinza de control y se inicia el flujo del enema. El bario debe fluir suficientemente para cubrir las paredes del colon.

También se emplean métodos de contraste único o de doble contraste. (Bario más aire).

PRECAUCIONES/RECOMENDACIONES

En los pacientes intervenidos de cáncer de colon, hay que consultar la historia clínica y preguntar al paciente si tiene orificio de colostomía, si es así, tendrá un ano desfuncionalizado, al cual abocará un saco ciego, entonces habrá que rellenar dicho saco intestinal lentamente.

En pacientes intervenidos recientemente existe riesgo de provocar una dehiscencia de la sutura. En pacientes con enterostomía no deben utilizarse sondas con globo.



Ilustración 1: Contrastes baritados de administración enteral.

ADMINISTRACIÓN ENDOVENOSA

DEFINICION

Consiste en la perfusión de un medio de contraste por vía endovenosa, para conseguir un alto nivel en torrente circulatorio y así realzar órganos o sistemas vascularizados.

TIPOS DE MEDIOS DE CONTRASTE I.V.

1. **Medios de contraste iónicos**, de gran osmolaridad, contienen sales que se disocian en cationes (sodio, meglumina) y aniones. La dosis máxima recomendada es de 2 ml/kg. de peso.
2. **Medios de contraste no iónicos**, de poca osmolaridad; compuesto por monómeros que no se disocian; los más utilizados son soluciones acuosas de iohexol, ioversol, iopamidol, iopromida... Se acompañan de

menos efectos secundarios aunque son más costosos que los primeros.

El yodo es muy adecuado para ser utilizado como medio de contraste radiológico ya que su elevado número atómico atenúa intensamente los rayos X.

En adultos con función renal normal, y sin riesgos añadidos se considera seguro utilizar hasta 5 ml/kg. de un contraste de 300-350 mg/ml. En niños 2-3 ml/kg a una concentración de 240-250 mg/ml.

PAUTAS DE ADMINISTRACIÓN

En función del área de estudio y de la patología se utilizan diferentes pautas:

- 1) **Visualización precoz o estudios de "primer paso"**: requiere una alta concentración en un periodo corto de tiempo (por ejemplo, en aneurisma). Se inyecta el contraste en embolada.
- 2) **Inyección dinámica**: Se administra la mitad del contraste en embolada y la otra mitad en perfusión rápida, (ejemplo 50 ml a 2.5 ml/seg. y 50 ml a 1ml/seg.
- 3) **Inyección no dinámica**: Se inyecta el contraste y posteriormente se realiza la exploración. Pueden interesar cortes tardíos.

PRECAUCIONES/RECOMENDACIONES

Explicar al paciente la necesidad del contraste y obtener su consentimiento.

Interrogar al paciente acerca de la historia alérgica y específicamente al contraste yodado así como de las exposiciones previas al MC.

Asegurar el ayuno desde al menos seis horas previas, para evitar el riesgo de aspiración en caso de reacción alérgica.

Valorar presencia de diabetes; problemas cardíacos y renales; evitando la deshidratación antes de la inyección. En pacientes en diálisis se debe citar la exploración lo más próxima a la sesión siguiente.

Calentar el contraste antes de la inyección reduce los efectos adversos relacionados con su administración.

REACCIONES A LOS MEDIOS DE CONTRASTE YODADOS

SEGÚN EL MECANISMO

1. **Pseudoalérgica o idiosincrásica**: De la que se desconoce el mecanismo exacto. Los síntomas son similares a los de

reacciones alérgicas e incluyen urticaria, edema asma, rinitis, broncoespasmo e hipotensión. Pueden desencadenar la muerte en 1/100.000 pacientes.

La diferencia con las reacciones alérgicas verdaderas es que éstas últimas pueden detectarse previamente con un test de alergia porque el anticuerpo responsable (IgE) permanece en sangre después del primer episodio; algo que no ocurre con los MCR, lo que invalida cualquier test de alergia.

2. **Tóxicas:** producidas por acción de la estructura química del contraste sobre células endoteliales, proteínas circulantes y sistemas enzimáticos que desencadenan cambios hemodinámicos en dichos órganos y estructuras (nefrotoxicidad, arritmias, reacciones vasovagales, etc.). Estos efectos son reversibles, están en relación con la dosis y se ven agravados por algunas enfermedades preexistentes (diabetes, hipertensión, deshidratación, etc.).
3. **Reacciones locales:** dolor, flebitis, extravasación, necrosis, calor.

SEGÚN LA GRAVEDAD

1. **Leves:** Son las más frecuentes (99% del total). Ceden espontáneamente, sin requerir tratamiento, incluyen síntomas como calor, urticaria, náuseas...
2. **Moderadas:** Es necesario el tratamiento en la sala de Rayos, pero no pone en peligro la vida del paciente, como edema, vómitos broncoespasmo leve, flebitis...
3. **Graves:** Edema de laringe, broncoespasmo severo, shock. Pueden ser letales. Ante una reacción grave ha de tomarse medidas terapéuticas inmediatas: El broncoespasmo puede tratarse con broncodilatadores en inhalación, oxígeno y líquidos intravenosos. Si el broncoespasmo no responde o si existe edema laríngeo e hipotensión, se administra epinefrina, 1/1000, de 0.1 a 0.3 cc subcutáneo, (puede repetirse hasta tres veces). Si resulta ineficaz o se produce colapso vascular periférico, se aplica por vía intravenosa una dosis de 1

a 3 ml de epinefrina en dilución de 1:10000, maniobras de RCP si procede.

Cualquier reacción adversa debe quedar registrada, indicando la molécula, concentración, dosis utilizada, síntomas aparecidos y el tratamiento administrado. Debe hacerse llegar al equipo de salud demandante y comunicar al paciente que en lo sucesivo advierta que es alérgico a los MCR.

PREMEDICACION AL CONTRASTE.

De discutida indicación en pacientes de riesgo moderado. Un esquema sugerido es tres dosis altas de corticoides 12 horas antes que el medio de contraste y un antihistamínico dentro de la hora previa.

Si el riesgo es alto, se propondrán estudios de imagen alternativos que no requieran contraste yodado como la RMN.

BOMBAS DE INYECCIÓN

Por último, destacaremos algunos aspectos importantes de la bomba de inyección que asegura un flujo continuo de contraste y evita que el personal permanezca en la sala y se exponga a las radiaciones. (Figura 1). La bomba de inyección tiene múltiple parámetros que se pueden modificar según las necesidades de la exploración, caudal. (De 0.1 a 9.9 ml/seg.), volumen (de 30 a 200 ml), límite de presión (desde 2 a 21 Kg./cm) y retardo de inyección. (De 0 a 250 seg



Ilustración 1: Bomba de inyección de contraste.

Los principales riesgos en su utilización son la embolia aérea, prevenible purgando la jeringa, la extravasación, prevenible asegurando una óptima permeabilidad y la infección, evitable utilizando jeringas precargadas y medidas asépticas.

ESTUDIOS

La Tomografía Computarizada con contraste, a menudo, mejora la exactitud del diagnóstico, delimita vasos de otras estructuras como ganglios linfáticos y estudia la captación de órganos y tejidos.

Urografía Intravenosa: Administración en bolo, de unos 100 ml en adultos y hasta 3 cc por kilogramo de peso en niños de un contraste de menor concentración.

Flebografía periférica: Se canaliza una vena superficial del pie por donde se inyectará el contraste, se impide la circulación superficial con dos torniquetes uno por encima del tobillo, y otro por debajo de la rodilla. En los miembros superiores, los torniquetes se colocan en posición proximal a la muñeca y al codo para forzar al medio de contraste hacia las venas profundas.

OTRAS VÍAS DE ADMINISTRACIÓN

Linfografía: Se utiliza contraste de aceite yodado (ethiodol). Para localizar los vasos linfáticos, unos 15 minutos antes del estudio se administra por vía subcutánea, en los espacios interdigitales, un colorante azul que se absorbe selectivamente por los vasos linfáticos. El colorante produce coloración azulada de la orina y la piel, que desaparece a las pocas horas; y el contraste puede desencadenar reacciones adversas.

Colangiografía: Estudio, con contraste de eliminación biliar, del colédoco y vesícula biliar.

En la colangiografía intravenosa, el contraste, muy tóxico, se administra en perfusión lenta (50 ml en ½ hora). Suele desencadenar reacciones adversas por lo que se ha de extremar la vigilancia del paciente. Se trata de una exploración en desuso, sustituida hoy por la resonancia.

En la intra-operatoria, se administra contraste yodado a través de una aguja por el colédoco, rellenándose los conductos intrahepáticos principales, así como la vía extrahepática.

En la colangiopancreatografía endoscópica retrógrada se administra el

contraste diluido a través de la ampolla de Vater por vía endoscópica.

Cistografía: El contraste se administra por vía vesical colocando un catéter (tipo Foley) al que se conecta un sistema de perfusión al contraste que caerá por gravedad hasta rellanar la vejiga.

Uretrografía, indicada en varones con estenosis uretral. El contraste se administra canalizando el extremo distal de la uretra introduciendo el catéter uretral 1-2 cm. El enfermero, ejerce una tracción del pene (valiéndose de una pinza almohadillada) y simultáneamente inyecta el contraste cargado en una jeringuilla de 50 ml.

BIBLIOGRAFÍA

1. Burch D. Radiologists as a screening tool. The Lancet 2002, 360. 728-729.
2. Cesar S. Pedrosa – Rafael Casanova. Diagnostico por imagen. Ed. McGraw-Hill Interamericana.1994.
3. Chan O, Hughes T. ABC of emergency radiology: Hand. British Medical Journal 2005, 330: 1073.
4. Douglas S.- Kevin R.- Stuart A. Secretos de la radiología. Ed. McGraw-Hill Interamericana.2000.
5. Guerrero F. J. – Padrón C. Manual de TC. Ed. Bartri Comunicación. 1998.
6. Hans H. Schild. “Ver o no ver”, todo sobre medios de contraste. Schering diagnostico. 1995.
7. Monografía de Ultravist. En cuestión de contrastes. Laboratorio Schering diagnóstico.1999.
8. Pedrosa, C.S Diagnostico por imagen. Tratado de radiología clínica. Vol. 1. Ed. Interamericana-McGraw-Hill, 1989.
9. Philip W. Ballinger. Merrill. Atlas de Posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos. Edt Masson-Salvat Medicina. 2003.

CASO PRÁCTICO

Un paciente acude de forma programada para la realización de una arteriografía. Refiere haber descansado mal por la ansiedad que le produce estas pruebas. A los 30 segundos de estar introduciendo el contraste intravenoso, refiere mareo, nauseas, disnea y calor en la zona de perfusión.

1. Define la situación
2. Actuación de enfermería a través de la valoración por necesidades, posibles diagnósticos de enfermería presentes y resultados e intervenciones propuestas, según clasificaciones estandarizadas (NANDA, NOC y NIC).
3. Haz tu propuesta de actuación normalizada en este tipo de casos.

CAPÍTULO 20. CONTRASTES EN RESONANCIA.

Antonia Pérez Galdeano.

INTRODUCCIÓN

Los medios de contraste utilizados en estudios de imagen por resonancia magnética (IRM), amplifican las diferencias de señal entre las diversas estructuras orgánicas obteniéndose una información nueva y más específica. Estos agentes, una vez distribuidos por el organismo, revelan zonas más o menos oscuras, es decir, zonas con variables fisiológicas distintas de las normales. Cada tipo de contraste informa sobre variables fisiológicas diferentes.

Una exploración de RM se compone de varias secuencias potenciadas con diferentes agentes de contrastes para obtener una información completa de los tejidos analizados.

El empleo de estos agentes que permiten la diferenciación tisular es relativamente reciente, ya que comenzaron a utilizarse en la década de los años 80.

DEFINICIÓN

Un agente de contraste para IRM es una sustancia que se utiliza para alterar, de forma selectiva, la intensidad de imagen de una determinada zona anatómica o funcional, alterando habitualmente los tiempos de relajación; con ello se aumenta el contraste entre los tejidos normales y los patológicos y se obtiene información del estado funcional de un órgano (estudios de primer paso, estudios dinámicos).

Mientras que en los estudios con RX los medios de contraste se observan por visualización directa (atenúan el haz de radiación), en RM los contrastes son de visualización indirecta, pues se hacen observables por las modificaciones que producen en las relajaciones de los protones del entorno (Cuando acortan el tiempo de relajación T1 se observa hiperintensidad en imágenes potenciadas en T1; si acortan el T2, se observarán hipointensidades en imágenes potenciadas en T2).

Se basan en que algunas capas del átomo poseen electrones no apareados (el

campo magnético del electrón es 1000 veces más intenso que el del protón) ejerciendo en consecuencia una influencia magnética muy intensa en los tejidos a los que llegan mientras que los electrones apareados interrumpen sus momentos magnéticos y no ejercen ningún efecto.

CLASIFICACIÓN

SEGÚN EL PRINCIPIO ACTIVO:

✓ **Paramagnéticos:** los basados en el gadolinio Gd, y en el manganeso Mn. Los primeros son los más utilizados. Tienen un momento magnético muy intenso, con un mayor número de electrones no apareados y, en consecuencia, un mayor magnetismo. También existen sustancias producidas por el organismo con propiedades paramagnéticas, que modifican el contraste en la IRM. Ejemplo de ello son la melanina y la metahemoglobina, que pueden producir un acortamiento del T1 y, en determinadas circunstancias, verse hiper-intensas.



Ilustración 1: Vial de contraste con gadolinio para administración endovenosa.

✓ **Superparamagnéticos:** están compuestos de óxido de hierro como el USPIO, siglas de *Ultra-small Superparamagnetic Iron Oxide*; o el SPIO o *Superparamagnetic Iron Oxide*.

SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN

✓ **Inespecíficos extracelulares:** tras la administración IV del medio de

contraste, éste atraviesa la circulación pulmonar llegando finalmente al espacio extracelular o intersticio. Su eliminación se realiza por vía renal. Dentro de este grupo, los contrastes paramagnéticos basados en el gadolinio son los más utilizados.

- ✓ **Específicos intracelulares:** son los que, unidos a los ligantes, llegan específicamente al hepatocito. Su eliminación es biliar o renal.
- ✓ **Específicos intravasculares:** Partículas ultrafinas (20-50 nm) que permanecen un tiempo en la sangre, comportándose como un “pool sanguíneo”.

SEGÚN LA MODIFICACIÓN DE LA SEÑAL

- ✓ **Positivos:** aumentan la intensidad de la señal del tejido diana. Un ejemplo es el gadolinio.
- ✓ **Negativos:** disminuyen la intensidad de la señal del órgano o tejido diana. Ejemplos de este tipo los constituyen el USPIO y el Spio en Sistema Retículo Endotelial (SRE).

Todos los medios de contraste en IRM pueden comportarse como positivos y negativos, en función de las propiedades de la molécula (paramagnéticos, superparamagnéticos), la concentración y la secuencia utilizada.

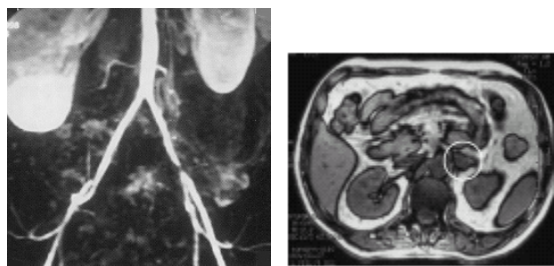


Ilustración 2. Aplicaciones del contraste en resonancia magnética: angioresonancia de vasos abdominales con contraste específico intravascular (derecha) y contraste negativo en RM, con zonas de captación hipointensas (izquierda).

VÍAS DE ADMINISTRACIÓN

VÍA ENDOVENOSA. Los más utilizados:

- **El Gadolinio:** es un metal raro del grupo de los lantánidos que se comporta como contraste paramagnético inespecífico del espacio extracelular. Tras un corto

periodo en el espacio intravascular, difunde rápidamente al espacio intersticial, excretándose totalmente por vía renal.

La dosis habitual es de 0.1 mmol/kg de peso (0.2 cc/kg), pudiendo ser útil en determinados casos administrar dosis más altas (hasta 0.3 mmol/kg).

Cuando va ligado un agente quelante no iónico (Prohance[®], Omniscam[®]) puede administrarse en bolus, siendo bien tolerado gracias a su baja osmolaridad y viscosidad. En caso de serlo un agente iónico (Magnevist[®], Magnograf[®]...), debe administrarse en inyección o perfusión lenta.

Todos ellos son prácticamente inocuos (3% de reacciones de grado medio, que se tratan igual que las reacciones al contraste yodado) y no tienen contraindicaciones, salvo la reacción alérgica previa.

Los derivados del gadolinio se emplean sobre todo para la evaluación del sistema nervioso central.

- **El manganeso:** es un metal fuertemente paramagnético, aunque menor que el gadolinio, puede ser tóxico si se inyecta libremente en el organismo, por lo que se une a un agente quelante (Teslascan[®]). Una vez inyectado el Mn se libera del quelante y se une a las proteínas plasmáticas siendo de rápido aclaramiento en sangre. De excreción biliar, se elimina por las heces de modo similar al ingerido en la dieta.

La dosis de inyección es 0.5 cc/kg a una velocidad de 2-3 cc/minuto. Resulta útil en estudios de colangioresonancia.

Está contraindicado en casos de insuficiencia renal o hepática severa, enfermedad cardíaca grave, alteración de la barrera hematoencefálica, embarazo y lactancia.

- **Las partículas de óxido de hierro,** con recubrimiento biocompatible, se emplean como sustancias superparamagnéticas que se comportan como contraste negativo. Según su tamaño se denominan: a) USPIO, son partículas ultrafinas que, una vez en la circulación

sanguínea, son captadas y fagocitadas por los macrófagos del sistema retículo endotelial, distribuyéndose en hígado, bazo y nódulos linfáticos normales, y b) SPIO, contraste específico dirigido al hepatocito, cuando su tamaño es mayor y son captadas de forma rápida y preferente por las células del SER (células de Kupffer).

Está contraindicado en niños. La dosis es de 0.0075 ml/kg, diluida en 100 ml de suero glucosado en perfusión lenta durante 30 minutos.

Es frecuente la aparición de dolor lumbar después de su administración, en cuyo caso es conveniente esperar unos 30 min., y reanudar a menor velocidad.

ADMINISTRACIÓN ENTERAL

De uso muy limitado que, sin embargo, va en aumento dado el interés de la colonoscopia virtual y el estudio de la patología intestinal con RM. Se utilizan preparados para delimitar la luz gástrica e intestinal.

Se comercializan distintas suspensiones (Lumirem[®]; FerriSeltz[®], Abdoscan[®]...), basadas en las mismas moléculas utilizadas por vía endovenosa; pero su elevado precio lleva a muchas instituciones a su sustitución por diluciones de gadolinio en agua (1:200).

INVESTIGACIÓN EN MEDIOS DE CONTRASTE

Aunque actualmente la Resonancia Magnética es incuestionable para la diagnosis médica, los investigadores saben que de los datos se puede “extraer” mucha más información de la que hoy es posible. Los medios de contraste representan un campo de investigación y desarrollo continuos.

Según Ballesteros, Directora del grupo de investigación interdisciplinar “Grupo de Síntesis Orgánica e Imagen Molecular por Resonancia Magnética”, “al principio sólo servían para saber si hay algo raro o no”. En la actualidad, la búsqueda de nuevos agentes se encamina, en el caso de los tumores, no sólo a que ofrezcan información sobre los mismos sino que den

pistas sobre su malignidad. La clave está en usar nuevos agentes de contraste, compuestos que revelan determinadas características de los tejidos durante la RMN. Dicho grupo, busca y diseña nuevos tipos de contraste. De momento, ya han transferido una patente a la industria.

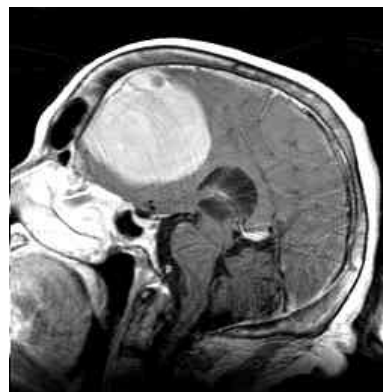


Ilustración 3: menigioma, IRM con gadolinio.

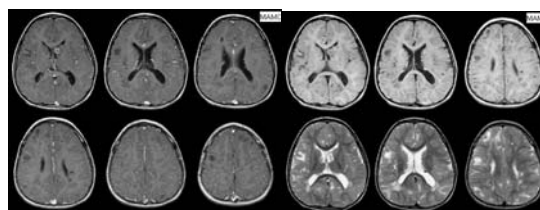


Ilustración 4: imágenes de RM del cerebro sin y con contraste.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almandoz T. Equipo Osatek. Guía práctica para profesionales de Resonancia Magnética. Bilbao: Osatek SA; 2003.
2. Ellis JH. Resonancia Magnética. En: Ballinger PW. Merrill Atlas de Posiciones Radiográficas y Procedimientos Radiológicos. Tomo 2. 8ª ed. Madrid: Harcourt; 2001. cap.36. p 192.
3. Grupo de Síntesis Orgánica e Imagen Molecular por Resonancia Magnética. (UNED). Como hacer que una imagen lo diga todo. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/informacionIDI/entrevistas/quienesquien/detalleGrupo.asp?id=4>. Fecha de acceso 28/02/2005
4. Lafuente J. Atlas de Tecnología de la Resonancia Magnética. Una explicación intuitiva. Madrid: Mallinckrodt; 2002.
5. López S. Pérez G. García JR. Simón M. Lomeña F. Imágenes de interés: Metástasis suprarrenales de carcinoma pulmonar. RESER 2004; 1 (1): 25

CAPÍTULO 21. ECOPOTENCIADORES.

Cayetano Fernández Sola.

INTRODUCCIÓN

La ecografía es uno de los métodos que con más fuerza se incorpora al diagnóstico por imagen. Pero esto no ocurre sólo en los servicios de radiología, sino que un buen número de especialidades incorporan el ecógrafo en su gabinete diagnóstico. Entre éstas, destaca la cardiología, que incorpora equipos ecográficos especialmente diseñados para el estudio de los grandes vasos y cavidades cardiacas.

Ya aludimos al desarrollo de sustancias que mejoran la imagen de cada uno de los procesos físicos que se utilizan para la obtención de las mismas. Los genéricamente llamados “contrastes” no quedan restringidos al uso de rayos x, también la ecografía contará pronto con sustancias potenciadoras de la señal ecográfica, muy útiles en el estudio diagnóstico con ecografía doppler.

DEFINICIÓN

Sustancias administradas por vía endovenosa que operan como reflectores de la onda ultrasónica, mejorando el eco. Se utilizan para una mejor visualización de los grandes vasos y cavidades cardiacas.

Se trata de microburbujas de gas, más pequeñas que los hematíes, que atraviesan los capilares pulmonares permitiendo estudiar las cavidades cardiacas y la circulación derecha e izquierda. Al no atravesar en endotelio de los vasos, potencian la señal ultrasónica solamente en el espacio intravascular.

Las nuevas generaciones de contrastes ecográficos contienen burbujas de gas más estables y duraderas, que permiten estudiar la vascularización tumoral durante periodos de tiempo más prolongados. Mediante el empleo de softwares avanzados se consigue realizar exploraciones dinámicas de las distintas fases vasculares (arterial, portal, etc.) de manera similar a las realizadas con los TC helicoidal multifásica.

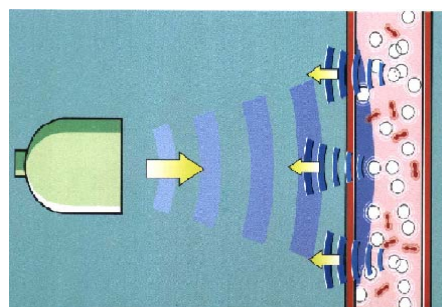


Ilustración 1: esquema del funcionamiento del ecopotenciador. Las microesferas de gas, mantenidas en el compartimento vascular, mejoran la reflexión de la onda ultrasónica.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

Han de administrarse con especial cuidado y extremando la vigilancia en caso de:

- Insuficiencia cardiaca grave,
- Enfermedad pulmonar (riesgo de microembolización),
- Infarto Agudo de Miocardio (dejar transcurrir tres días desde un episodio de IAM hasta la administración del ecopotenciador),
- arritmias y angina inestable.

Está contraindicado en:

- Hipertensión arterial,
- Distrés respiratorio del adulto,
- Derivación cardiaca derecha-izquierda,
- Alergia a alguno de los componentes.

EFFECTOS ADVERSOS

Los que con mayor frecuencia se han descrito son: picor, dolor abdominal o torácico, visión borrosa, sequedad de boca.

PROCEDIMIENTO:

- ✓ Comprobar la indicación, dosis, identificación del paciente, alergias, contraindicaciones, consentimiento informado, exploración, etc.

- ✓ Informar al paciente de la necesidad del empleo del contraste, de las sensaciones que puede experimentar...
- ✓ Colocar un catéter en vía periférica (20 G), que mantendremos permeable hasta el final del estudio.
- ✓ Unir una llave de tres pasos al catéter, para facilitar la administración del contraste y el lavado de la vía.
- ✓ Preparar y cargar el contraste. Se comercializan dos presentaciones:
 - a. Suspensión en albúmina humana de un gas contenido en microesferas de albúmina humana. (color claro con microesferas blancas en la capa superior del vial).
 - Ha de agitarse suavemente durante 3 minutos hasta obtener una solución lechosa;
 - Sacar el contenido sin inyectar aire a presión en el vial;
 - inyección lenta de una primera dosis (1 cc/minuto), comprobando que la suspensión no se haya separado.
 - Puede repetirse la dosis sin exceder de 8'7 ml.



Ilustración 2. Preparación del ecopotenciador.

- b. Suspensión de partículas de galactosa con agua para inyección, presentada en un vial con gránulos desecados más una ampolla de 20 ml de agua para inyección.
 - Para reconstituir la suspensión, se extrae el agua necesaria para alcanzar la concentración prescrita,

- Se inyecta en el vial utilizando el equipo perforador incluido en el set,
- se agita vigorosamente entre 5 y 10 minutos
- se deja reposar 2 minutos.
- Extraer con la jeringuilla la suspensión homogénea
- inyectar antes de 10 minutos según prescripción (lenta, bolo).



Ilustración 3: Equipo de preparación de la suspensión.

- ✓ Después de cada inyección se administran 10 ml de suero fisiológico para lavar la vía.
- ✓ Registrar en la historia del paciente, las intervenciones realizadas, las dosis administradas y los efectos adversos observados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Garrido MD, Labernia R, Tutusaus A, Sarda R. Atención de enfermería a los pacientes sometidos a ultrasonografía cardiaca con contraste endovenoso. *Enfem Rad* 2002; (54): 11-13.

CAPÍTULO 22. RADIOFÁRMACOS.

Cayetano Fernández Sola.

INTRODUCCIÓN

Las sustancias radiactivas se empezaron a utilizar con fines diagnósticos y terapéuticos en los años 30 del s. XX. El radioyodo para el estudio de la glándula tiroidea y el fosfato sódico (^{32}P) para el tratamiento de la leucemia inician un camino que, desde entonces, está en continua evolución. Con el descubrimiento de la radiactividad artificial y la invención del ciclotrón, da comienzo la producción de numerosos elementos químicos que fueron unidos a diversas sustancias y células, lo que permitió la captación selectiva por determinados órganos y condujo al rápido desarrollo de gran número de compuestos marcados para evaluar distintas funciones corporales.

DEFINICIÓN.

El término radiofármaco ha sido muy debatido, porque su utilización, a diferencia de los fármacos convencionales, no implica necesariamente un efecto farmacológico.

El Real Decreto 479/1993 de dos de abril que regula los medicamentos radiofármacos, los define como “*Cualquier sustancia que cuando esté preparada para su uso con finalidad terapéutica o diagnóstica contenga uno o más radionucleidos (isótopos radiactivos)*”.

El principio físico reside en la emisión de rayos gamma, positrones o radiación beta por el radioisótopo incorporado al paciente, que puede ser detectada para generar una imagen diagnóstica (gamma, positrones) o lograr un efecto terapéutico (beta). Las indicaciones diagnósticas de los radiofármacos pueden agruparse en (Cortés y Gómez, 2003):

- Delineación de la estructura
- Detección o valoración de una enfermedad.
- Evaluación funcional o metabólica.
- Evaluación del pronóstico o monitorización del tratamiento.

CLASIFICACIÓN (BURNS, 1978)

1. Radiofármacos esenciales: Cuando el isótopo incorporado forma parte esencial de la molécula, determinando su distribución, que es diferente a la de la molécula no marcada. Según la molécula que se marque, pueden obtenerse agentes renales funcionales ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA, -EDTA se elimina por filtración glomerular). Renales estructurales (Tc-DMSA, es retenido por más tiempo en la corteza renal). Infarto-trópicos: ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pirofosfato, por su unión a proteínas que aparecen tras un infarto). Hepatobiliares (derivados del ácido imino diacético, HIDAs, unido a $^{99\text{m}}\text{Tc}$, son de excreción biliar).

El HIDA constituye un ejemplo típico de cómo el átomo radiactivo modifica la distribución: la molécula de HIDA marcada con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ es de excreción hepato-biliar, pero marcada con ^{14}C se elimina exclusivamente por vía renal.

2. Trazadores: cuando el radioisótopo se une a una molécula grande de manera que permite visualizar su trayectoria. Se limita a acompañar al fármaco en su farmacocinética, sin modificarla.

Pueden ir unidos a partículas y coloides; proteínas (albúmina, estreptoquinasa, fibrinógeno...) o a células (eritrocitos, plaquetas, leucocitos).

En el marcaje celular se utilizan células del propio paciente (autólogas), lo que requiere extracciones que realiza el enfermero/a.

- ✓ Hematíes El marcaje in vivo requiere la inyección sucesiva de una solución de pirofosfato-suero fisiológico y el trazador (a los 30 minutos), con pobres resultados. Los procedimientos *in vitro* requieren la extracción de 2 a 5 ml. de sangre en un tubo con anticoagulante y un laborioso proceso de marcaje en la radiofarmacia. Se emplea más frecuentemente el

procedimiento *in vivo* modificado o *in vitro*: Inyectar la solución de pirofosfato-fisiológico indicada (IV). Mientras esperamos 30 minutos, colocamos una vía (palometa) en el otro antebrazo. Extraer 20 cc. de sangre y entregar a la radiofarmacia para su marcado. Incubar la solución marcada durante 10-20 minutos a TA, invirtiendo periódicamente la jeringuilla. Inyectar al paciente.

- ✓ **Leucocitos (*in vitro*):** Extraer 50 ml. de sangre en dos jeringas etiquetadas como A y B: Jeringa A: 30 ml de sangre + 4 ml de ACD-A¹ (o heparina a razón de 10 U.I./ml de sangre) Jeringa B: 15 ml de sangre + 2 ml de ACD-A. En la radiofarmacia se marcará y obtendremos 4 ml de resuspensión celular marcada que habrá que inyectar lentamente por vía IV con aguja de 19 G. Pueden requerirse extracciones posteriores para determinar la recuperación celular *in vivo* de los leucocitos.
- ✓ **Plaquetas:** Requiere la extracción del volumen determinado de sangre (40-500 ml) directamente sobre la jeringa con anticoagulante, utilizando una aguja de un calibre mínimo de 19 G; mezcla suave, proceso de separación celular y marcaje en radiofarmacia y reinyección lenta. En estudios de cinética plaquetaria debe pesarse la jeringa antes y después de la inyección para determinar el peso de la suspensión administrada.

MECANISMOS DE LOCALIZACIÓN

1. Bloqueo Capilar: La inyección de partículas marcadas de tamaño superior al de los capilares pulmonares (7 μm) produce una microembolización pulmonar. Así se utilizan, por vía endovenosa, microesferas y macroagregados de albúmina humana (diámetro de 10-90 μm) para ocasionar una obstrucción transitoria y limitada de los capilares pulmonares.

2. Fagocitosis: propiedad de determinadas células (del sistema retículo endotelial) para atrapar pequeñas partículas coloidales. Un ejemplo característico lo constituyen las células de Kupffer hepáticas, capaces de atrapar radiocoloides administrados por vía endovenosa. También se presenta la fagocitosis en el bazo y la médula ósea.

3. Secuestro celular: Los hematíes marcados con tecnecio y sensibilizados al calor previamente a su reinyección son secuestrados de forma selectiva por el bazo, pudiendo obtenerse gammagrafías esplénicas sin interferencia hepática.

4. Transporte activo: El trazador se localiza en el interior de la célula siguiendo las vías metabólicas específicas que precisan consumo de energía. El yodo radiactivo es captado por el tiroides, utilizándolo en la síntesis de hormonas tiroideas (organificación). También el Pertecnecato es captado por esta glándula, pero no organificado, por lo que su uso es más frecuente en el estudio diagnóstico del tiroides. El ²⁰¹Tl (análogo del K) es captado por las células del miocardio; etc.

5. Localización compartimental: Capacidad de algunos radiofármacos para permanecer de forma duradera en un compartimento orgánico sin difusión exterior significativa. Ejemplos: Gas (¹³³Xe) en gammagrafía de ventilación pulmonar; Hematíes-^{99m}Tc marcadores del pool vascular; ¹¹¹In-DTPA en el líquido cefalo-raquídeo (LCR); ^{99m}Tc-DTPA en infusión vesical directa para cistogammagrafía.

6. Difusión simple: el radiofármaco difunde a través de la membrana celular o se une a alguno de sus componentes. Ejemplos: ^{99m}Tc-HMPAO atraviesa la barrera hematoencefálica, permitiendo el estudio de la perfusión cerebral. El Talio compete con el Potasio y es bombardeado activamente al interior del músculo diluyéndose en el espacio intracelular por difusión simple.

¹ ACD-A: Ácido-citrato-dextrosa acidificado.

7. **Quimioabsorción:** mecanismo que explica la avidéz de la molécula ^{99m}Tc -Pirofosfato por los cristales de hidroxapatita, precipitados en el interior de la célula del miocardio necrótico. Así el trazador se deposita en la periferia del infarto, área que conserva cierto flujo sanguíneo.
8. **Reacción antígeno-anticuerpo:** se marca un anticuerpo para localizar su determinante antigénico específico de la superficie celular tumoral contra el que se ha desarrollado. Así se emplea el ^{111}In -antiCEA. para localizar tumores colorectales.
9. **Unión a receptores:** Mecanismo por el que radiofármacos de determinadas características pueden unirse a receptores celulares específicos. Por ejemplo el $^{123/131}\text{I}$ -MIBG se une a receptores adrenérgicos.

ISÓTOPOS MÁS UTILIZADOS.

Tecnecio 99 metastable (^{99m}Tc): El isótopo más utilizado con diferencia en el marcaje de radiofármacos. Su período de semidesintegración de 6 horas es óptimo para toma de imágenes y minimiza la duración de las medidas de protección radiológica; no emite radiación beta reduciendo la dosis indeseable; la facilidad con que se une a diferentes ligantes permite disponer de un amplio arsenal de formas farmacéuticas de presentación de los radiofármacos. Se emplea por vía endovenosa fundamentalmente.

Yodo 131 (^{131}I): Especial afinidad por el tejido tiroideo funcionante; emite radiación beta y gamma de alta energía, su período de semidesintegración es de 8.04 días. Se localiza en el tiroides, boca, tubo digestivo, riñones y vejiga.

Se utiliza por vía oral en rastreos de cuerpo entero, estudios tiroideos y, a mayores dosis, para el tratamiento del hipertiroidismo, cáncer de tiroides... Con menor frecuencia por vía endovenosa en estudios renales, suprarrenales, etc.

Talio (^{201}Tl): Análogo del potasio, compite con éste en la bomba de Na-K-ATPasa,

siendo captado por las células tumorales y miocárdicas.

Galio (^{67}Ga): Radioisótopo artificial que decae en ^{67}Zn emitiendo radiación gamma de amplio espectro. Sus propiedades químicas son similares a las del ión férrico, localizándose en el lugar de infección y en tumores. Se elimina por vía renal en las primeras 24 h y posteriormente fecal.

Radioisótopos PET²: para esta técnica tomográfica se emplean isótopos emisores de positrones asimilables a elementos orgánicos. Se caracterizan por su corto período de semidesintegración (ver tabla 1), lo que proporciona ventajas respecto de la dosis al paciente y posibilita estudios repetidos en un corto período de tiempo; la principal limitación es que requieren la existencia próxima de un ciclotrón (o a pie de cámara) y la dificultad para elaborar radiofármacos complejos.

- ✓ El **Flúor (^{18}F):** es con diferencia el radionucleido más utilizado en la PET. Contribuye a ello su PSD, 109 minutos, que permite síntesis complejas, protocolos de estudio prolongados y el transporte. La energía de emisión (0.64 MeV), minimiza la dosis y aumenta la resolución de la imagen; no hay emisión α , β^- ni γ . El flúor es un elemento escaso en las moléculas biológicas, pero puede sustituir al átomo de hidrógeno sin modificar sustancialmente la estructura molecular, aunque sí la biodistribución, retrasando el metabolismo.
- ✓ El **Carbono (^{11}C):** La posibilidad de sustituir el carbono orgánico por un isótopo emisor de positrones, permite obtener compuestos marcados con idénticas propiedades a la molécula sin marcar. Los compuestos marcados con ^{11}C han de sintetizarse en el mismo centro donde se realice el estudio.
- ✓ **Oxígeno (^{15}O):** su corto PSD hace imposible la síntesis de radiofármacos complejos. su alta energía de emisión implica imágenes de poca resolución.

² PET: Tomografía por emisión de positrones.

| Elemento | Símb. | PSD | Forma química | Áreas de aplicación. |
|-----------|-------------------|---------|--|---|
| Galio | ⁶⁷ Ga | 3.3 d | Citrat. Ga | Inflamación y tumores |
| Indio | ¹¹¹ In | 67.4 h | DTPA ¹ Oxina | Imagen del LCR ² Marcaje de células sanguíneas |
| Yodo | ¹²³ I | 13.3 h. | Yoduro sódico | Imagen y función del tiroides |
| | ¹³¹ I | 8 d. | Triyodotironina Tiroxina Yoduro sódico Hipurato | Determinac de hormona tiroidea Det. horm. tiroid. Función, imagen y tratamiento tiroides. Función renal |
| Tecnecio | ^{99m} Tc | 6 h. | Pertecnecato sódico Azufre coloidal Macroagregados de albúmina Isonitrilos DTPA ADMS ³ MAG3 ⁴ Fosfatos Pirofosfato HMPAO ⁵ | Cerebro, riñón, corazón, tiroides... Hígado, bazo, transplante renal. Perfusión pulmonar, flevogammagrafia Miocardio, cardiovasc Cerebro, riñones Renal Renal Ósea, miocárdica Marcaje de eritrocitos, Función cardiaca Función cerebral |
| Talio | ²⁰¹ Tl | 73.5 h | Cloruro de talio | Imagen miocárdica, muscular, paratiroidea, tumoral. |
| Xenón | ¹³³ Xe | 5.3 d. | Gas xenón | Ventilación pulmonar |
| Oxígeno | ¹⁵ O | 2.05 m. | Agua ¹⁵ O-H ₂ -O ¹⁵ O-oxígeno | Flujo sanguíneo cerebral local (FSCL) Consumo metabólico de oxígeno |
| Flúor | ¹⁸ F | 109 m. | ¹⁸ F-FDG ⁶ | TMLG ⁷ en cerebro, corazón, tumores, etc. |
| Carbono | ¹¹ C | 20 m. | ¹¹ C-timidina | Síntesis de ADN |
| Nitrógeno | ¹³ N | 10 m. | ¹³ N-amonio | Estudio de perfusión coronaria. |

Tabla 1: Elementos utilizados en la obtención de radiofármacos, con indicación del radionúclido, período de semidesintegración (PSD), forma química y principales aplicaciones. En último lugar (sombreados) los emisores de positrones, utilizados en la tomografía por emisión de positrones (PET).

¹ DTPA = Ácido dietilenetriamina pentaacético

² LCR = Líquido cefalorraquídeo

³ ADMS: ácido dimetilsuccínico.

⁴ MAG3: Mercaptoacetilglicilglicina.

⁵ HMPAO: Hexametilpropileno

⁶ ¹⁸F-FDG : 18-Fluor-2-fluor-2-desoxi-D-glucosa

⁷ TMLG: Tasa metabólica local de utilización de la glucosa

VÍAS DE ADMINISTRACIÓN

- ✓ **Endovenosa:** Es la vía de administración más frecuente.

Procederemos a cateterizar una vía venosa con palomita de 19 G, (preferible a utilizar los catéteres de plástico que el paciente pueda portar), asegurar permeabilidad con suero conectado en una llave de tres pasos; administrar el radiofármaco según protocolo, lavar con suero salino, vigilar signos de efectos adversos.

En caso de extravasación, debe anotarse el incidente en la historia, informar al paciente, intentar retirar la cantidad extravasada con el mismo set de infusión o masajear la zona de inyección con hialuronidasa tópica para favorecer la dispersión; en algunos casos (Talio, Indio, Galio) se avisa al servicio de radiofísica para realizar mediciones; además, en extravasaciones de estroncio, antimonio... se requieren controles periódicos durante tres meses en consulta de medicina nuclear.

Algunos estudios requieren **condiciones específicas de administración:**

- En estudios de perfusión cerebral el paciente ha de permanecer durante diez minutos relajado, en ausencia de cualquier estimulación sensorial, (luz tenue, ausencia de ruidos, olores, etc.). La inyección se hará sigilosamente.
- En ventriculogramografía de “primer paso” ha de conseguirse un bolo compacto, siendo fundamental lograr una inyección muy rápida.



Figura 1: Generador y viales de Radiofármacos.

- ✓ **Oral:** en estudios de vaciamiento gástrico, reflujo gastroesofágico... el contraste se administra por vía oral, bien en forma líquida bien incorporado a comidas estándar. El Yodo 131 a dosis terapéuticas se administra en forma de cápsulas o líquida, en cuyo caso hay que decirle al paciente que enjuague con agua el recipiente y beba el contenido para asegurar que toma toda la dosis.

- ✓ **Vesical:** irrigaciones vesicales con solución salina a la que se ha incorporado el isótopo se utilizan para el estudio de reflujo vesico-ureteral (cistogramografía).

Procedemos a sondar al paciente, calcular el volumen vesical máximo según la fórmula $(Kg \text{ de peso} + 2) \times 30$ ml. Ejemplo: niño de 10 kg $\rightarrow 12 \times 30 = 360$ cc. Proteger la mesa y el detector con cobertura impermeable, Conectar la solución a la sonda y dejar caer por gravedad hasta que logremos el volumen vesical máximo, el paciente no aguante más o se produzca (escape). Se evacua conectando la sonda a una bolsa y la orina habrá de dejarse decantar 24 h antes de su eliminación (para que pierda actividad)

- ✓ **Intradérmica:** para estudios del sistema vascular linfático (linfogammagrafía). Masajear la zona de punción para favorecer el drenaje linfático (en todos los espacios interdigitales del miembro a estudiar), advertir de que la inyección será dolorosa, inyectar el radiofármaco con punciones intradérmicas en cada uno de los espacios interdigitales.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

Además de las recomendaciones genéricas (identificación, información, comprobaciones, etc.) han de tenerse en cuenta otra serie de cuestiones asociadas a las propiedades del radiofármaco (emisor de radiaciones ionizantes...):

Las dosis van expresadas en curios (actividad) en vez de en ml (volumen). La

actividad decae con el tiempo (según el PSD del radioisótopo), por lo que ha de lograrse precisión en los tiempos de inyección, programación de citas, etc.

Descartar embarazo, a ser posible con test realizado el mismo día de la administración a mujeres en edad fértil.

Indicar al paciente que pasará un tiempo desde la administración hasta la toma de imágenes (de 1 hora a días).

Algunas exploraciones requieren retirar la medicación previa: tratamientos hormonales sustitutivos en estudios tiroideos; excluir contrastes yodados, alimentos y fármacos con yodo en estudios con radioyodo; antianginosos y betabloqueantes en estudios cardiacos;

Indicar al paciente que venga en ayunas cuando así lo indique el protocolo (Si hay riesgo de reacción alérgica, en estudios con yodo, digestivos, estudios con premedicación como furosemida, adenosina...)

La deshidratación favorece la toxicidad renal del fármaco y prolonga su vida biológica, por lo que, sobre todo en estudios renales y con el empleo de fármacos de eliminación renal ha de procurarse una buena hidratación previa (ingesta de 1.5 litros de agua los días previos, control analítico de densidad de orina).

Favorecer la eliminación del radiofármaco para evitar dosis innecesarias: valorar el hábito intestinal (galio, indio...), recomendar medidas dietéticas y/o laxantes en caso necesario; valorar la eliminación urinaria (Yodo, tecnecio...), indicar al paciente que orine con frecuencia, que vacíe la cisterna varias veces, evitar contaminación de ropa, en su caso debe lavarse por separado, valorar posibilidad de sondaje vesical en pacientes incontinentes.

Comprobar la adecuada comprensión por el paciente de la finalidad, efectos inmediatos, vías de excreción del radiofármaco; de las medidas a tomar con sus excreciones.

Advertir al paciente sobre los efectos secundarios derivados del radiofármaco: el yodo a dosis terapéuticas puede desencadenar una tormenta tiroidea, el estroncio puede aumentar inicialmente el dolor óseo que trata de combatir, etc.

Observar las medidas generales de radioprotección con fuentes no encapsuladas.



Ilustración 2: Preparación del radiofármaco en campana plomada.

Dosis diagnósticas de actividad no requieren medidas más complejas de radioprotección que las descritas; Dosis terapéuticas bajas (< 15 milicurios -mCi-) y medias (15-20 mCi) se hacen en régimen ambulatorio y requieren indicaciones por escrito al paciente. (Ver capítulo 27). Dosis terapéuticas altas requieren la hospitalización en habitaciones diseñadas al efecto y medidas de aislamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blasco RF. Radiofármacos (características generales). En: Servicio de Física médica y Protección Radiológica. Actas del curso de capacitación de operadores de instalaciones radiactivas. Sevilla: Hospital Universitario "Virgen del Rocío"; 1996. p. 11-28.
2. Cortés-Blanco A, Esteban Gómez J. Radiofármacos de uso humano: marco legal e indicaciones clínicas autorizadas en España. Seguridad Nuclear 2003; 26: 5-15.
3. Mel Allen. Medicina Nuclear. En: Philip W. Ballinger. Merrill. Atlas de Posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos. Barcelona: Masson-Salvat Medicina; 1993. p. 250-260.
4. Peñuelas Sánchez I. Radiofármacos PET. Rev. Esp. Med. Nuclear 2001; 20: 477-498.
5. Real Decreto 479/93 de 2 de abril, por el que se regulan los medicamentos radiofármacos de uso humano (Boletín Oficial del Estado, nº 109, de 7 de mayo de 1993).
6. Richard D. Hichwa. Tomografía por emisión de positrones. En: Atlas de Posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos. Barcelona: Masson-Salvat Medicina; 1993. p. 275-289.
7. Serena Puig A, Campos Villarino LM. Procedimientos en medicina nuclear. Servicio de Medicina Nuclear. Hospital do Meixoeiro. Vigo 2000.

MÓDULO V: CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LOS PROCEDIMIENTOS RADIOLÓGICOS.

23. RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA.

José Granero Molina.

24. RADIOLOGÍA VASCULAR-INTERVENCIONISTA.

Cayetano Fernández Sola.

25. RESONANCIA MAGNÉTICA.

Antonia Pérez Galdeano

26. RADIOTERAPIA.

Eugenio Fernández Miranda.

27. MEDICINA NUCLEAR

Manuel Guerrero Ortiz, José Ramón Gómez Fuentes y Raquel Arenas Aguaza.

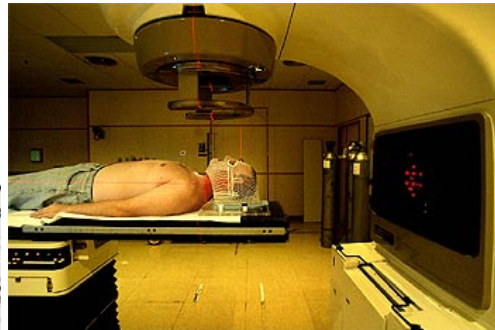


Ilustración: Curioso grabado de una exploración rectal (izquierda) y paciente en un acelerador de electrones (derecha)

“La enfermedad humana consiste no sólo en lo que se ve, también en lo que se oye, y a la postre (...), en ese insondable misterio que es la realización individual y morbosa del dolor no merecido”. (Pedro Laín Entralgo, 1990)

CAPÍTULO 23. CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA.

José Granero Molina

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual toma postura en el sentido de exigir la rápida solución a sus problemas de salud, por lo cual, es necesario disponer de un amplio arsenal de pruebas exploratorias que den respuestas a las cuestiones planteadas.

La situación deriva hacia la ampliación de los Servicios de Radiología, un marcado proceso de constante especialización, la incorporación de nuevos métodos de diagnóstico que conviven con los ya existentes y la complejidad en el uso de los protocolos. Todo ello, a su vez, unido a los efectos negativos de las radiaciones, tiempos de espera, administración de contrastes, técnicas cruentas, etc.

Sería ideal contar en el futuro con criterios fiables que determinaran la idoneidad de la exploración y el procedimiento más adecuado, pero mientras tanto, la radiología clásica sigue teniendo un papel insustituible, de ahí la necesidad de una formación en las técnicas y actividades más convencionales en estos Servicios.

La Enfermería Radiológica vive inmersa en este proceso de cambios, y además, no puede perder de vista ni la visión de la persona en su totalidad ni la satisfacción de sus necesidades. Son estos los elementos fundamentales que enfatizan la especial convivencia entre innovación tecnológica y factores humanos en estos centros de trabajo.

PROCEDIMIENTOS BÁSICOS EN RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA.

Una descripción pormenorizada de los distintos métodos de exploración radiológica, unida a los cuidados enfermeros específicos en cada uno ellos, no cabe duda se convertiría en una ingente labor que, por supuesto, escapa a los objetivos de este capítulo.

Es por ello que, realizaremos una aproximación somera a cada uno de ellos, prestando especial atención a los de uso más extendido en nuestro medio.

1. APARATO DIGESTIVO :

En la exploración radiológica del aparato digestivo superior se suele emplear bario y gas como contraste. Indicada en casos de dispepsia, masas, pérdidas de peso, etc., la sospecha de perforación es una contraindicación absoluta para su puesta en práctica (ver capítulo 19).



Ilustración 1: Enema opaco.

- ✓ **Esófago:** se puede explorar mediante estudios con contraste único, o también con doble contraste (cuerpos extraños opacos de la parte superior o faringe, se visualizan sin contraste).
 - Exploración fluoroscópica y radiográfica seriada de la zona, con el paciente tomando sorbos de contraste baritado, donde se alternan las posiciones de bipedestación y trendelemburg.
- ✓ **Estómago:** las exploraciones del tracto gastrointestinal superior se conocen como *series gastrointestinales*, e incluyen generalmente:
 - Radiografía simple de abdomen previa, estudio fluoroscópico y de radiografías seriadas de esófago, estómago y duodeno, tras ingerir

una mezcla radiopaca de sulfato de bario.

- Puede usarse contraste único o doble contraste, precisando preparación del paciente.

✓ **Intestino delgado:** las exploraciones fluoroscópica y radiográfica se hacen tras la administración de sulfato de bario por boca, enema de gran volumen, etc. Al igual que la anterior, suele necesitar preparación del paciente y posible administración de medicación.

✓ **Intestino grueso:** su exploración se realiza mediante el uso de enemas diagnósticos o de contraste (contraste simple o doble, y en uno o dos tiempos). Se explora recto, sigma y colon (*enema opaco*), estando indicado en invaginación, estreñimiento pertinaz, obstrucciones intestinales, etc.

- Precisa preparación específica del paciente y empleo de material específico para la administración y retención del enema baritado.
- El enema se puede aplicar a través de colostomía, siendo esencial la contribución del paciente.

2. ESTUDIO DEL SISTEMA BILIAR.:

Serie de exploraciones radiográficas, entre las que destacaremos:

✓ **Colangiografía intravenosa:** estudio radiológico del árbol y vesícula biliar mediante la inyección IV de contraste de excreción biliar (ver c. 19).

✓ **Colangiografía intraoperatoria:** técnica utilizada durante la cirugía del tracto biliar para investigar la permeabilidad de los conductos biliares, estado funcional del esfínter, detección de cálculos no palpables y documentación de procesos como neoplasias, dilataciones, estenosis, etc.:

- Tras drenaje y exploración del tracto biliar, el cirujano introduce el contraste en el colédoco (a través de catéter o tubo en T), y se obtienen radiografías posteriores de la zona.

✓ **Colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE):** técnica empleada en el estudio diagnóstico y terapéutico de la patología biliar y pancreática (coledocolitiasis, toma de biopsia, papilotomía, etc.).

- Precisa el empleo del endoscopio para acceder a la ampolla de Vater, la cual se canaliza con una pequeña cánula, inyectándose después a través de ella un medio de contraste. Posteriormente, se obtendrán imágenes a través de fluoroscopia y radiografía, se podrá realizar una intervención terapéutica, etc.
- La introducción del endoscopio vía oral va a implicar la administración de medicación específica al paciente y la aparición de ciertos riesgos (vómito, broncoaspiración, etc.), por lo que será precisa una especial vigilancia de las funciones vitales del mismo y la preparación previa de material de RCP.

3. HISTEROSALPINGOGRAFÍA:

Estudio radiológico del útero no grávido y los anejos, en la que se introduce un medio de contraste en la cavidad uterina mediante la canulación de la misma, para delimitación de su interior y de la luz de las trompas. Se obtiene un estudio morfofuncional del aparato genital femenino, y está indicada esencialmente en esterilidad, obstrucción de trompas, etc.

- Precisa limpieza perineal previa, vaciado de vejiga y radiografía preliminar.
- Requiere de material específico (especulo vaginal, cánula uterina...)

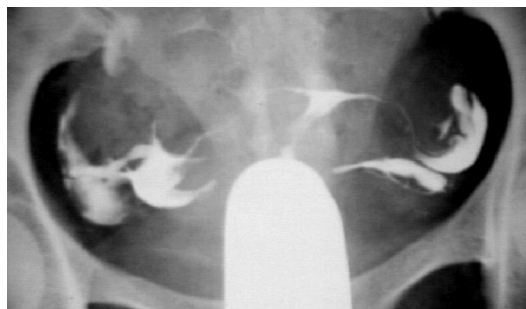


Ilustración 2: Histerosalpingografía

4. APARATO URINARIO:

La exploración del sistema urinario incluye toda una serie de pruebas específicas, que en función de la zona estudiada y la técnica usada, se denominan:

- ✓ **Urografía intravenosa (UIV):** investigación radiológica del sistema renal de drenaje o colector en la que se rellenan los cálculos urinarios con un medio de contraste de manera fisiológica, mediante administración intravenosa del mismo. Indicada en aquellos casos donde se precise estudiar anatómica y fisiológicamente el sistema urinario (insuf. renal, cálculos, neoplasias, hipertensión, infecciones recurrentes, etc.).
 - Requiere preparación (el intestino debe estar libre de gas y material fecal, para una buena visión).
 - Se inicia con la radiografía simple de la zona, posteriormente, y tras un cateterismo venoso periférico, se introduce el contraste mediante bolo o perfusión; por último, se realizarán radiografías sucesivas (a los 5', 15', 30' y post miccional.)
 - La técnica puede variar según protocolos del centro o el tipo de problema a estudiar, pero siempre precisa que el paciente no se mueva y colabore.
 - A veces precisa compresión de uréteres, proyecciones adicionales, e incluso, movimiento o deambulación del paciente para que se facilite la eliminación del contraste.



Ilustración 3: Urografía IV. Doble sistema calicial y uretral (izquierda.) e hidronefrosis bilateral (dcha.).

- ✓ **Urografía retrógrada:** se diferencia de la UIV en que, en este caso, el medio de contraste se introduce en el sistema pielocalicial mediante cateterización ureteral directa por el urólogo (*relleno del tracto urinario superior*), o uretral directa (*relleno del tracto urinario inferior*).
 - Precisa de canalización aséptica mediante un ureterocistoscopio, siendo la enfermera la encargada de la preparación del material, instrumentación y cuidado del paciente.
- ✓ **Cistografía:** nombre genérico que se refiere al estudio radiográfico del tracto urinario inferior (vejiga urinaria, uretra, etc.), indicado en los casos de reflujo vesico ureteral, anomalías anatómicas, tumoraciones de vejiga, etc.
 - Implica llenado retrógrado con contraste de las vías urinarias bajas, previo sondaje vesical estéril.
 - Previamente, el procedimiento se inicia con la limpieza y asepsia de la zona perineal, radiografía simple premiccional y vaciado de vejiga por el paciente (o por el sondaje).
 - Posteriormente, se introduce el contraste por la sonda y se realizan radiografías con diferentes proyecciones (también en las fases miccional y postmiccional).
- ✓ **Uretrografía:** estudio radiográfico de la uretra indicado en casos de obstrucción, micción dificultosa, etc. La técnica implica sondaje uretral y llenado con contraste, obteniéndose radiografías pre, intra y post-miccionales (ver capítulo 19).



Ilustración 4: Set de uretrografía retrógrada.

5. MAMOGRAFÍA:

Estudio radiográfico de la mama de especial importancia en el diagnóstico del cáncer de la misma.

- Se emplean elementos especiales como pantalla intensificadora de alta resolución, film de grano fino, chasis específicos, dispositivos de compresión.
- Las exploraciones suelen ser bilaterales, no sólo de la mama sintomática, siendo radiografiadas según posiciones estandarizadas.
- Las *Unidades de la Mama* son lugares donde la enfermería tiene un papel importante. Cuando la mamografía identifica lesiones se hace una localización preoperatoria exacta de las mismas, mediante la *colocación de aguja- alambre* que delimita la zona a extirpar.
- Otro procedimiento empleado es la *biopsia estereotáxica* consistente en la localización y punción de lesiones para su estudio anatomopatológico. Puede ser *asistida por vacío*, que permite extraer muestras de cilindros sucesivos de tejido mamario en una única punción.

6. TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA.

Se trata de una técnica radiológica de uso muy extendido en medios sanitarios especializados, otorgando una buena visión de zonas anatómicas específicas que se pretendan estudiar.

En la tomografía computarizada el paciente va a ser barrido por el haz de un tubo de rayos X, que va a girar alrededor de la parte del organismo que se quiera estudiar. Los sistemas detectores serán los encargados de recoger la radiación que emerge del cuerpo del paciente, transmitiendo esa información en bruto al ordenador (encargado de compilarlos y seleccionarlos en función de un algoritmo seleccionado), y los incorpora a una matriz para proporcionarnos una imagen axial.

La imagen axial creada mediante TC se compone de miles de pequeños cuadrados (pixels), que una vez asociados a un volumen de corte, dan como resultado un elemento de volumen (voxel). El ordenador

utiliza una matriz de vóxel para la reconstrucción y el almacenamiento de las imágenes.



Ilustración 5: Equipo de Tomografía Computarizada.

La atenuación de los rayos X producida por cada vóxel de tejido puede ser comparada con la sufrida por un volumen igual de agua (valor arbitrario 0), con lo que se obtiene una escala que oscila entre - 1000 y 4000 UH, (Unidades Hounsfield), en función de las densidades del tejido.

| SUSTANCIA | UH |
|------------------|----------------|
| Aire | -1000 |
| Pulmones | -250 a -850 |
| Grasa | -100 |
| Agua | 0 |
| Quiste | -5 a +10 |
| Líquido | 0 a +25 |
| Tumor | +25 a +100 |
| Sangre líquida | +20 a +50 |
| Sangre coagulada | +50 a +75 |
| Cerebro | +20 a +40 |
| Hígado | +40 a +70 |
| Hueso | +150 a +1000 |
| Metal | +2000 a + 4000 |

Tabla 1: Unidades Hounsfield medidas en ciertas sustancias.

Además de la visualización de imágenes en el plano axial, la TC permite la reconstrucción de las mismas en los planos coronal y sagital, sin que ello implique una irradiación adicional del paciente.

Por supuesto, existe la posibilidad opcional de obtener copias de las imágenes obtenidas en la pantalla del ordenador, en forma de placas radiográficas, debido a la conexión del procesador generalmente a una impresora láser.

Los exámenes varían en función de la zona anatómica a explorar, el tipo de exploración a realizar, los tiempos, administración de contrastes, etc.; pero todos estos aspectos, suelen estar protocolizados en los centros de radiodiagnóstico donde se trabaja con TC.

Es frecuente la administración de contrastes, tanto intravenoso como oral (s/ estudio a realizar) en la realización de TC. Esto se llevará a cabo previa prescripción del radiólogo (tipo, dosis, vía, tiempo, etc.), y siempre teniendo en cuenta el historial del paciente (posible reacción alérgica).

Existe la posibilidad de realizar exámenes de TC con ciertas características especiales, así como utilizar este medio diagnóstico como base para ciertas terapias (aunque agresivas, pueden evitar una intervención quirúrgica reglada):

- ✓ **TC dinámico:** utilizado sobre todo para visualizar estructuras vasculares intensificadas con contraste intravenoso. Se trabaja con pequeñas distancias e intervalos de corte, por lo que se aprovecha al máximo el contraste y se evitan problemas en los déficits de colaboración.
- ✓ **Angio TC:** combinación de bolos de contraste con barridos espirales a través de estructuras vasculares, para obtener imágenes más intensificadas.
- ✓ **TC helicoidal:** técnica tomográfica que combina ordenadores más potentes, corto tiempo de barrido y movimiento rápido de la mesa; por lo que se obtiene un gran número de datos en poco tiempo. La combinación entre la rotación continua del tubo y el movimiento de la mesa, da lugar a un desplazamiento helicoidal que le otorga su nombre.
 - Barre un volumen de tejido, en vez de un grupo de cortes individuales.
 - Representa una gran ventaja en la detección de lesiones pequeñas.
 - Muy útil en pacientes no colaboradores o combativos.
 - Se necesita menos contraste.
 - Evita problemas derivados de la respiración del paciente.

- ✓ **TC multicorte:** Equipos de última generación que combinan la hélice y el corte múltiple (hasta 32 cortes simultáneos) en un corto espacio de tiempo. Está iniciando el desarrollo de las **imágenes en tres dimensiones (3D)**: la combinación de todas las imágenes axiales de un barrido permite al ordenador la reconstrucción tridimensional de las zonas exploradas del paciente, incluyendo el interior de órganos o vísceras huecas (endoscopias virtuales, con menor riesgo pero con algunas limitaciones).

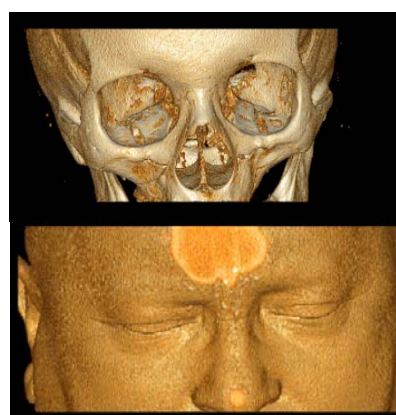


Ilustración 6: Reconstrucción 3D de la cara.

- ✓ **Radioterapia guiada por TC:** la TC del área a tratar muestra las estructuras internas que se encuentran situadas dentro del campo de radiación. Esto ayuda a planificar la terapia y a aumentar la dosis en el tejido diana, reduciéndose en el tejido normal.
 - ✓ **Punciones y drenajes guiados por TC:** la biopsia y drenaje de acumulaciones de líquido, bajo la guía de imágenes de TC, se ha convertido en una verdadera alternativa a la cirugía en ciertos casos. Son procedimientos invasivos, pero conllevan menor riesgo de infección y tiempo de recuperación que el empleo de medios quirúrgicos.
7. OTROS ESTUDIOS:
- ✓ **Mielografía:** examen radiológico de las estructuras del sistema nervioso central situadas dentro del canal espinal, precisa la introducción de contraste en el espacio subaracnoideo.

- ✓ **Angiografía:** término general que describe el examen radiológico de estructuras vasculares tras la introducción de un contraste

CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA.

- ✓ **Antes del procedimiento:**
 - Obtener y comprobar su consentimiento informado.
 - Comprobar el historial y que no presenta alergia a los contrastes.
 - Explicar al paciente y/o familia el procedimiento a realizar, su propósito, las complicaciones más frecuentes y las alternativas.
 - Guardar la intimidad, cubriendo al paciente con una prenda adecuada que cubra su desnudez y no interfiera en el procedimiento.
 - Proteger la superficie metálica de la mesa de exploración (comodidad). Retirar los objetos metálicos que lleve el paciente (zona explorada).
 - Comprobación de vías venosas si fuese necesario su uso.
 - Preparación: de vital importancia en pruebas como las exploraciones del aparato digestivo (colon limpio de heces), para lo que se emplearán laxantes y enemas previos (explicar la importancia de su retención). Dieta preparatoria (exploraciones del tracto biliar), vaciado de vejiga (urografías), días transcurridos tras la menstruación (exploraciones ginecológicas). Comprobar ayunas (s/ necesario).
 - Comprobar que ha transcurrido el tiempo necesario entre distintos procedimientos (ver tabla 1)

| Exploración previa | Días | Para... |
|------------------------------------|------|-----------------------------|
| Tránsito, enema... | 5 | Estudio abdominal (TC...) |
| Estudio con Rx con o sin contraste | 0 | Ecografía |
| Estudios de TAC (Contraste oral) | 3 | Estudios digestivos |
| Estudios con contraste yodado | 10 | Estudios con radioyodo (MN) |

Tabla 2: días que deben transcurrir entre dos exploraciones radiológicas a un mismo paciente

- Instruir / administrar correctamente los contrastes (ver cap. 19).
- Explicar al paciente la importancia de guardar la posición, evitar movimientos y respiraciones (veladura de la radiografía), etc.
- Protección radiológica de las áreas que no son objeto de exploración, evitando exposiciones innecesarias.
- El material específico necesario para la exploración debe estar preparado y comprobado.
- Carro de urgencias: siempre preparado, revisado y disponible.
- ✓ **Durante el Procedimiento.**
 - Lavarse las manos y guardar la esterilidad s/ necesario.
 - Comprobar la correcta protección radiológica del paciente, y del acompañante (niños).
 - Realizar cateterismos venosos de garantía (s/ necesario), atendiendo al flujo necesario a administrar según el tipo de contraste y la exploración a realizar.
 - Vigilancia, prevención y tratamiento de las reacciones adversas.
 - Control de constantes vitales, deteniendo la exploración si fuese necesario ante cualquier problema.
 - Atender a complicaciones derivadas de la posición (disnea en pacientes en trendelenburg, etc.).
 - Mantener contacto visual y a través de la voz con el paciente, atendiendo a sus indicaciones, problemas, etc. En pacientes graves, no perder de vista los sistemas de monitorización (pulsioxímetro EKG, etc.)
 - Comprobar el funcionamiento correcto de los sistemas de oxigenación, bombas de perfusión, respiradores mecánicos, etc., que se usen durante la exploración.
- ✓ **Después del procedimiento:**
 - Retirar cuidadosamente el material empleado (paños, catéteres...), ayudando al paciente en la higiene y limpieza de la zona explorada si fuese preciso.

- Ayudar al paciente a su incorporación e inicio de la deambulaci3n, (cuidado con la hipotensi3n ortostática).
- Realizar una correcta hemostasia e indicar el mantenimiento de la postura en los casos de punciones.
- Vigilancia de la aparici3n de complicaciones potenciales como: flebitis, cistitis, reacciones tardías, estreñimiento, diarrea, etc.
- Sincronizar el traslado a la unidad de hospitalizaci3n, comprobando la permeabilidad de vías venosas, funcionamiento de bombas, contenido suficiente oxígeno y de sueroterapia para el traslado, etc.
- Transmitir la informaci3n necesaria sobre molestias que pueda sentir o autocuidados que deba realizar, tras la realizaci3n de la prueba.
- Informar orientativamente sobre los plazos y lugar de entrega de los resultados de la prueba.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera Manrique F., et al: Drenaje percutáneo de abscesos dirigido por T.A.C.". REV ROL ENFERM, 2001; 24 (9):12- 16.
2. Ballinger PW: Atlas de posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos. Barcelona: Masson- Salvat Medicina; 1993.
3. Barrachina Bellés L. Métodos complementarios de diagnóstico. En: Barrachina Bellés L. Enfermería Médico- Quirúrgica. Generalidades. Barcelona: Masson S.A.; 2003. P. 1- 18.
4. Budoy A. Colonografía TC. RSEER, 2004; (1): 20-24.
5. Darriba Rodríguez, P. ¿Es posible aplicar planes de cuidados en radiología?. ER 2003; (56): 17- 22.
6. Esporrín, M. Novedades en Tomografía Computarizada. ER 2003; (57): 23- 25.
7. Fernández C, Granero J, Ruiz E, Fernández-Amigo A, Rodríguez F, Muñoz FJ. Diseño de una consulta de enfermería radiológica. Rev. ER 1998; 38:10-13.
8. González MJ, García E, García L: Biopsia estereotéxica asistida por vacío. ER, 2003; (57):11- 15.
9. Suzanne C Smeltzer, Brenda G Bare. Enfermería medicoquirúrgica de Brunner y Suddarth. Vol. II. 9ª ed. Madrid: McGraw-Hill.- Interamericana; 2002.
10. Weir, J. Atlas de anatomía humana por técnicas de imagen. 3ª ed. Elsevier; 2004.
11. Yáñez Bosque P. Procedimientos, actividades y cuidados de enfermería en la realizaci3n de procedimientos radiológicos. En: <http://enfermeriaradiologica.tk/>

ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA

Realizar como actividad académica dirigida la revisi3n bibliográfica en bases de datos, revistas de enfermería, sociedades profesionales de radiodiagn3stico, páginas web, etc., para la actualizaci3n de un procedimiento de radiología diagn3stica.

A título de ejemplo, proponemos búsquedas en:

- ✓ <http://afrodite.lira.dist.unige.it/techdocs/jrti/jrti.html>
- ✓ <http://bvs.sld.cu/revistas/enf/indic1.html>
- ✓ http://db.doyma.es/cgi-bin/wdbcgi.exe/doyma/mrevista.salta_a_ultimo?pident=35
- ✓ <http://dspace.dial.pipex.com/town/parade/ad828/>
- ✓ <http://enfermeriaradiologica.tk>
- ✓ <http://radiologia.iespana.es/radiologia/>
- ✓ <http://www.acr.org/publications/mnp/>
- ✓ <http://www.arrakis.es/~solegb/paginas/protocolos/estereotaxia.htm>
- ✓ <http://www.bir.org.uk/bjr/index.html>
- ✓ <http://www.cinahl.com/jrnls/OJCI/clinical.htm>
- ✓ <http://www.dimag.com/>
- ✓ <http://www.enfermeria.com.mx/>
- ✓ http://www.escardio.org/publications/ejcn/euro_nurse.htm
- ✓ <http://www.fisterra.com/>
- ✓ <http://www.image-publishing.com/>
- ✓ <http://www.invivo.net/infiweb/presse/un-es-revue/revue-inf/revue-inf.html>
- ✓ <http://www.lww.com/product/0,0,0002-936X,00.html>
- ✓ http://www.medscape.com/viewpublication/876_index
- ✓ <http://www.nurse2nurse.ie/>
- ✓ <http://www.rad.rpslmc.edu/~ajnr/index.html>
- ✓ <http://www.rsna.org/RSNA2/publications/rad/rad.html>
- ✓ <http://www.seram.es/>
- ✓ <http://www.serie-es.com>

CAPÍTULO 24. CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA VASCULAR INTERVENCIONISTA.

Cayetano Fernández Sola.

INTRODUCCIÓN

El sistema circulatorio es el responsable de importantes funciones vitales: aporte de nutrientes a las células, transporte de los desechos orgánicos de excreción, defensa contra agentes patógenos, interviene en la coagulación, etc.

Se compone del sistema vascular sanguíneo (corazón, arterias y venas) y del sistema linfático que recoge los fluidos filtrados de los vasos sanguíneos al espacio hístico y lo transporta de nuevo hasta el espacio vascular sanguíneo.

Las alteraciones vasculares más frecuentes son estenosis, arteriosclerosis, aneurisma, etc. Todas ellas afectan a los órganos irrigados por el vaso alterado, estando en el origen de infartos, embolismos, hemorragias, necrosis, etc.

El desarrollo de técnicas de cateterismo posibilitará el estudio selectivo de los vasos de cualquier órgano. La complejidad de los procedimientos induce la especialización dentro de la radiología, surgiendo la radiología vascular, que pronto asumirá procedimientos intervencionistas, que no se quedan en el mero diagnóstico sino que despliegan un buen arsenal de intervenciones terapéuticas.

La enfermería radiológica se ha incorporado al proceso de especialización y hoy se caracteriza por poseer un excelente nivel de competencia en instrumentación quirúrgica, cuidados enfermeros y para moverse en un entorno altamente tecnológico.

EL EQUIPO DE RADIOLOGÍA VASCULAR INTERVENCIONISTA

1. Recursos Materiales:

La sección de angiología se caracteriza por sus altos requerimientos tecnológicos. Así, nos vamos a encontrar en esta sala con arcos de Rayos X, con fluoroscopia y posibilidades de obtener series de imágenes a gran velocidad; equipos informáticos;

equipos de calentamiento e inyección de contrastes; mesas de instrumentación y auxiliares; equipos de anestesia y respiración asistida, desfibrilador; monitores de constantes vitales, etc.

En cuanto a instrumental, se maneja una amplia variedad de catéteres vasculares, guías, dilatadores, introductores, sistemas de perfusión de fluidos de alta presión, equipos para la hemostasia, sustancias embolizantes, filtros de cava, endoprótesis vasculares, digestivas...

La protección radiológica se intenta asegurar desde el diseño de la instalación, las normas de trabajo y la utilización de equipos de protección personal plomados: batas, protectores de tiroides, mamparas, gafas, guantes... La dosimetría se evalúa con el empleo de dosímetros ambientales, personales de solapa y de muñeca, etc.

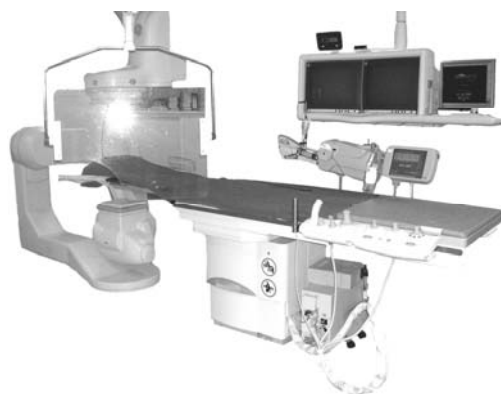


Ilustración 1: equipo de radiología vascular.

2. Recursos Humanos:

Los profesionales que trabajan en la sección de angiología han de reunir una serie de características como la especialización, un buen entrenamiento y una adecuada coordinación entre ellos y con otros niveles.

Componentes:

- ✓ **Radiólogo:** Realiza el procedimiento, manipula el catéter, informa el estudio.
- ✓ **Enfermera/o:** cuidados enfermeros, colaboración e instrumentación así como vigilancia y continuidad de cuidados.

- ✓ **Técnico:** Maneja el equipo de rayos X, procesa las imágenes, etc.
- ✓ **Anestesiista:** puede ser ocasionalmente requerido en la sección de angiología.
- ✓ **Celadores, personal administrativo, radiofísicos:** cuya colaboración es imprescindible para el transporte de material y pacientes, tareas administrativas y coordinación de la radioprotección respectivamente.

PROCEDIMIENTOS BÁSICOS EN RADIOLOGÍA VASCULAR DIAGNÓSTICA.

Presentaremos aquí los procedimientos agrupados, con una breve descripción de los más relevantes y los cuidados enfermeros descritos de manera global para todos ellos.

1. Angiografía visceral y central

- a. **AORTOGRAFÍA.** Estudio radiográfico de la aorta en sus porciones torácica y/o abdominal. Se cateteriza la arteria aorta desde la femoral, mediante la técnica de Seldinger, utilizando catéteres con múltiples orificios laterales. Está indicada en el estudio de aneurismas y otras patologías de la aorta y para demostrar el origen de las arterias viscerales. El paciente se coloca en posición supina, tras la colocación del catéter, se le administra el contraste a altas velocidades (25-35 ml/seg) en perfecta sincronización con la obtención de imágenes.
- b. **ARTERIOGRAFÍA PULMONAR.** Se pasa el catéter, bajo control fluoroscópico, desde una vena periférica, a través de la cava y el corazón derecho, hasta las arterias pulmonares. Se administra el contraste a gran flujo (25-35 ml/seg.), obteniéndose imágenes de la arteria pulmonar principalmente para la evaluación del tromboembolismo pulmonar. Imágenes tardías revelan el corazón izquierdo y la aorta torácica.
- c. **ARTERIOGRAFÍAS SELECTIVAS DE LAS VÍSCERAS ABDOMINALES.** Se utilizan inyecciones selectivas de contraste con un flujo de 8-10 ml/seg. Indicados para el estudio de la vascularización de tumores y para descartar

tromboembolismo, hemorragia, oclusión, etc. La cateterización para la inyección selectiva se hace desde la arteria femoral, avanzando hasta el orificio de la arteria deseada. Puede requerirse un aortograma previo. Entre estos estudios se encuentran la arteriografía celiaca, hepática, mesentérica, renal, etc. La arteriografía esplénica permite la visualización del sistema de la porta en las imágenes tardías. Todas la proyecciones radiográficas en estudios de vísceras abdominales se realizan al final de una espiración suspendida.



Ilustración 1: Arteriografía esplénica con visualización del sistema de la porta en imágenes tardías (Sustracción digital).

- d. **VENOGRAFÍA CENTRAL.** Incluye la cavagrafía superior (contraste en vena periférica o subclavia) y la inferior, para lo que se inserta el catéter en la vena femoral hasta llegar a iliaca común. Se inyectan flujos de 15-25 ml/seg. y las imágenes se obtienen en apnea tras espiración forzada.
- e. **VENOGRAFÍA VISCERAL SELECTIVA.** Las venas viscerales se visualizan obteniendo imágenes tardías en los estudios arteriográficos selectivos. No obstante, a veces se cateterizan las venas viscerales para obtener imágenes más óptimas o para medir parámetros adicionales (presión sanguínea, toma de muestras, etc.).

2. Angiografía periférica

- a. **ARTERIOGRAFÍAS de miembros superiores y aorto-femorales.** Suele colocarse el catéter mediante la técnica de Seldinger en arteria femoral y desde allí dirigirlo para la inyección selectiva,

hasta subclavia para miembros superiores o hasta la bifurcación de la aorta para miembros inferiores. También puede administrarse el contraste mediante una aguja insertada en una parte más distal de una arteria. Se inyectarán unos 80 ml de contraste con un flujo de 10-13 ml/seg. en arterias centrales y 1-4 en las periféricas.

- b. **VENOGRAMAS.** Estudio radiológico de las venas de las extremidades. Se inyecta el contraste en venas distales de la muñeca o el pie. Suele hacerse con flujos de entre uno y cuatro ml/seg. hasta alcanzar un volumen total de 80–100 ml. (ver capítulo 19).

3. Angiografía cerebral:

Comprende el conjunto de procedimientos para el examen radiológico de la vascularización del cerebro mediante la inyección de un medio de contraste radioopaco.

Las arterias que irrigan el cerebro (carótidas y vertebrales) proceden del cayado aórtico, bien directamente o de grandes vasos adyacentes (subclavia, braquicefálica). A estos vasos se accede colocando un catéter en la femoral, braquial o axilar (técnica de Seldinger) y dirigirlo hasta el lugar de inyección. Este lugar lo determina el radiólogo en función de los objetivos del estudio, puede proceder una inyección de contraste en el cayado aórtico para el estudio de la porción extracraneal de los vasos. La inyección selectiva requiere la cateterización no oclusiva del segmento proximal de la carótida o vertebral que interese.



Ilustración 2: Imagen de una malformación arteriovenosa en TAC (Izda.) y angiografía (dcha.)

La inyección del contraste ha de estar en perfecta sincronía con la filmación, para lo que se emplean medios mecánicos y electrónicos. La velocidad de la inyección varía del calibre del vaso a estudiar pudiendo oscilar entre los 5-9 ml/seg para los vasos cerebrales hasta los 30-35 ml/seg. para el arteriograma del cayado.

4. Cateterismo cardiaco.

Intervención quirúrgica menor, que comprende la introducción de un catéter en el corazón y vasos adyacentes, con fines diagnósticos o terapéuticos de una serie de trastornos cardiovasculares.

Está indicado para valorar la permeabilidad de las arterias coronarias; aliviar la estenosis arterial coronaria, mediante el procedimiento denominado angioplastia coronaria transluminal percutánea; medir las presiones y saturaciones de oxígeno en las cavidades cardiacas y arterias pulmonares, así como la presión venosa central; realizar mediciones intraarteriales de la presión sistémica y realizar estudios electrofisiológicos para el diagnóstico diferencial de las arritmias, valorar la función del nodo AV y la efectividad de antiarrítmicos.

5. Linfografía.

Estudio radiológico de vasos (linfangiografía) y ganglios linfáticos (linfadenografía) tras la administración de un medio de contraste, generalmente aceites yodados. Los vasos se evidencian en la primera hora tras la inyección y los ganglios lo hacen a las 24 horas.

La exploración está indicada en el estudio de extensión de los linfomas, de la obstrucción del sistema linfático, etc.

PROCEDIMIENTOS BÁSICOS EN RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA

1. Angioplastia transluminal percutánea (ATP)

Procedimiento radiológico terapéutico consistente en la dilatación o recanalización de vasos ocluidos o estenosados, generalmente por placas de ateroma,

mediante la introducción de un catéter con la técnica de Seldinger. Se emplean diversas variantes para esta técnica:

- Con catéter coaxial,
- Con catéter balón
- Catéter con punta láser
- Aterectomía percutánea (c. Simpson)
- Soportes vasculares (*Stent*)

La angioplastia coronaria transluminal percutánea (ACTP) se realiza en las salas de cateterismo cardiaco (hemodinámica), debido a la posibilidad de complicaciones cardiacas severas.



Ilustración 3: Imagen de la femoral izquierda antes (derecha) y después (izquierda) de una angioplastia

2. Colocación de un filtro de cava.

Inserción de un dispositivo, inicialmente compacto dentro del catéter introductor, que una vez liberado se despliega, adquiriendo su forma funcional, y se ancla en las paredes de la vena, constituyendo un obstáculo a la migración de trombos hacia las cavidades cardiacas y órganos irrigados (pulmón...).

Se coloca mediante la técnica de Seldinger, desde la vena femoral o yugular, realizándose un cavograma inferior para localizar las venas renales y alojar por debajo de éstas el filtro de cava (para evitar trombosis venosa renal).

Está indicado cuando no es posible el tratamiento de la trombosis venosa profunda, y no constituye un tratamiento alternativo, sino sólo una medida preventiva del embolismo. Presenta riesgo de trombosis de la vena de inserción y de la cava.

Puede ser permanente o temporal, pero pasados 10 días sin cambiarlo, el filtro se adhiere definitivamente al endotelio vascular

3. Procedimientos uronefrológicos

- a. NEFROSTOMÍA PERCUTÁNEA. Colocación de un catéter con múltiples orificios en el extremo distal para drenar la orina acumulada en la pelvis renal a causa de bloqueo uretral (hidronefrosis). El extremo proximal se conecta a una bolsa, fuera del cuerpo del paciente. Puede requerir nefrostograma percutáneo previo. Si se requiere de un drenaje externo permanente de orina, el catéter habrá de cambiarse periódicamente.
- b. NEFROLITOTOMÍA PERCUTÁNEA. Permite la eliminación cálculos pequeños, constituyendo una alternativa a la cirugía. La técnica es similar a la anterior, pero se utiliza un catéter recuperador (tipo “cesta”, etc.).
- c. COLOCACIÓN DE CATÉTER URETRAL En caso de obstrucción uretral o bloqueo del drenaje de la orina procedente de la pelvis, se coloca un catéter con orificios laterales en ambos extremos tipo “cola de cerdo”. Un extremo se coloca en la pelvis renal y el otro en la vejiga, a través del uréter. Su retirada requiere intervención citoscópica.

4. Embolización vascular percutánea.

Conjunto de técnicas cuya finalidad es la de suprimir la circulación de un órgano patológico, o circulación patológica de un órgano, ante enfermedades con abundante circulación propia o neoformada que requieran exéresis, facilitando al acto quirúrgico o buscando el restablecimiento fisiológico (Inisterra, 1996).

El objetivo principal de éste procedimiento es detener o reducir el flujo sanguíneo para:

- Detener la hemorragia activa.
- Como medida terapéutica en malformaciones vasculares o áreas enfermas (tumores, varicocele, etc.).
- Reducción de la hemorragia quirúrgica mediante la embolización previa.

Mediante la técnica del Seldinger se realiza aortograma o cavograma previo para localizar el vaso visceral que se desea ocluir o el foco hemorrágico. Con catéteres apropiados a la configuración del vaso se realiza angiografía selectiva o suprselectiva y, cuando se ha asegurado un buen anclaje para evitar el reflujo al vaso central, se suelta la sustancia embolizante. Finalmente, se realiza estudio de control (Radioscópico, imagen).

La sustancia embolizante será elegida por el médico en función de la situación del paciente el objetivo de la técnica y la duración deseada:

- Oclusión temporal: gelfoam, espongotan (días); suero hipertónico; balones largables; Vasoconstrictores (vasopresina)...
- Oclusión permanente: espirales metálicas, partículas de alcohol polivinílico; etc.

Una de las complicaciones posibles es que la sustancia embolizante obstruya vasos u órganos no deseados. Además no es posible recuperar la sustancia embolizante y su efecto es irreversible, por lo que ha de hacerse por personal entrenado y con sumo cuidado.

5. Vertebroplastia percutánea:

Procedimiento consistente en la inyección percutánea de cementos (a base de polimetil metacrilato...) en el cuerpo vertebral con control radioscópico. Su finalidad es la disminución del dolor y la estabilización del cuerpo vertebral, disminuyendo el riesgo de aplastamiento de la vértebra secundaria a la debilidad de su estructura ósea,

6. Otros procedimientos

- a. COLOCACIÓN DE ENDOPRÓTESIS. Pueden ser vasculares (stent, bypass), digestivas (de colon, esofágicas, etc.).
- b. TRATAMIENTO TROMBOLÍTICO. Si la arteriografía demuestra una trombosis, se puede continuar el procedimiento administrando fármacos fibrinolíticos hasta disolver el coágulo. Se emplean catéteres con orificios laterales.

- c. EXTRACCIÓN DE CUERPOS EXTRAÑOS. Se utilizan catéteres “lazo” para atrapar cuerpos extraños en los vasos, generalmente puntas de catéteres que, al romperse en el interior de las venas, emigran constituyendo un grave riesgo para el paciente.

- d. ROAD-MAPPING. Es un recurso técnico posibilitado por los modernos equipos de sustracción digital, que facilita la realización de otros procedimientos, haciéndolos más seguros para el paciente.

Consiste en la administración de un contraste intravascular para obtener una imagen contrastada del vaso objeto del cateterismo. Esta imagen se muestra “congelada” sobre la imagen en tiempo real del paciente, indicando al radiólogo la localización exacta de la estructura que desea pinchar. El personal de enfermería puede usar este recurso para puncionar venas no palpables de la flexura del codo cuando en la mama si son accesibles.

- e. IMPLANTACIÓN DE VÍA VENOSA CENTRAL Y RESERVORIOS. Puede hacerse por vía percutánea con control radioscópico, presentando ventajas respecto de la implantación quirúrgica: control con imagen de la colocación definitiva; requiere una punción percutánea sin incisiones en la piel, con menos infecciones y hemorragias; requiere menor coste y tiempo (Armero, 2002).

- f. PUNCIÓN BILIAR. Mediante una punción transhepática percutánea es posible llegar al hilio hepático para inyectar contraste en el árbol biliar, colocar un catéter de drenaje (interno o externo, temporal o permanente) colocar un reservorio permanente subcutáneo (exoendoprótesis), extraer cálculos con un catéter “cesta”, etc.

CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA.

1. Antes del procedimiento:

- ✓ Realizar una valoración inicial, atendiendo especialmente, según proceda, a: conocimientos del procedimiento, alergias conocidas, enfermedades que puedan influir en la preparación o desarrollo del procedimiento, patrón de eliminación, estado de conciencia, movilidad, manifestaciones de temor, valoración física, antropométrica y de signos vitales.
- ✓ Establecer el juicio clínico y planificar nuestras intervenciones, para alcanzar los resultados esperados y prevenir o tratar las complicaciones.
- ✓ La ejecución de las intervenciones empieza con la propia prescripción de la exploración y se continúan hasta que el paciente se va a su domicilio.
- ✓ Actividades de enseñanza del procedimiento, dieta prescrita, facilitar el aprendizaje, etc. Insistiendo en la importancia de su colaboración, evitando movimientos, ensayar periodos de apnea, métodos de distracción del dolor, etc.
- ✓ Comprobar / obtener el consentimiento informado, ampliando la información que el paciente demande.
- ✓ Explicar y evaluar la correcta preparación del paciente: dietas especiales; en ayunas de al menos 8 horas (s/ procedimiento); informar sobre el ingreso previo (s/procede); comprobar si existen alteraciones en el estudio de coagulación; rasurado de la zona de punción; técnicas de relajación (más frecuente la prescripción de ansiolíticos)
- ✓ Recibir al usuario, presentarle a los miembros del equipo, mostrarle la sala, reforzar la información más relevante, asegurando su colaboración.
- ✓ En la sala, atender a las medidas de seguridad y comodidad del paciente: almohadillando la superficie metálica de la mesa, evitar riesgo de caída, facilitar la eliminación urinaria, preparar y revisar carro de emergencias, así como el material para el procedimiento; medidas de protección radiológica, evitando la

exposición de zonas no necesarias, utilizando elementos de protección personal, etc.

- ✓ Preparación de zonas y del personal (lavado de manos, campo estéril, desinfección de la zona de punción, etc)

2. Durante el Procedimiento.

- ✓ El médico realiza la punción, introduce y manipula el catéter y realiza las intervenciones.
- ✓ El enfermero volante atiende a las peticiones de material, y a los cuidados del paciente durante el procedimiento.
 - Vigilar la presión arterial y el trazado electrocardiográfico.
 - Inyectar el contraste cuando sea demandado por el médico.
 - Tratar las reacciones adversas:
 - Vasovagales → elevar piernas y administrar fluidos IV.
 - Al contraste (ver capítulo 19)
 - Control del dolor.
- ✓ El enfermero instrumentista ayuda al médico proporcionándole instrumental, y además se ocupará de:
 - Vigilar la aparición de signos de hemorragia en el lugar de punción.
 - Lavar el catéter con solución salina o glucosalina heparinizada.
 - Mantener la guía limpia y libre de coágulos, lavándola cada vez que el médico la extraiga.
 - Ejercer presión local si aparece hemorragia en el lugar de punción.
- ✓ Todo el personal ha de protegerse de las radiaciones retirándose de la sala durante las series de disparos, desviando la mirada del haz de radiación.
- ✓ Muchos de los procedimientos descritos requieren sedación y alguno de ellos anestesia del paciente.

3. Después del procedimiento:

- ✓ Acabada la exploración y retirado el catéter, se procederá a la hemostasia mediante la aplicación de diversos procedimientos (ver tabla 1).

| Compresión | Ventajas | Inconvenientes |
|--|--|--|
| Manual | Eficaz, Comunicación enfermero/paciente Menos complicaciones, Fácil aprendizaje | Ocupa mucho tiempo |
| Dispositivos mecánicos y/o suturas vasculares | Reduce el tiempo del personal, Comodidad, | Aumentan otras complicaciones (infección). |
| Manual + apósito hemostático | Acorta tiempos de compresión y deambulación, | Es caro Falta evidencia |

Tabla 1: Comparación de los distintos medios de compresión.

✓ Después del cateterismo, el paciente puede quedar ingresado. Durante ese período, los cuidados van encaminados a vigilar y prevenir la aparición de las complicaciones potenciales.

En su caso, han de darse indicaciones a seguir por el paciente en su domicilio:

- ✓ Vigilar signos de hemorragia, isquemia o infección. Pedir al paciente que informe de la presencia de dolor, sangrado, o incomodidad repentina en los lugares de punción.
- ✓ Promover el consumo de líquidos para favorecer la eliminación del contraste.

COMPLICACIONES.

- ✓ Disección en el punto de punción o en pared vascular a distancia.
- ✓ Trombosis: puede ocurrir por espasmo en el punto de inyección, compresión externa por hematoma, migración de placas de ateroma, etc.
- ✓ Hemorragia que puede ser inmediata o tardía, por problemas técnicos, como punción agresiva o reiterada, mala compresión, etc.; o por problemas médicos, como trastornos de la coagulación, hipertensión arterial, etc.
- ✓ Infección: Local en el punto de punción, o general; Shock vagal. Extravasación de contraste.

BIBLIOGRAFÍA

1. Armero D, Bernal F, Felices JM, Martín-Gil R, Alcaráz M. Implantación percutánea bajo control radiológico de vías venosas centrales. *Enferm Radiol* 2002; (54): 6-10.

2. Armero D, Alzaraz M, Bernal FL, Felices JM. La técnica del “Road-Mapping”: Una ayuda técnica valiosa para la punción vascular. *Enferm Radiol* 2003; (55): 6-7.
3. Bruckner MG. Sistema Circulatorio. En: Ballinger PW: *Atlas de posiciones radiográficas y procedimientos radiológicos*. Barcelona: Masson-Salvat Medicina; 1993. p. 120-173.
4. Fernández C, Granero J, Ruiz E, Fernández-Amigo A, Muñoz FJ. Diseño de una consulta de enfermería radiológica. *Enferm Radiol* 1998; (38): 10-13.
5. Fernández Sola C. Cateterismo Cardíaco. En: Granero J, Pérez A. *Procedimientos especiales en enfermería médico quirúrgica*. Almería: Servicio de Publicaciones Universidad de Almería; 2004. p. 73-75.
6. Granero J, Fernández C, Jiménez FR, Moreno JM, Muñoz FJ, Heredia M. Atención a las necesidades de comunicación en el marco de los procedimientos enfermeros. *Enferm Científ*. 2004; (262-263): 53-61.
7. Inisterra J, Pardos JA, Pinilla P, López-Menchero G. Reservorios en la vía biliar. *Enferm Radiol*. 1995; (26): 15-18.
8. Inisterra J, López-Menchero G, Pinilla P. Labor de enfermería en la embolización bronquial. *Enferm Radiol* 1996 (30): 5-8.
9. Martínez Antón S. Vertebroplastia. *Enferm. Radiol*. 2002; (53): 17-20.
10. Muñoz FJ, et al. Mapa para el cuidado de pacientes sometidos a intervención hemodinámica. *Tempos Vitalis*. 2004; 4 (2) 41-48.
11. Pérez FJ, Vázquez L, Vázquez G. Embolización percutánea del varicocele en Radiología vascular intervencionista. *Enferm Radiol*. 1997; (31): 9-12.
12. Suzanne C Smeltzer, Brenda G Bare. *Enfermería medicoquirúrgica de Brunner y Suddarth*. Vol. II. 9ª ed. Madrid: McGraw-Hill.-Interamericana; 2002.

ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA

Realización de un trabajo grupal consistente en la elaboración de un manual de procedimientos de radiología vascular e intervencionista. Para ello cada grupo de dos ó tres alumnos se encarga de un procedimiento, para finalmente hacer una puesta en común de todo el grupo, presentando el trabajo conjuntamente.

CAPÍTULO 25. RESONANCIA MAGNÉTICA.

Antonia Pérez Galdeano.

INTRODUCCIÓN

La Resonancia Magnética Nuclear (RMN) constituye, actualmente, una de las técnicas de imagen diagnóstica más utilizadas en medicina. Su evolución ha sido fulgurante desde que, en 1938, I.I. Rabi (Premio Nobel, 1944), sugiere que la información acerca de los núcleos podría ser obtenida analizando su magnetismo. Esta es la base en la que se sustentan las tecnologías de las actuales imágenes por resonancia magnética.

Otras figuras importantes en su evolución fueron los físicos E.Purcell (Harvard) y F.Bloch (Stanford), a los que se les otorgó el Premio Nobel en 1952.

Fue P. Lauterbur, en 1973, quien aplicó el principio de RN al ámbito del diagnóstico médico mediante creación de imágenes de estructuras internas orgánicas.

Desde ese momento, la evolución de este procedimiento radiológico ha sido fulgurante. Actualmente la RMN se considera una técnica imprescindible en el campo de la diagnosis médica.

El profesional de enfermería tiene la responsabilidad de responder ante los nuevos avances tecnológicos con una preparación adecuada que redundará en beneficio del paciente.

DEFINICIÓN

La Resonancia Magnética Nuclear es una espectroscopia de absorción que se fundamenta en la absorción de energía (radiofrecuencias) por un núcleo magnéticamente activo y orientado en el seno de un campo magnético, y que por efecto de esa energía cambia su orientación. Sus partes fundamentales son un imán (bobina superconductor), que aporta el campo magnético principal, un oscilador de radiofrecuencias que suministra la energía necesaria para cambiar la dirección de los núcleos, una bobina receptora que capta las señales y un sistema informatizado, incluye un sistema amplificador y de registro.

OBJETIVOS

1. Examinar zonas anatómicas a fin de detectar las principales patologías que éstas pudieran presentar.
2. Aportar informaciones de orden químico explorando las propiedades magnéticas de los núcleos atómicos.

VENTAJAS

Entre las principales ventajas de este procedimiento se encuentran:

- ✓ Es incruenta, indolora, no emite RI.
- ✓ Las imágenes se obtienen en tres planos: axial, coronal y sagital, sin modificar la posición del paciente y permite cortes más finos que a través de rayos X y TAC.
- ✓ Posee gran sensibilidad al flujo vascular.
- ✓ Las reacciones adversas a los contrastes es mínima siendo su potencial nefrotóxico nulo.

INCONVENIENTES

La RMN más que inconvenientes presenta una serie de puntos débiles:

- ✓ No está disponible en todos los centros por su coste económico.
- ✓ El prolongado tiempo para la obtención de las imágenes.
- ✓ Claustrofobia en pacientes que la sufran.
- ✓ Es un poco ruidosa pero pueden solicitarse cascos de protección.
- ✓ No puede realizarse en pacientes con marcapasos cardíaco, bombas de infusión de medicamentos, clips vasculares intracraneales u otros objetos metálicos intracorpóreos.

RECURSOS

1. Recursos Humanos

Radiólogo, Enfermero, Técnico, etc.

2. Sala de Resonancia Magnética: tiene que contar con:

- ✓ Sala del Imán: es el lugar donde se realiza la RMN. Se llega a ella a través de una puerta blindada con

señalizaciones de advertencia de seguridad y aislada del exterior mediante un recubrimiento de cobre llamado Jaula de Faraday que evita interferencias de radiofrecuencias externas. Debe contar con el siguiente equipamiento:

- Mobiliario, Imán y Shim
 - Sistema de radiofrecuencias: bobinas
 - Sistema de gradientes
 - Bata y calzas para los pacientes
 - Camilla no ferromagnética
 - Contenedor rígido desechable para las agujas
 - Esfigmomanómetro y estetoscopio
 - Material para acomodar al paciente: cojines, almohadillas, etc.
 - Material de venopunción, sueros, antisépticos, equipo de perfusión IV, llave de tres vías, guantes, pie de gotero no ferromagnético, bateas esparadrapo hipoalérgico, etc.
 - Viales de contraste: oral e IV.
 - Marcadores grasos de uso externo
 - Mascarillas y gafas de oxígeno
 - Electrodo para ECG (de grafito o cobre, específicos para la prueba)
 - Cinturón de frecuencia respiratoria
 - Aparato de anestesia, si es preciso
 - Inyector de contraste
- 3. Sala de Control:** donde trabaja el técnico-operador. Tiene que contar con todos los elementos del hardware (consola principal, control del paciente, almacenamiento y archivo de imágenes).
- 4. Sala Técnica:** dispone de los armarios técnicos, control, gradientes, compresor, sistema de refrigeración.



Ilustración 1: Equipo de resonancia magnética y paciente al que se le colocan antenas.

PROCEDIMIENTO

✓ Preparación del paciente

- Valorar el aspecto general tanto físico como psíquico. Detectar la necesidad de información del paciente y familia con el fin de aliviar su ansiedad y temor. Dar la oportunidad de que realicen preguntas y aclarar ideas erróneas respecto al procedimiento, si fuese necesario.
- Informarle que durante la prueba debe mantenerse quieto. Asimismo, se le indicará cómo y cuando deberá respirar.
- Si se va a administrar contraste, explicar el objetivo del contraste y su acción. Darle oportunidad de preguntar dudas con relación a la interacción de aquél con su medicación habitual, alimentos, bebidas, etc., e informar que después de la prueba podrá seguir con sus hábitos cotidianos.
- Comprobar que el paciente ha firmado el consentimiento informado.
- Tranquilizar, transmitiendo nuestra cercanía.
- Recoger otros datos clínicos importantes que puedan poner en riesgo al paciente: alergias, manifestaciones anómalas, etc., y, en este caso, informar al radiólogo
- Pedirle que se quite los objetos metálicos, si los portara. Averiguar historia de: marcapasos cardíacos, clips vasculares, implantes cocleares, estimuladores nerviosos u óseos, fragmentos metálicos intraoculares, prótesis magnéticas (ojo, estomas, etc.) o fragmentos ferromagnéticos en partes blandas que con su movimiento puedan lesionar estructuras vitales o importantes, que contraindicarían la prueba.
- Preguntar si viene en ayunas (para RMN abdominal o pélvica). Asimismo, conviene que haya

miccionado y defecado, para no interferir en la prueba.

- Acompañar al paciente a la cabina donde se pondrá la bata adecuada para la prueba. Ofrecerle ayuda si la necesita.

✓ **Durante el Procedimiento.**

- Colocar al paciente en decúbito supino. A veces, se coloca en decúbito lateral para obtener imágenes oblicuas, Proporcionarle comodidad con la ayuda de cojines, almohadas, etc.
- Enseñarle cómo utilizar el timbre de llamada. Esto mitigará su ansiedad. Informaremos de que estaremos en comunicación visual y auditiva con él durante la realización de la prueba.
- Administrar el contraste, si es necesario: en caso de *administrarse por vía oral*, quedarse junto al paciente hasta que haya tomado el fármaco, observando por si aparece aspiración del líquido. Vigilar la respuesta a la medicación; si requiere *contraste por vía intravenosa*, hay que comprobar la permeabilidad de la vía. Cerrar el clamp y administrar la solución a ritmo constante. Observar la respuesta a la medicación para detectar reacciones alérgicas, bradicardia, depresión respiratoria, etc., aunque al no contener yodo es más seguro que otros contrastes.

✓ **Después del Procedimiento**

- Coordinar el traslado del paciente de la mesa de exploración a la cama/silla de ruedas, evitándole cualquier lesión.
- Ayudar al paciente a cambiarse de ropa, en caso de ser dependiente, y proporcionarle intimidad.
- En caso de ser necesario, acompañar al paciente hasta la ambulancia.
- Informar al paciente/familia de los pasos a seguir para obtener el informe radiológico.

- Informar al paciente de que puede seguir con sus hábitos de vida cotidianos.

PACIENTES EN SITUACIONES ESPECIALES

Cuando se realiza una Resonancia Magnética nos podemos encontrar con pacientes que requieren cuidados especiales, es el caso de:

✓ **Pacientes claustrofóbicos o ansiosos**

- Necesitan más información y dedicación. Hay que estar atentos a sus preguntas dándoles la información necesaria respecto al funcionamiento de la RM., y anticipando lo que van a sentir y escuchar en cada momento.
- Algunas exploraciones pueden realizarse en aparatos con diseño más abierto.
- Vigilar a este tipo de pacientes dado que presentan taquicardia, taquipnea, dificultad para concentrarse, HTA., etc.
- Establecer un adecuado plan de cuidados: información de la prueba, toma de contacto con el aparato de RM., acompañamiento de un familiar, comunicación verbal y visual durante la prueba, interrupción de la prueba a solicitud del paciente (timbre), y nueva cita para el procedimiento.

✓ **Pacientes inmovilizados**

Para evitar lesiones secundarias a la inmovilización, es preciso:

- Situar y mantener al paciente en alineación corporal.
- Contar con los recursos humanos necesarios dependiendo de las necesidades del paciente.
- Usar la tabla de PVC para el traslado del paciente de su cama a la mesa de exploración.
- Monitorizar al paciente que lo precise.
- Posicionar al paciente según estado de salud (traumatismos, postoperatorio).

✓ **Pacientes pediátricos**

- Si el paciente lo precisa es conveniente mantener la presencia física de los padres.
- Si es posible, informar del procedimiento con un lenguaje sencillo.
- A veces, es preciso la realización de la RM con anestesia. Si esto fuera necesario, se le vigilará durante la prueba y posteriormente hasta que desaparezcan sus efectos.

✓ **Pacientes que precisan anestesia**

- Cuando no es viable la inmovilidad del paciente y si no existe contraindicación, puede estar indicada la anestesia. En este caso el aparato de anestesia estará lo más lejos posible del imán.
- No se utilizará material ferromagnético.
- Si se realiza un electrocardiograma se va a alterar por la fuerza del campo magnético.
- Se usarán los electrodos de cobre o de grafito.
- El pulsioxímetro digital será de cable de fibra óptica.
- Se vigilará atentamente el funcionamiento del respirador, que será compatible con el equipo de RM, el aspirador, la toma de oxígeno, el material de intubación así como la medicación prescrita.

✓ **Pacientes con dificultad para la comprensión y la expresión**

- Además de contar con la información por escrito, es conveniente disponer de otras medidas de apoyo como gráficos que sean muy visuales. Todo ello para facilitar la comprensión de la prueba a aquellos pacientes con dificultades para la comprensión o expresión, con deficiente nivel cultural o con determinados síndromes.

✓ **Paciente embarazada**

- Aunque no se conocen efectos nocivos sobre el feto, no se

recomienda su realización salvo que sea realmente preciso.

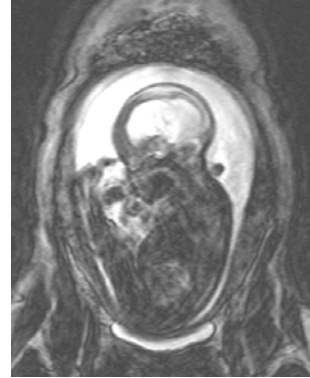


Ilustración 2: No se han evidenciado efectos biológicos de la resonancia magnética sobre el ser vivo. En la imagen RM de un feto con hidrocefalia.

✓ **Lactancia**

- Se recomienda esperar unas 48 h. sin amamantar en caso de haber recibido contraste.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almandoz T. Equipo Osatek. Guía práctica para profesionales de Resonancia Magnética. Bizkaia: Osatek S.A.; 2003.
2. Berrachina Bellés L. Enfermería Médico-Quirúrgica. Generalidades. Barcelona: Masson; 2003.
3. Betelu Oronoz M.A, Pérez Rojo P, Navascués Pérez I, Ruin Bidegáin C, Esporrín Las Heras M, Azcona Asurmendi MA et al. Valoración de Enfermería en Resonancia Magnética. Rev. ER (Pamplona) Enero 2004; (59): 18-20.
4. Ellis J.H. Resonancia Magnética. En: Ballinger P. W. Merrill Atlas de Posiciones Radiográficas y Procedimientos Radiológicos. Tomo 2. 8ª ed. Madrid: Harcourt; 2001. cap. 36. p.181-194.
5. Granero Molina, J., Pérez Galdeano, A. Directores. Procedimientos Especiales en Enfermería Médico-Quirúrgica. Almería: Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería; 2004.
6. University Virginia Health System. Resonancia Magnética Nuclear, RMN (Magnetic Resonance Imaging, MRI). Disponible en: http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/peds_cardiac_sp/mri.cfm/28/02/2005
7. Vicerrectorado de Investigación- Universidad de Sevilla. Resonancia Magnética Nuclear. Disponible en: http://investigación.us.es/servgen/ver_articulo.php?idart=15/28/02/2005.

CAPÍTULO 26. RADIOTERAPIA.

Eugenio Fernández Miranda.

INTRODUCCIÓN

La radioterapia junto con la cirugía y la quimioterapia es uno de los pilares del tratamiento del cáncer. Por tanto, hablar de radioterapia desde la perspectiva de los cuidados de enfermería es hacer referencia ineludible a la enfermedad oncológica.

Epidemiológicamente, se estima que se diagnostican en el mundo millones de nuevos casos al año y en nuestro país es la tercera causa de mortalidad. El impacto de la enfermedad hace que la enfermería asuma un papel activo en la atención, la ayuda, logro de un afrontamiento a la enfermedad, terapia y rehabilitación.

En este capítulo nos referiremos a los aspectos generales de la radioterapia, las funciones del enfermero y a definir los cuidados estandarizados que se deben aplicar a todos los pacientes sometidos a irradiación. Así conseguiremos unos conocimientos de enfermería en radioterapia que garanticen al alumno y profesional competencias para aplicar cuidados individualizados e integrales a este tipo de pacientes.

DEFINICIÓN.

La radioterapia es un tipo de tratamiento oncológico que utiliza las radiaciones ionizantes para eliminar las células tumorales (por lo general cancerosas) en la parte del organismo donde se aplican, es decir, es un tratamiento local.

TIPOS DE RADIOTERAPIA.

SEGÚN LA DISTANCIA A LA FUENTE DE RADIACIÓN:

1. Braquiterapia o radioterapia interna.

Es introducir dentro del organismo implantes relativamente grandes de radiación, encapsulados o no, a localizaciones específicas en períodos cortos.

Dentro de la braquiterapia destacamos la endocavitaria o intracavitaria (dentro de una cavidad, generalmente la vagina o útero); la intersticial, insertados directamente dentro

de los tejidos mediante agujas, alambres, semillas, etc. (en cerebro, cuello y mama); la metabólica, mediante administración oral, IV o intrapleural de fuentes sin sellar, generalmente en cáncer de tiroides o derrame pleural maligno; y la superficial (la dosis queda concentrada en la superficie de la piel sin irradiar tejidos profundos, sobre todo en tumores de piel).

2. Teleterapia o radioterapia externa.

La fuente de irradiación está a cierta distancia del paciente y se realiza mediante equipos de grandes dimensiones como el acelerador de electrones o la unidad de cobalto.

En este tipo de radioterapia se incluye la conformada en tres dimensiones (RT3D) o convencional, la radiocirugía, la estereotáctica, la corporal total y la radioterapia con intensidad modulada.

SEGÚN LA SECUENCIA TEMPORAL CON OTROS TRATAMIENTOS:

1. **Radioterapia exclusiva.** Cuando la radioterapia es el único tratamiento que recibe el paciente.
2. **Radioterapia adyuvante.** Como complemento a un tratamiento principal como la cirugía. Puede ser por tanto preoperatoria o postoperatoria.
3. **Radioterapia concomitante o concurrente.** Es cuando se aplica simultáneamente con otro tratamiento como la quimioterapia.

OBJETIVO TERAPÉUTICO DE LA RADIOTERAPIA.

1. **Radioterapia radical o curativa.** El fin es eliminar el tumor con dosis altas de radiación y períodos largos de tratamiento produciéndose por tanto efectos secundarios.
2. **Radioterapia paliativa.** El fin es aliviar la sintomatología que producen tumores incurables o muy extendidos como dolor, sangrado, etc. Se emplean dosis

pequeñas de radiación, períodos cortos de tratamiento y no existen efectos secundarios.

ETAPAS DEL PROCESO RADIOTERAPEÚTICO.

Primera visita. Aquí se elabora la historia clínica mediante la anamnesis y las pruebas complementarias existentes o las que se pedirán en ese momento, viendo por el radioterapeuta si el paciente es candidato al tratamiento. Si es así se le explicará al paciente cual va a ser su plan de tratamiento (duración de cada sesión diaria, días que tiene que acudir, posibles efectos secundarios, etc.)

Planificación. Con la simulación localizamos y delimitamos el área de tratamiento y los órganos críticos mediante TAC, asimismo se marcarán sobre la piel del paciente varios puntos que servirán de referencia en los posibles desplazamientos en los tres planos del espacio. Luego mediante un programa informático se reconstruye en tres dimensiones el volumen total a irradiar que anteriormente se estableció mediante la simulación obteniendo una radiografía virtual digital reconstruida del área. Este volumen total se llama volumen blanco o diana. Este proceso se define como simulación virtual en tres dimensiones.

Verificación. Una vez realizada la planificación el paciente acude a la unidad de tratamiento, y en la misma posición y condiciones en que se realizó el TAC de simulación comprobamos mediante una radiografía o cobaltografía si el área a tratar coincide con la radiografía digital reconstruida obtenida anteriormente.

Tratamiento. Consiste en varias sesiones diarias de lunes a viernes de corta duración. El período total de tratamiento dependerá del tipo de radioterapia y del objetivo terapéutico de ésta. El paciente estará sólo en el bunker de la unidad de tratamiento por motivos de protección radiológica, aunque siempre vigilado por monitores y en comunicación por interfono con el personal de enfermería. Durante todo el tiempo de tratamiento colocaremos al paciente de la misma forma que lo

colocamos en la simulación y la verificación con el fin de irradiar siempre el mismo volumen blanco y para proteger los órganos sanos vecinos.

Seguimiento durante el tratamiento.

Durante el tiempo de tratamiento el enfermero/a vigilará al paciente por si apareciera algún efecto secundario agudo debido a la iatrogenia y avisar si correspondiera al radioterapeuta. Además éste pasara consulta una vez por semana para el control médico de dichos efectos.

Seguimiento postratamiento. El enfermo acudirá periódicamente para controlar los efectos crónicos de la radioterapia y ver el resultado del tratamiento sobre la enfermedad, así como el propio seguimiento de la enfermedad oncológica. Al principio las revisiones serán relativamente frecuentes hasta luego ir haciéndose más espaciadas en el tiempo.

FUNCIONES DE ENFERMERÍA EN EL EQUIPO MULTIDISCIPLINAR.

El equipo en radioterapia está formado básicamente por el oncólogo radioterapeuta, radiofísico, enfermero /a, técnico especialista en radioterapia, auxiliar de enfermería y secretaria.

Las funciones de enfermería podríamos simplificarlas en administrativas (custodia de las historias clínicas), técnicas específicas con radiaciones ionizantes (colaborar en la simulación y en la aplicación del tratamiento radioterápico tanto en teleterapia como en braquiterapia) y las asistenciales.

La labor asistencial podríamos dividirla en aplicación de cuidados generales que ayuden al paciente a realizar sus actividades básicas y en cuidados relacionados con la enfermedad oncológica que derivan tanto de la evolución de la misma como por las secuelas producidas por los tratamientos (farmacológicos, cirugía y quimioterapia).

Además están los cuidados específicos por la administración del tratamiento radioterápico, los cuales estudiaremos más en profundidad de aquí en adelante.

CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN ONCOLOGÍA RADIOTERÁPICA.

Los cuidados específicos al paciente sometido a tratamiento radioterápico abarcan desde la enseñanza del proceso a seguir, la prevención de las complicaciones, el tratamiento de la toxicidad local y/o sistémica, la educación sanitaria, el control de signos y síntomas, los cuidados de tipo psicológico, hasta los procedimientos enfermeros específicos (curas por lesiones radioinducidas, medicación profiláctica antes de la RT, sondajes, medicación de radiosensibilización etc.).

Los efectos secundarios asociados con la radioterapia pueden ser agudos o crónicos y dependen del área tratada, el volumen de tejido irradiado, el fraccionamiento de la dosis de radiación, la dosis total, el tipo de radiación, los tratamientos concomitantes y las variables individuales.

Las primeras reacciones aparecen durante el tratamiento o las pocas semanas y algunos efectos pueden persistir durante algunas semanas tras la terapia. Las reacciones a largo plazo se pueden presentar después de meses o incluso años.

Una buena labor de enfermería no eliminará los efectos secundarios, pero si ayudará a minimizarlos.

DIAGNÓSTICOS ENFERMEROS.

Por motivos prácticos sólo incluiremos los diagnósticos, resultados e intervenciones más relevantes.

- 1. Conocimientos deficientes** r/c procedimiento RT y /o régimen terapéutico (incluyendo medidas de autocuidado) m/p verbalización del problema y/o seguimiento inexacto de las instrucciones **(00126)**.

Resultados esperados.

- Conocimiento: Procedimientos terapéuticos (1814).
- Conocimiento: Régimen terapéutico (1813).

Intervenciones.

- Enseñanza: procedimiento.
- Enseñanza: individual.
- Enseñanza: proceso de enfermedad.
- Manejo de la radioterapia.

- 2. Manejo efectivo del régimen terapéutico.** r /c regulación e integración en el programa de tratamiento de radioterapia y de sus secuelas m /p expresión verbal del deseo de manejar la radioterapia y la prevención o minimización de sus efectos, mantenimiento de los síntomas dentro de los límites esperados, elección de AVD apropiadas para alcanzar los objetivos de la radioterapia o del programa de prevención de la iatrogenia. (00082).

Resultados esperados.

- Conducta de cumplimiento (1601).
- Conocimiento: Régimen terapéutico (1813).

Intervenciones:

- Iguales al anterior diagnóstico.
- Acuerdo con el paciente.
- Establecimiento de objetivos comunes.
- Vigilancia.
- Facilitar el aprendizaje.

- 3. Riesgo de deterioro de la integridad cutánea** secundario a radiación **(00047)**.

Resultado esperado

- Integridad tisular: piel y membranas mucosas (1101).

Intervenciones:

- Vigilancia de la piel.
- Manejo de la radioterapia.
- Cuidados perineales.
- Cuidados de la piel: tratamiento tópico.

PRIORIDADES EN LA ENSEÑANZA DEL PACIENTE Y FAMILIA

Radioterapia externa

Empleo de la RT externa para tratar el cáncer.

Etapas del proceso terapéutico.

Factores relacionados con el tiempo de dicho proceso.

Información del entorno físico.

- Descripción del entorno.
- Sala de tratamiento y equipo.

Efectos secundarios agudos o crónicos tanto generales como específicos según localización.

- Qué sucede y por qué.
- Cuándo aparecen.
- Cuánto duran y cuándo desaparecen.
- El paciente no es radiactivo.

Medidas a realizar por paciente y /o familia de tipo higiénico, dietético, energía, etc. para paliar o evitar la yatrogenia.

Cuidado del seguimiento.

- Citas a profesionales de la salud
- Cumplimiento de las recomendaciones para una vida sana.

Radioterapia interna. Fuentes selladas

Uso de la RT interna para tratar el cáncer.

Etapas del proceso terapéutico.

Factores relacionados con el tiempo de dicho proceso.

Preparación del paciente antes de la terapia.

Información del entorno físico.

- Habitación de aislamiento.

Procedimientos comprendidos en el tratamiento.

Restricciones con las visitas: menores de edad y embarazadas

Necesidades de aislamiento.

- Aislamiento temporal.
- El paciente permanece en su habitación.
- Cuidados de enfermería sólo para las actividades esenciales.
- Limitación de tiempo de permanencia cerca del paciente.

Limitación de las actividades impuesta por el procedimiento.

- Se recomiendan actividades de ocio como leer o ver televisión.

Medidas a realizar por paciente y /o familia de tipo higiénico, dietético, energía, etc. para paliar o evitar la yatrogenia al alta hospitalaria.

Monitorización de los efectos a largo plazo.

Tabla 1: Modificados de: Shirley E. Otto. Enfermería Oncológica 3ª ed. Madrid: Harcourt Brace/Mosby; 1999.

EFFECTOS SECUNDARIOS.

1. Piel.

La piel que cubre la zona a tratar puede desarrollar alteraciones durante o después de la radioterapia. Suelen aparecer sobre la segunda semana de tratamiento, pudiéndose convertir en una importante complicación. Por lo general, estas lesiones sanan después de varias semanas.

Algunas áreas son más sensibles, como la piel que cubre prominencias óseas, heridas quirúrgicas o las zonas con pliegues cutáneos (axilas, región inguinal, surco submamario, perineo, etc.).

Grados de Radiodermatitis

G0. No Hay cambios en la piel

G1. Eritema moderado o descamación seca

G2. Eritema moderado-severo, descamación parcheada, húmeda, edema moderado

G3. Descamación húmeda confluyente, edema con fóvea

G4. Necrosis cutánea, ulceración dérmica, hemorragia no inducida por traumatismos

Tabla 2: Grados de radiodermatitis.

Hay que valorar la forma en que el paciente cuida su piel y posteriormente planificar la enseñanza para su cuidado durante la radioterapia.

Debe lavarse con jabón de ph neutro que no contenga perfumes ni cosméticos, con agua tibia (evitar temperaturas extremas) secándola sin frotar, con golpecitos, con una toalla suave de algodón.

No deben aplicarse pomadas, desodorantes, talco, cremas, lociones, antisépticos ni ningún otro producto que no se haya referido en la consulta de radioterapia. Después de la higiene diaria puede aplicarse una crema hidratante hidrosoluble. La piel durante la terapia tiene que estar limpia y seca.

Se utilizará ropa holgada, de tejido natural, tanto de vestir como de cama, para evitar rozamientos. No utilizar esparadrapo.

La zona irradiada se afeitará con maquinilla eléctrica siempre y cuando no esté irritada o hubiera alguna lesión.

La piel afectada debe protegerse del sol durante al menos dos años después del

tratamiento utilizando fotoprotectores altos o directamente cubriendo la zona con gorros, bufandas, etc.

Si aparece descamación seca (tabla 2) se aplicarán lociones humectantes hidrofílicas, como el ácido hialurónico, y que no contengan metales pesados; recordar que no debe quedar ningún resto de loción sobre la piel en el momento de la radioterapia.

Bajo supervisión médica y enfermera se podrán utilizar cremas con esteroides ya que, aunque alivian el picor y el dolor, también pueden retrasar la curación y atrofiar la piel.

Las áreas de descamación húmeda se curarán por la enfermera con pomadas o apósitos cicatrizantes que no contengan ni esteroides ni metales pesados. La cura será oclusiva o no según la zona y la lesión a tratar. Asimismo se adiestrará al paciente y familia para la cura en su domicilio.

Se valorarán los signos de infección y se tomarán cultivos de las lesiones o drenajes sospechosos.

En la piel de la zona perineal se aplicarán los mismos cuidados aunque para aliviar la irritación se sugerirán baños de asiento con agua no caliente y compresas perineales. Además después de cada micción o defecación se procederá al lavado de la zona y a su secado sin frotar.

2. Fatiga.

Muchos pacientes experimentan fatiga durante la radioterapia. Puede aparecer después de la sesión de tratamiento y volverse crónica durante el curso de la terapia.

Aunque los niveles varían según el paciente, generalmente se puede continuar con las actividades habituales, y al terminar la radioterapia desaparecerá poco a poco.

Se debe ayudar al paciente y familia a comprender que la radioterapia puede producir fatiga, generalmente en las dos últimas semanas de tratamiento, que persistirá algunas más después de terminar. Se evaluarán las actividades de la vida diaria para programar períodos de descanso después de las sesiones de tratamiento (se sugerirá un descanso al llegar a casa después de cada sesión).

También nos aseguraremos de un consumo nutricional adecuado.

Del mismo modo se deben monitorizar los recuentos sanguíneos, el dolor, la disnea, anorexia, depresión, etc. que pueden aumentar la fatiga.

En general es importante vigilar si el paciente tiene fiebre, signos de infección o hematomas o sangrado.

3. Cabeza y cuello.

Los efectos secundarios más frecuentes son la estomatitis o mucositis oral, la xerostomía, alteraciones del gusto, deterioro o caries dental y la disfagia.

El cuidado oral es fundamental para el paciente sometido a radioterapia en cabeza y cuello.

La higiene de los dientes debe hacerse con un cepillo suave y con una pasta rica en flúor con el fin de no dañar la encía ni los dientes. Si ello no fuera posible debido al dolor se hará con torundas húmedas o simplemente con enjuagues o gárgaras de agua salina o bicarbonatada. No deben usarse enjuagues bucales comerciales con componentes de tipo alcohólico o saborizantes.

Se pueden utilizar anestésicos tópicos tipo lidocaina al 1% antes de las comidas.

Es importante enseñar al paciente y familia cómo inspeccionar la boca diariamente y las técnicas de cuidado.

Se aconsejará abstenerse de tomar irritantes de la mucosa oral como alcohol, tabaco, especias, alimentos calientes o ácidos. Asimismo debe beber gran cantidad de líquidos no irritantes y no ácidos e incluso, si procede, que la dieta será blanda y suave para facilitar la masticación y la deglución.

Si aparece xerostomía se pueden usar sustitutivos de la saliva (saliva artificial), atomizadores, caramelos sin azúcar o colutorios y los alimentos estarán aderezados con salsas poco espesas. Se forzará la ingesta de líquidos.

Las prótesis dentales no se utilizarán si hubiera mucositis o estuvieran mal ajustadas.

En caso de necesidad de reparación oral, se hará bien antes de la radioterapia, bien al

menos dos años después del tratamiento y siempre por un odontólogo para pacientes oncológicos.

Si el paciente experimenta cambios en el gusto puede probar con alimentos condimentados para hacerlos más apetitosos, tomarlos fríos o enmascararlos con salsas.

Cuando se irradia el cerebro puede aparecer edema cerebral con cefalea, náuseas, vómitos, convulsiones, alteraciones de la motricidad y la conciencia. Para prevenir el edema cerebral generalmente se pautan esteroides.

También puede aparecer alopecia en la zona irradiada. Para paliar su impacto se aconseja cortar el pelo antes del tratamiento y usar gorros, pañuelos, pelucas, etc.

4. Tórax.

Los efectos no deseados más frecuentes son la esofagitis y la tos. Más raramente puede aparecer neumonitis o fibrosis por radiación.

Hay que evaluar los conocimientos del paciente y familia sobre las medidas para aliviar la esofagitis y mantener una nutrición óptima. La dieta debe ser suave, blanda o líquida y con un alto poder calórico y de proteínas.

Con respecto a la tos hay que valorar el carácter, intensidad y la frecuencia y monitorizar los cambios en los ruidos respiratorios.

El paciente realizará ejercicios de respiraciones profundas para toser, movilizar las secreciones, y limpiar las vías respiratorias. Se deben evitar los irritantes pulmonares como el tabaco o ambientes cerrados con humo. Se sugerirá el uso de humidificadores y tomar gran cantidad de líquidos. La codeína está indicada en caso de tos seca y grave.

Ante una brusca aparición de disnea y /o fiebre se avisará al médico por posible neumonitis por radiación.

5. Abdomen.

Las náuseas y la gastritis son los efectos más frecuentes cuando se irradia estómago, área paraaórtica o intestino delgado.

Hay que valorar al paciente por si existe patrón de náuseas o vómitos.

El empleo profiláctico de antieméticos orales a diario puede reducir o aliviar las náuseas o los vómitos. En caso de vómitos profusos se emplearán por vía parenteral.

Las técnicas de relajación, reposo y entretenimiento pueden también ayudar.

Aconsejar el forzar la ingesta de líquidos y tomar dieta blanda, pobre en grasa y azúcar y con poco olor; como caldos y sopas.

6. Pelvis.

La diarrea y la cistitis son frecuentes al irradiar tumores de próstata, ginecológicos, rectales o linfomas abdominales. Otros efectos menos usuales son la estenosis vaginal, la disfunción eréctil, disfunción ovárica y la esterilidad permanente.

Hay que valorar los conocimientos del paciente y familia para utilizar las medidas que reduzcan la diarrea y el tenesmo rectal.

Utilizar una dieta baja en residuos al comenzar la radioterapia, con pocas grasas o irritantes intestinales, evitar verduras que produzcan gases (tipo col, coliflor).

Si aparece diarrea tomar dieta astringente y medicación antidiarreica. En caso que sea profusa (heces líquidas más de tres veces al día) avisar al médico por el peligro de deshidratación.

Con respecto a la cistitis hay que evaluar y monitorizar los síntomas; forzar la ingesta de líquidos para fomentar la micción frecuente y evitar infecciones. Cuando aparecen los síntomas hay que descartar infecciones urinarias con muestras de orina para tratar con medicación de forma adecuada.

Cuando la cúpula vaginal está en el campo de tratamiento puede desarrollarse una estenosis vaginal. Para paliarla se utilizarán dilatadores vaginales, se mantendrán relaciones sexuales y se hidratará la mucosa vaginal con productos hidrosolubles.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beare P. G, Myers J. L. Enfermería Médico-Quirúrgica. 2ª ed. Madrid: Harcourt Brace /Mosby; 1997.
2. Ellen Sitton. En el centro de los haces de la radioterapia. *Rev Nursing* 2001; 19 (2): 17-19.
3. Fernández Miranda E, Fernández Sola C, Ferrer García MD, Aguilera Manrique F, Galdeano Rodríguez N. Descripción del Servicio de Radioterapia del Hospital Torrecárdenas de Almería. *Rev. IASO* 1999; (5): 28-32.
4. García Boadella J. Necesidades del paciente oncológico y sus familiares en un hospital de día de radioterapia. *Rev. Enfermería Oncológica* 2001; 6 (1): 36-39.
5. Johnson M, Maas M, Moorhead S. Editoras. Proyecto de resultados de Iowa. Clasificación de Resultados de Enfermería (CRE). 2ª ed. Madrid: Elsevier /Harcourt /Mosby; 2003.
6. McCloskey J, Bulechek G. Editoras. Proyecto de intervenciones de Iowa. Clasificación de Intervenciones de Enfermería (CIE). 3ª ed. Madrid: Elsevier /Harcourt /Mosby; 2002.
7. Radioterapia. Wikipedia [en red] 2004 [fecha de acceso 25 de enero de 2005]; URL disponible en: <http://www.wikipedia.org/wiki/radioterapia>
8. Shirley E. Otto. Enfermería Oncológica. 3ª ed. Madrid: Harcourt Brace /Mosby; 1999.
9. Sparks Ralph S, Craft-Rosenberg M, Heather Herdman T, Lavin M A. Editores. NANDA Internacional. Diagnósticos enfermeros: Definiciones y Clasificación 2003-2004. MMIII ed. Madrid: Elsevier; 2004.

CASO PRÁCTICO.

El señor P es un hombre de 58 años, casado sin hijos y taxista de profesión.

Es remitido al servicio de radioterapia con diagnóstico de ADC prostático no intervenido con un PSA de 7. No tiene antecedentes personales de interés, excepto que es fumador importante e intervenido de hemorroides. Se queja de "sofocos" e impotencia sexual. No tiene tratamientos, excepto bloqueo hormonal.

La enfermedad debutó hace 6 meses con polaquiuria, nicturia y urgencia para orinar, actualmente no tiene sintomatología. Tras ser valorado por el radioterapeuta es incluido en el programa de tratamiento de radioterapia externa con Co60. Tiene prevista una dosis total de 50 Gy sobre próstata y cadenas ganglionares vecinas en fraccionamiento de 200 cGy /día.

El primer análisis no evidencia nada de interés, el PSA ha bajado a 3. En la primera visita previa al tratamiento tanto el paciente como su esposa se muestran algo desconfiados respecto al proceso y pronóstico de su enfermedad y el tratamiento a seguir. Posteriormente, una vez informados refieren

su deseo de colaborar en todo lo relacionado con la radioterapia. Además tiene el propósito de seguir trabajando.

El paciente asiste sólo a las sesiones de tratamiento y se muestra educado y hablador con los demás pacientes y familiares de la sala de espera. Las dos primeras semanas de terapia transcurren sin interés para la enfermera. Tras veintidós días transcurridos, la piel de la zona de tratamiento presenta eritema y descamación seca.

Después del tercer fin de semana de terapia refiere haber tenido cuatro deposiciones líquidas tras un dolor abdominal tipo cólico que no cede espontáneamente. Además tiene dolor al defecar. La piel perianal y de la línea interglútea está irritada y algo edematosa, con descamación húmeda.

Después de tres días con medicación y dieta adecuados las deposiciones son menos líquidas y frecuentes aunque mezcladas con mucosidad, se sigue quejando de dolor en la zona del recto.

Un día la esposa nos cuenta que al llegar a casa tras la sesión de tratamiento necesita descansar y que ha comentado dejar de trabajar por una temporada.

En la última semana aparece disuria y polaquiuria que le interrumpe el sueño; tras un análisis de orina se no se evidencia infección urinaria. La piel se muestra en fase de cicatrización tras los cuidados y sin signos ni síntomas de infección.

Al terminar con la radioterapia la piel presentaba radiodermatitis G1 y estaba en curso de restablecimiento, las heces eran más formadas aunque persistía la rectitis. La disuria había cedido, no así la polaquiuria ni la nicturia. La analítica, tanto hematológica como bioquímica, era normal con un PSA de 1,78.

1. Identifica los efectos secundarios agudos y crónicos de la radioterapia externa con Co60 en pelvis.
2. Establece un plan de cuidados utilizando las taxonomías NANDA, NOC y NIC.
3. ¿Qué información daríamos previa al tratamiento?
4. ¿Cuáles serían las actividades propias de esta localización en la intervención Manejo de la radioterapia?

CAPÍTULO 27. CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LOS PROCEDIMIENTOS DE MEDICINA NUCLEAR.

Manuel Guerrero Ortiz, José R Gómez Fuentes, Raquel Arenas Aguaza.

INTRODUCCIÓN

La medicina nuclear incluye una serie de procedimientos, tanto diagnósticos como terapéuticos, que suponen la incorporación al organismo de radionúclidos que posibilitan aplicaciones diversas como el estudio de la morfología de un órgano o sistema, la evaluación de la función fisiológica, análisis de un componente biológico o tratamiento de un proceso patológico.

Entre sus principales características cabe destacar que es poco invasiva, pues basta con una inyección intravenosa y el trazador viaja a través de la sangre para localizarse en el órgano a estudiar; su campo de aplicación abarca casi todo el organismo y los niveles de radiación son similares o incluso inferiores a los de otras técnicas radiológicas.

Todo ello aporta ventajas como la detección precoz de anomalías, lo que redundará en un tratamiento más rápido, detecta la célula cancerosa por su función, cuando aún pasa desapercibida por su aspecto; y en el área terapéutica, permite un tratamiento selectivo y directo de tumores y otras enfermedades, con sustancias que se dirigen directamente al órgano enfermo.

INSTRUMENTACIÓN:

La instrumentación esta basada en el *Detector de centelleo sólido* Sustancia fotosensible que se activa ante la detección de un fotón emitido por el radionúclido emitiendo fotones de luz.

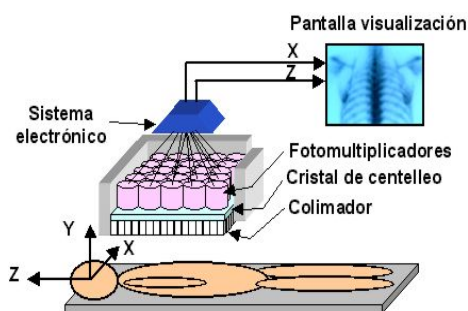


Ilustración 1: Esquema de una Gammacámara.

Las gammacámaras pueden obtener información tomográfica de la distribución del trazador, que no es más que la posibilidad de realizar “cortes” gammagráficos (de forma similar a la TC con respecto a una radiografía). Este procedimiento se denomina SPECT (Single Photon Emission Computer Tomography = Tomografía computadorizada por emisión de fotón único).



Ilustración 2: Gammacámara de doble cabezal

PROCEDIMIENTOS DIAGNÓSTICOS:

1. ENDOCRINOLOGÍA:

Gammagrafía tiroidea: (Imagen 3 izq)

Técnica: Administración IV de ^{99m}Tc -pertenectato que se incorpora a la glándula de forma similar al yodo pero sin llegar a ser organificado. 5-10 mCi

Indicada en estudio de nódulos tiroideos, Seguimiento de bocios multinodulares, estudio de hiperfunción tiroidea, y de tiroiditis, etc.

Preparación del paciente: La captación de la glándula tiroidea se puede ver afectada por: dieta rica en yodo (sal, lombarda, grelos, nabos) tiroxina, lugol, amiodarona, contrastes radiográficos, perclorato, salicilatos.

Gammagrafía de paratiroides: Detección de tejido paratiroideo hiperfuncionante, adenomatoso o hiperplásico, de localización normal o ectópica. Se emplean ^{99m}Tc -Tetrofosmin / ^{99m}Tc -MIBI.

Gammagrafía de médula suprarrenal: Detección de tumores productores de catecolaminas (feocromocitomas). Se emplea ^{123}I -metayodobencilguanidina (MIBG) que es un análogo de la noradrenalina. Entra a

formar parte en la vía de síntesis de las catecolaminas. (im. 3, dcha).

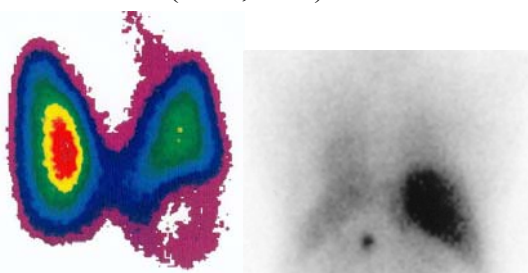


Ilustración 3: nódulo tiroideo hipocaptante en polo inferior izquierdo Feocromocitoma en glándula suprarrenal izquierda (imagen derecha).

2. CARDIOLOGÍA NUCLEAR:

SPECT de perfusión miocárdica de esfuerzo y reposo: exploración que ocupa el espacio situado entre la prueba de esfuerzo eléctrica y la coronariografía. Indicada en el diagnóstico de Enfermedad Coronaria, valoración de la viabilidad miocárdica y monitorización post-tratamiento de revascularización coronaria (angioplastia o by-pass).

Técnica: Inicialmente se ha de realizar una *Prueba de Esfuerzo* que produce desequilibrio entre flujo coronario y las necesidades de consumo de oxígeno miocárdico. Ha de alcanzarse el 80% de la frecuencia cardiaca submáxima (220-Edad) del paciente.

El trazador (^{201}Tl o $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -isonitrilo) tiene un metabolismo similar al potasio, alcanzando en el miocardio una concentración intracelular proporcional al flujo sanguíneo del músculo. Requiere ayunas previo de 3 h; retirar betabloqueantes (48 h), antagonistas del Ca y nitratos (72 h); situación clínica y hemodinámica estable durante las 48 h previas; entre los estudios de esfuerzo y basal hay que mantener ayunas y reposo relativo. Para la prueba de esfuerzo hay que monitorizar ECG y T.A. y disponer el carro de parada. La administración del radiofármaco (IV), se hará en el momento de máximo esfuerzo o ante la aparición de síntomas. Éste es de excreción biliar (dar agua para aclarar intestino). Si no es posible la prueba de esfuerzo, puede hacerse *con estímulo farmacológico*, en cuyo caso las

ayunas serán de 8 h, se eliminan xantinas en la dieta durante las 12 h previas; Suprimir 24 h, dipiridamol, antigripales, etc. **Dosis de estimulante:** *Dipiridamol:* 0.56 mg/kg en infusión de 4 minutos. = 0.142 mg/kg/minuto *Adenosina:* 0.142 mg/kg/minuto durante 6 minutos. Disponer de antídoto (Eufilina®), solinitrina y atropina. Los **efectos adversos** (vómitos, náuseas, cefaleas, dolor torácico, hipotensión, IAM) revierten con el cese de la infusión, pudiendo ser preciso antídoto para el dipiridamol (aminofilina). Si aparece hipotensión severa, bloqueo sintomático completo o de 2º grado, broncoespasmo o angina severa con depresión de ST ha de interrumpirse la infusión.

A continuación se pasa al paciente a la Gammacámara donde se adquiere el estudio tomográfico (SPECT).

Tras el SPECT de esfuerzo hay que administrar IV una nueva dosis del radiofármaco pero ahora en estado de reposo y, pasados unos minutos, realizar nuevo SPECT.

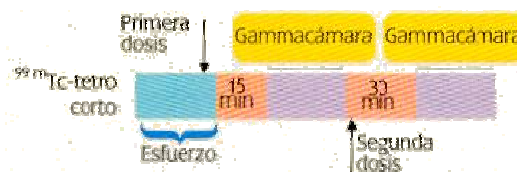


Ilustración 4: Protocolo de adquisición de estudio de perfusión miocárdica

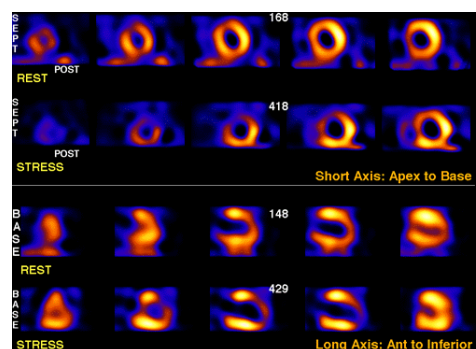


Ilustración 5: SPECT de perfusión miocárdica que refleja una isquemia de cara antero-apical

Ventriculografía isotópica: Se emplean hematíes marcados con tecnecio para obtener imágenes computerizadas del ciclo cardiaco conforme éstos entran y salen de las cámaras cardiacas. Este estudio resulta útil en la evaluación de la función cardiaca,

sobre todo en pacientes que reciben fármacos cardiotoxicos (quimioterapia). El estudio está sincronizado con el EKG (onda R) unos 300-400 ciclos cardiacos.

Obtenemos valores numéricos de la Fracción de eyección del VI y volúmenes ventriculares en sístole y diástole.

Estudios de integridad celular miocárdica mediante Pirofosfatos-^{99m}Tc: Localización de infartos agudos de miocardio ocultos en el electrocardiograma. Se fundamenta en la capacidad de las células miocárdicas infartadas para asimilar depósitos cálcicos.

Ventriculografía de “primer paso”: Análisis visual o cuantificado, durante la 1ª circulación, de un trazador a través de la circulación central, cavidades cardiacas y pulmonares, tras su inyección endovenosa en bolo. Permite visualizar cavidades cardiacas y grandes vasos, determinando la función ventricular y cuantificando cortocircuitos Izquierda-Derecha.

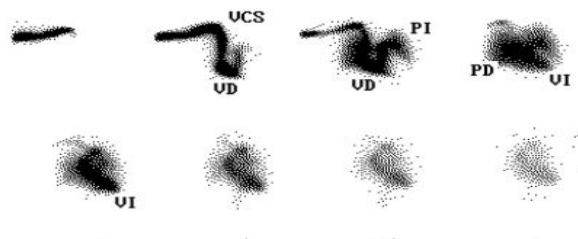


Ilustración 6: análisis visual del trazador en su paso por las cavidades cardiacas y tras un bolo IV rápido.

En estos estudios es fundamental obtener un bolo rápido y homogéneo:

| En vena antecubital | En vena de antebrazo |
|--|---|
| Catéter grueso (18 G) | Mantener el manguito de TA entre sistólica y diastólica |
| Extensión conectada a llave de 3 pasos | Favorecer repleción venosa |
| Introducir en la extensión la dosis de RF | Introducir dosis |
| Arrastrar con bolo salino (10-20 ml) a velocidad rápida (en 2'' VI- 4''VD) | Arrastrar con bolo rápido de 10-20 ml de suero fisiológico. |

Tabla 1: procedimientos para conseguir un bolo de radiofármaco homogéneo.

3. SISTEMA OSTEO-ARTICULAR:

Gammagrafía ósea: El 69% del tejido óseo está formado por sales inorgánicas (sales de calcio, fosfato, cristales de hidroxiapatita, la más abundante). La presencia de iones derivados de estas sales en la superficie del hueso crea una gran superficie adsorptiva en la que se basa la fijación del radiofármaco: Difosfonatos-^{99m}Tc que se adhieren a los iones hidratados de la superficie de los cristales de hidroxiapatita.

Técnica: 20 mCi. IV. y G. ósea a las 2 horas tras la inyección o en tres fases: (angiográfica, tisular y G. ósea).

Preparación del paciente:

- Abundante ingesta de líquidos (1-1,5 litros) antes y durante el estudio. Orinar con frecuencia.
- Interrogar sobre antecedentes traumáticos y/o quirúrgicos recientes (1 año).
- La inyección se realizará en la extremidad que menos interfiera para la adquisición de las imágenes.

Indicaciones:

- Detección precoz de metástasis óseas (ilustración 9); Tumores óseos primitivos.
- Infecciones Músculo-esqueléticas, en combinación con el Ga⁶⁷ y los leucocitos marcados; y otras patologías como enfermedades metabólicas, lesiones deportivas, osteonecrosis, fracturas.

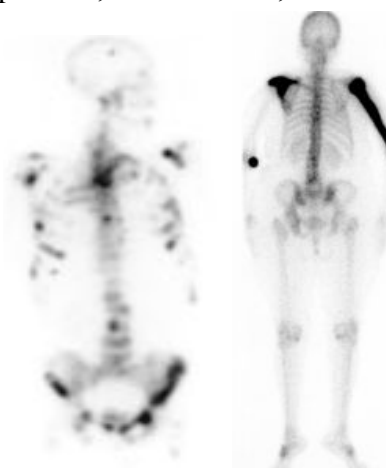


Ilustración 7: Gammagrafía ósea que presenta múltiples metástasis óseas (Izquierda), y Enfermedad de Paget (derecha)

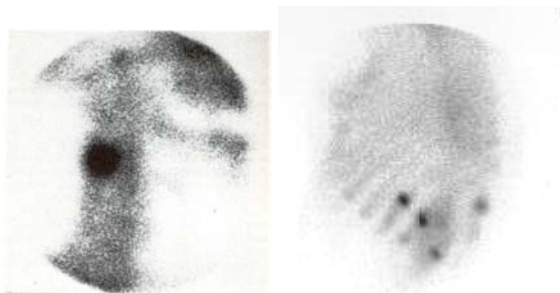


Ilustración 8: Osteoma en c. cervical (Izq). Sospecha de traumatismo costal por malos tratos. Rx: sin hallazgos.

4. NEUROLOGÍA Y PSIQUIATRÍA:

SPECT cerebral de perfusión: El fundamento de la exploración radica en la relación directa que existe entre el flujo o perfusión sanguínea cerebral y la actividad neuronal. El radiofármaco, una vez inyectado, atraviesa la barrera hematoencefálica y entra dentro de la neurona presentando una distribución cortical proporcional al flujo sanguíneo cerebral. Al entrar en la neurona la molécula pasa de ser lipofílica a ser hidrofílica, lo que permite obtener una imagen “congelada” o fija de la perfusión en el momento de la inyección.

Preparación del paciente:

- Para evitar alteración en la perfusión del cortex, las 12-24 horas previas al estudio no se deben ingerir alimentos, bebidas o fármacos con efectos sobre ésta (café, cola, te, alcohol, ansiolíticos, hipnóticos, etc).
- Para evitar que los estímulos sensoriales alteren la perfusión de determinadas áreas cerebrales hay que inyectar el radiofármaco en una habitación donde el paciente se encuentre tranquilo y con los mínimos estímulos externos posibles.

Indicado en enfermedad cerebro-vascular, demencias, epilepsia, parkinson, etc.

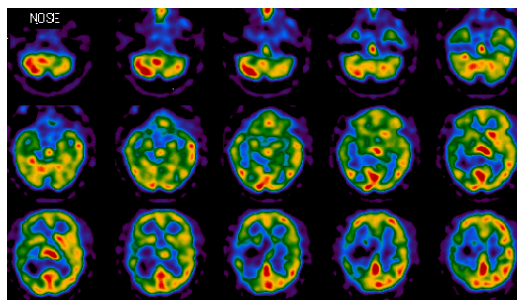


Ilustración 9: diagnóstico precoz de los infartos cerebrales. Incluso lesiones vasculares no detectadas por otras técnica como la TAC.

Gammagrafía para el diagnóstico de muerte cerebral: Valora el flujo sanguíneo cerebral. Administración del bolo en vía central. Muy útil en el programa de trasplante de órganos.

Cisternografía isotópica: Representación gammagráfica del espacio subaracnoideo. Requiere la inyección lenta mediante punción lumbar de un trazador que difunde por el LCR sin metabolizarse ($^{111}\text{In-DTPA}$ en el LCR).

5. NEFROUROLOGÍA:

Gammagrafía renal: Se emplea como trazador el $^{99\text{m}}\text{Tc-DMSA}$ Es útil en la valoración de morfología, número y localización renal. Es capaz de estimar la masa cortical funcionante y la contribución individual (Función renal relativa).

Indicada en el diagnóstico de patología inflamatoria y vascular aguda, en la valoración de Pseudomasas y variantes de la normalidad.

Renograma isotópico: Valora el funcionalismo global e individual de la excreción renal y del sistema colector (cálices y pelvis renales) en el despistaje de uropatía obstructiva. Los fármacos empleados son $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ que se elimina por filtración glomerular y el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG3}$, que se elimina por excreción tubular.

Preparación del paciente: Importante la hidratación previa (1,5 litros de agua en las horas previas al estudio). No necesita ayunas.

Técnica: Se trata de un estudio dinámico ya que hay que administrar I.V. el Radiofármaco bajo Gammacámara (vía venosa, administración en bolo y perfusión de Suero fisiológico a lo largo del estudio). El Sondaje vesical evita el reflujo vesicoureteral

En algunos casos se realizará el denominado *renograma diurético* para estimular la producción de orina y el llenado de la pelvis renal (añadir Furosemida i.v. Dosis de 0,5mgr/kg salvo en <1 año donde será 1mgr/kg.)

Es muy importante la inmovilidad del paciente (colaboración de familiares).

Se realizan una serie de imágenes secuenciales y una curva renográfica que refleja el funcionalismo renal.

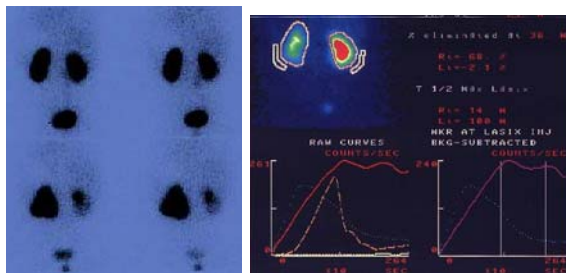


Ilustración 10: imágenes secuenciales y curva renográfica en un caso de estenosis pieloureteral izq.

Renograma con test de IECAS: Valora la HTA vasculorrenal (Estenosis de la Arteria Renal). Permite diferenciar las estenosis que producen repercusión en el parénquima de las que no. La exploración también es útil en riñón único (trasplantados).

Cistografía isotópica: Diagnóstico y seguimiento del Reflujo Vésico-ureteral. Posee mayor sensibilidad que la cistografía radiológica con menor dosimetría.

Técnica: El trazador es el ^{99m}Tc -DTPA que mediante sonda vesical se instila diluido en la vejiga con un Volumen vesical (ml) = (Edad en años+2)x30 (máximo 500 ml).

6. ONCOLOGÍA NUCLEAR:

Rastreo con ^{67}Ga en el estudio de los linfomas: El ^{67}Ga es un trazador con gran afinidad por los tumores linfáticos (Linfoma de Hodking y Linfoma No Hodking).

Indicaciones: Rastreo pre-tratamiento (estadificación del tumor) y evaluación precoz de la respuesta terapéutica ya sea quimio y/o radioterapia.

Técnica: No requiere preparación previa. Inyección i.v. de 10-12 mCi. Obtención de imágenes a las 48-72 horas, previa limpieza intestinal (debido a la eliminación fecal del ^{67}Ga). Aplicar enemas de limpieza la noche anterior y la misma mañana del día de la exploración.

Gammagrafía con receptores de somatostatina: La Somatostatina (SS) es un péptido ampliamente distribuido por el organismo cuyas acciones son mediadas por receptores específicos (R-SS) localizados en la

membrana de células diana. Los tumores que proceden de estas células sobre-expresan los R-SS. El octreótido es un análogo sintético de la SS que es marcado con In-111 detecta tumores con altas concentraciones de R-SS.

Preparación del paciente: Retirar Sandostatin[®] tres días antes; Buena hidratación; Los días previos dieta pobre en fibra y Administrar laxantes o enemas antes de la exploración.

Indicaciones: Localización y estadiaje de Tumores neuroendocrinos del aparato digestivo; valoración post-tratamiento y localización de lesiones que respondan al tratamiento con análogos de SS.

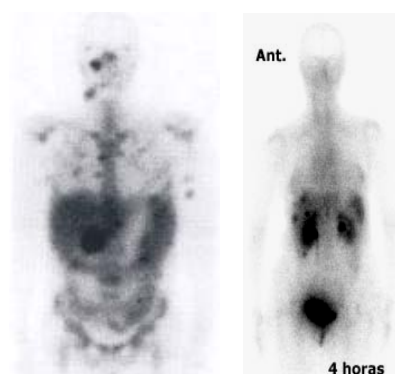


Ilustración 11: Estudio de extensión de un Linfoma (Izquierda) y metástasis hepáticas (derecha).

7. APARATO DIGESTIVO:

Estudio de tránsito y reflujo gastro-esofágico: Estudio de patología funcional esofágica. Se trata de una técnica: No invasiva, fisiológica, con una elevada reproductibilidad y que es capaz de estudiar líquidos y sólidos a la vez.

Preparación: Ayunas de 12 horas, suspender medicación el día antes.

Técnica: Añadir al alimento un compuesto que no se absorba y no se adhiera a las paredes del esófago. (Sulfuro-coloidal- ^{99m}Tc). Alimentos: agua, zumo, leche.

Indicaciones: control y seguimiento de la Acalasia (insuficiencia de apertura del EEI), Espasmo esofágico difuso, Esófago en cascanueces.

Estudio de vaciamiento gástrico: Método "gold standard" para la evaluación del vaciamiento gástrico de sólidos y líquidos y para el seguimiento de los fármacos procinéticos y técnicas quirúrgicas.

Preparación del paciente: Ayunas de 12 horas (no tabaco ni medicación).

Técnica: El Sulfuro-coloidal- ^{99m}Tc se añade a huevo batido para cocinar tortilla o bien ^{111}In -DTPA con cualquier líquido. Existe un método mixto, semisólido (puré de patatas marcado). Se adquieren imágenes seriadas durante 3 horas.

Aplicaciones Clínicas: Evaluación de las gastroparesias funcionales; Dispepsias y síndromes ulcerosos.

Detección de mucosa gástrica ectópica: **Divertículo de Meckel:** persistencia del conducto onfalomesentérico. Suele cursar con hemorragia que refleja la presencia de mucosa gástrica ectópica en el divertículo.

Preparación: premedicación con anti H_2 (ranitidina, famotidina) y ayunas de 6 horas.

Técnica: El ^{99m}Tc -Pertechnetato, inyectado I.V, es concentrado y secretado por la mucosa gástrica de forma similar al CIH.



Ilustración 12: Localización de mucosa gástrica ectópica bajo la bifurcación de las iliacas.

Detección de procesos inflamatorios abdominales: mediante el empleo de leucocitos marcados.

Preparación: suspender tratamiento con Corticoides, Antibióticos, 5-ASA. Hemograma y fórmula leucocitaria previos.

Técnica: Marcaje celular (^{99m}Tc -HMPAO-Neutrófilo). Adquirir Imágenes a los 30 min y 2 horas.

Indicaciones: Diagnóstico de la Enfermedad Inflamatoria Intestinal (Crohn y Colitis Ulcerosa). Seguimiento de la enfermedad, monitorización de respuesta terapéutica, etc.

Gammagrafía hepato-esplénica: Capacidad de las células de Kupffer hepáticas para aclarar partículas coloidales del torrente circulatorio mediante fagocitosis.

Técnica: Sulfuro coloidal- ^{99m}Tc . 3-4 mCi. iv.

Indicaciones: Valora tamaño, morfología y situación hepática. Sospecha y control de la

evolución cirrosis hepática. Tipifica Masas Hepáticas como los hepatocarcinomas, adenomas, Hiperplasia nodular focal, nódulos de regeneración, Angiomas, Metástasis.

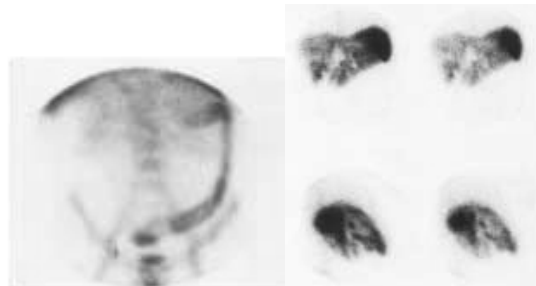


Ilustración 13: Colitis Ulcerosa en colon descendente y sigma y Cirrosis hepática (derecha).

Gammagrafía hepato-biliar: Se emplea para el estudio funcional de la vesícula biliar ya que podemos realizar un seguimiento de la dinámica biliar y el paso de la bilis por las vías biliares y el tubo digestivo.

Técnica: Radiofármacos: derivados del IDA (ácido iminodiacético). 4-5mCi IV. que son excretados por el hepatocito dentro del sistema biliar de manera similar a la Bilirrubina, pero no son conjugados.

Aplicaciones Clínicas: Colecistitis aguda litiásica y alitiásica (la visión de la vesícula biliar excluye el diagnóstico); Colecistitis crónica; complicaciones de la colecistitis aguda; Pancreatitis aguda, etc.

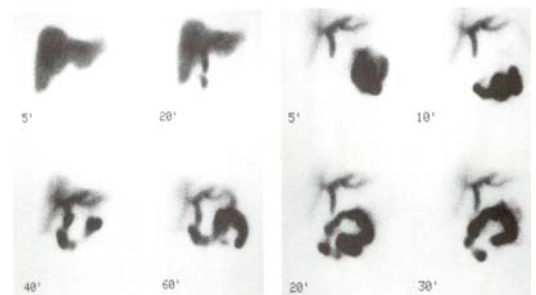


Ilustración 14: Estudio de colecistitis aguda donde no apreciamos la vesícula biliar.

8. SISTEMA RESPIRATORIO:

Gammagrafía de perfusión pulmonar: El fundamento de la exploración es la microembolización con partículas marcadas de las arteriolas pulmonares. Las partículas son atrapadas por el pulmón en proporción al flujo sanguíneo arterial pulmonar.

Técnica: Con el paciente en decúbito supino se inyectan (IV) Macroagregados de Albúmina- ^{99m}Tc .

Indicaciones: Estudio del Tromboembolismo Pulmonar Valoración prequirúrgica de la función pulmonar. En pediatría, para el diagnóstico de bronquiectasias, cuerpos extraños, bronquiolitis, etc.

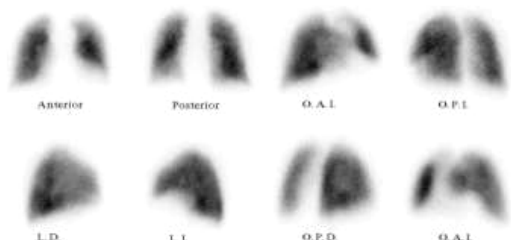


Ilustración 15: Estudio de perfusión pulmonar (normal).

9. ESTUDIOS DE LA INFLAMACIÓN E INFECCIÓN:

Estudios con citrato-67Ga: El citrato de Galio-67 además de su afinidad por los linfomas, presenta afección por los neovasos que se forman en los focos inflamatorios. Por tanto, este trazador es útil en la localización de dichos focos (en la fiebre de origen desconocido) y para monitorizar la respuesta terapéutica. No necesita preparación.

Técnica: 2-5 mCi Citrato-67Ga i.v. Enemas de limpieza previos a exploraciones abdominales.

Leucocitos marcados 99mTc-HMPAO: Se basa en la Quimiotaxis de neutrófilos, presentes en la fase aguda del proceso inflamatorio. **Indicado** en el estudio de abscesos; Infección osteoarticular y de injertos vasculares; Fiebre de origen desconocido en fase aguda.

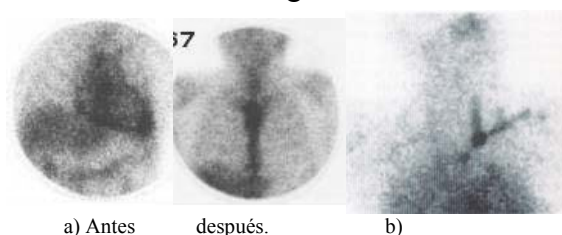


Ilustración 16. a): monitorización con Galio-67 de la respuesta al tratamiento antibiótico de una pancarditis. b): Flebitis de la vena subclavia por infección de una vía central

10. SISTEMA LINFÁTICO:

Linfogammagrafía: Estudio del transporte linfático mediante un coloide marcado inyectado en el intersticio. No necesita preparación previa específica. Requiere la inyección subcutánea en primer espacio

interdigital de 1-2mCi de ^{99m}Tc -Nanocoloides de Sulfuro. Está indicado en la valoración de edemas de extremidades; Diagnóstico etiológico de los linfedemas; Detección de fistulas, quilotorax, ascitis quillosa.

11. PET (Tomografía por emisión de positrones):

Técnica que se fundamenta en el uso de radiofármacos marcados con isótopos emisores de positrones. Permite visualizar y cuantificar múltiples procesos bioquímicos y fisiológicos utilizando moléculas que se incorporan al metabolismo del paciente.

La ^{18}F FDG (2-[^{18}F]-fluoro-2-desoxi-D-glucosa) es el radiofármaco PET más importante. Tanto la glucosa como la FDG entran fácilmente en las células, más rápidamente en el caso de la FDG, cuya concentración en las células tumorales es reflejo del aumento glicídico para obtener una elevada tasa de crecimiento y/o proliferación. Existe una diferencia sustancial en el acúmulo de ^{18}F FDG entre las células tumorales y las que no lo son, posibilitando su utilización como indicador indirecto de proliferación celular.

Indicaciones: La oncología es el principal campo de aplicación de esta técnica. Se emplea en: Caracterización de malignidad; Gradación y estadificación inicial; Diagnóstico de recurrencia o enfermedad residual, etc.

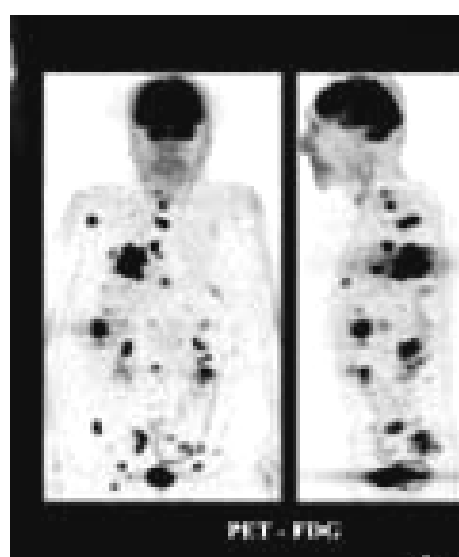


Ilustración 17: Masa pulmonar en lóbulo inferior derecho + adenopatías mediastínicas según TAC. Estudio de extensión mediante PET.

PROCEDIMIENTOS TERAPÉUTICOS AMBULATORIOS

Tratamiento del hipertiroidismo: El diagnóstico del hipertiroidismo se realiza habitualmente mediante la exploración clínica y la determinación de TSH, T4, T3 en sangre. El tratamiento tiene tres modalidades: Antitiroideos de Síntesis (ATS); Cirugía. y Radioyodo (^{131}I). Esta última modalidad está indicada en bocio pequeño con mala respuesta a ATS, contraindicación o alto riesgo quirúrgico, tirotoxicosis con cardiotoxicidad en ancianos.

La radiación β -emitida en el interior de la glándula tiroidea producirá una tiroiditis por radiación (Necrosis, edema, infiltración leucocitaria y fibrosis) y por tanto la destrucción de la glándula.

Técnica: Deben retirarse los ATS pero no los β -Bloqueantes 1 semana antes. Se pueden emplear múltiples dosis bajas de 2-3 mCi o bien única dosis alta de 10-15 mCi todas ellas vía oral. El efecto del radioyodo se produce a los 3-6 meses que es cuando se consigue el hipotiroidismo.

Complicaciones del Tratamiento: suelen ser muy raras y van desde la tormenta tiroidea, la compresión de la vía aérea o vascular a la tiroiditis aguda. A veces existe aumento leve de la clínica hipertiroides a las pocas semanas del tratamiento.

Contraindicaciones: Embarazo, lactancia, alergia al Yodo.

Los pacientes han de seguir una serie de precauciones para evitar que la eliminación del radioyodo pueda radiar a la familia o al resto de la población. Por tanto, este debe recibir una serie de recomendaciones por escrito (Tabla 2).

Tratamiento del dolor óseo de origen metastásico: Se realiza en pacientes con procesos neoplásicos (cáncer de próstata, mama, pulmón, etc) con diseminación ósea metastásica. En algunos casos las metástasis son dolorosas y refractarias al tratamiento analgésico convencional.

En estos casos, sobre todo paciente en situación terminal, se le administra endovenosamente una dosis de Estroncio-89 (Sr^{89}) o de Samario-122 (Sm^{122}) como tratamiento paliativo del dolor.

Recomendaciones al paciente en dosis terapéuticas:

- Evitar durante 10 días el contacto con embarazadas y niños pequeños. Prever con antelación la supresión de la lactancia.
- Evitar la presencia prolongada con público y familiares, manteniendo una distancia de 1 m.
- Dormir en habitaciones o camas separadas durante 2 - 3 días. Evitar el contacto sexual en tres días y quedarse embarazada en 6-12 meses.
- Utilizar separadamente utensilios de cocina e higiénicos (o desechables).
- Beber abundantes líquidos (10 vasos/día), orinar con frecuencia, vaciar 3 ó 4 veces la cisterna durante los 2 primeros días. Lavarse cuidadosamente las manos. (De existir dos aseos en el domicilio reservar uno para el paciente)
- Lavar la ropa interior o contaminada con exudados corporales por separado, aclarando con abundante agua

Tabla 2: recomendaciones escritas al paciente sometido a tratamiento ambulatorio con radioyodo.

Dosis terapéuticas elevadas (> de 30 mCi) requieren **hospitalización en habitaciones (celdas) acondicionadas**, autorizadas y atendidas por personal profesionalmente expuesto (PPE) que debe conocer las medidas de radioprotección. Con carácter general:

- Habitaciones señalizadas con el trébol que corresponda (zona controlada, de permanencia limitada, etc.), con las normas de trabajo en lugar visible y un monitor de radiación en la puerta.
- Proporcionar al paciente pañuelos, utensilios de comida y aseo desechables y bolsas de plástico para almacenar material (se consideran como residuos radiactivos).
- Instruir al paciente acerca de los cuidados que debe adoptar con sus heces, orina, vómitos, etc.
- En caso de contaminación accidental debe avisar al personal de enfermería. quien tomará las medidas oportunas (limpieza, dosimetría, exclusión y señalización del área contaminada).
- En cualquier cuidado que requiera el paciente, se procurará que la misma persona no permanezca más de ½ hora al día a una distancia inferior a 1 metro. En

lo posible mantener una distancia superior a 4.5 metros del paciente.

- La/el enfermera/o (PPE) entrará en la habitación provista de: dosímetro, delantal plomado, protector de tiroides, gafas plomadas, guantes desechables, calzas de plástico resistente. Al salir de la habitación depositará los guantes y calzas en un contenedor de residuos radiactivos.
- Las visitas de menores de 18 años, embarazadas y personas con heridas está totalmente prohibida. El resto de personas no deben permanecer en la habitación más de 1 h/día durante los 3 primeros días, guardando la mayor distancia posible y preferentemente situados detrás de la mampara plomada de protección.
- Al alta se le entregarán al paciente normas escritas sobre las precauciones a adoptar en el domicilio.

En el caso de que un paciente en tratamiento ambulatorio con dosis medias o bajas cause **ingreso en el hospital por otra causa** no es preciso su ingreso en un habitáculo específico pero habrán de observarse algunas medidas de radioprotección:

- Procurar su ingreso siempre en la misma planta para facilitar la adecuada instrucción del personal.
- Efectuar el ingreso en la habitación con menos adyacentes, dejándola durante los primeros día de uso individual.
- Avisar a los servicios de Medicina Nuclear y Protección Radiológica para que efectúen las mediciones y ajusten las medidas de protección (señalización, régimen de visitas, colocación de mamparas, rotación de personal, etc.).
- Instruir al paciente en las medidas ya descritas: favorecer la eliminación del radiofármaco, evitar contaminación por excretas, uso de material desechable etc.
- Limitar las visitas, prohibiéndolas a mujeres embarazadas y niños e indicar al paciente que no salga de la habitación.

CUIDADOS DE ENFERMERÍA

Valoración:

Dadas las características del servicio y de los pacientes, no todos ellos son objeto de la misma valoración, insistiéndose en cada caso en las necesidades alteradas bien por la situación del paciente, bien por las características de la exploración.

Criterios de focalización: La necesidad de *respirar* adquiere mayor relevancia en pacientes sometidos a estudios de perfusión pulmonar o con patología respiratoria. La valoración de la necesidad de *nutrición e hidratación*, en pacientes sometidos a estudios renales u óseos, así como en pacientes diabéticos cuando la preparación previa requiera períodos de ayunas que aconsejen modificar las pautas de fármacos antidiabéticos. La valoración de la *necesidad de eliminación* ha de centrarse en aquella vía de eliminación del radiofármaco utilizado (fecal para el galio, renal para el tecnecio y el yodo etc.), igualmente resulta de interés determinar el volumen vesical máximo en niños sometidos a cistogammagrafía. Valoraremos la *movilidad* en todos los estudios, y especialmente en pacientes agitados o niños pequeños, La *necesidad de descanso/sueño* tiene más sentido en estudios de perfusión cerebral. La necesidad de *seguridad* pueden ser obviadas cuando no se requieren medidas de protección especiales con posterioridad a la exploración, pero adquieren relevancia cuando utilizamos dosis terapéuticas o en pacientes agitados, alérgicos, epilépticos, etc. En la valoración de la necesidad de *comunicarse* es primordial descartar el embarazo en mujeres en edad de procrear y determinar la lactancia. Las *necesidades de creencias/valores y aprendizaje* serán valoradas en todos los pacientes, la primera incluye las manifestaciones físicas y psíquicas que le produce la experiencia (como temor...), la segunda, el nivel de conocimientos acerca del procedimiento.

Juicio Clínico:

A la luz de los datos de la valoración, señalaremos los diagnósticos que procedan

ateniéndonos a su definición y a sus factores de relación o de riesgo; los diagnósticos enfermeros descritos con mayor frecuencia en la bibliografía son *Temor, riesgo de lesión, interrupción de la lactancia materna y conocimientos deficientes*.

Deben añadirse las complicaciones potenciales, que puedan presentarse o se presenten en un procedimiento concreto.

Planificación/ejecución:

Han de planificarse en cada procedimiento las intervenciones que tengan que ser ejecutadas para su desarrollo (por ej. *irrigación vesical* para una cistogramagrafía, *hidratación* en la preparación del paciente en estudios renales, etc.); y las que respondan a un diagnóstico enfermero abierto a ese paciente (por ejemplo *Enseñanza. Procedimiento*).

Los *cuidados al ingreso* consisten aquí en la acogida del paciente en la unidad, presentación de los profesionales, familiarización del mismo con las estancias y equipos de la unidad, etc. La *documentación* consistirá en abrir la historia de enfermería o demandarla si ya existiera en hospitalización, para incorporar a ella nuestras intervenciones. Especial relevancia adquiere la *protección de los derechos del paciente*, debiéndose asegurar su intimidad, obtener su consentimiento informado, etc. La *planificación al alta* incluye el informe de continuidad de cuidados en domicilio cuando éstos sean precisos (medidas especiales de radioprotección, etc.); si el informe se dirige a Atención Primaria, se indicarán los diagnósticos que permanecen abiertos (p. ej. riesgo de lesión). Las *guías del sistema sanitario* proporcionan información al paciente sobre los niveles de asistencia donde debe acudir ante dudas o complicaciones, incluyendo la forma de contactar con el servicio de medicina nuclear.

Enseñanza/Procedimiento, ha de incluir información sobre el procedimiento, su duración, importancia de mantener la

posición, sesiones, condiciones en que ha de acudir a las siguientes sesiones, etc.

Los cuidados e intervenciones asociadas a los problemas de colaboración incluyen los asociados a la situación clínica del paciente, y a complicaciones como *cuidados cardiacos agudos, cuidados del embolismo pulmonar, vigilancia, mantenimiento de dispositivos de acceso venoso*, etc.; y a aquellos asociados al procedimiento, como *colaboración con el médico, irrigación vesical, administración de fármacos* por distintas vías, *flebotomía, muestra de sangre venosa*, etc. En el registro de algunas de estas intervenciones se debe especificar el nombre del fármaco administrado, dosis, lugar de la flebotomía, pauta de hidratación recomendada, tipo de dieta prescrita, concentración y flujo de oxígeno en oxigenoterapia, etc.

Seguimiento/Evaluación:

El seguimiento y evaluación tiene lugar en el servicio de medicina nuclear mientras el paciente permanezca allí. En pacientes ingresados en habitaciones de tratamiento u hospitalización, el seguimiento y evaluación se realiza en el lugar de hospitalización; y en pacientes ambulatorios, puede ser útil la consulta telefónica para proporcionar apoyo, información y enseñanzas, para obtener datos objetivos sobre la evolución y para la evaluación de las intervenciones planificadas en la consecución de los objetivos terapéuticos y de cuidados.

Para el registro de las intervenciones, incidencias, etc., se utiliza la historia enfermera del paciente hospitalizado, abriendo los diagnósticos pertinentes, planificando las intervenciones y registrando el seguimiento del paciente. Si el paciente carece de historia, se abrirá en medicina nuclear.

En los casos en que el seguimiento del paciente se realice en otro nivel asistencial, se debe remitir un informe de continuidad de cuidados en el que figuren aquellos diagnósticos enfermeros y problemas de colaboración que permanezcan abiertos y demás información relevante para el correcto seguimiento del paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Benedit Gómez A. Manual de exploraciones en Medicina Nuclear para enfermería. Córdoba: Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Universitario Reina Sofía; 2003.
2. Candell J, Castell J, Aguade S. Miocardio en riesgo y miocardio viable. Diagnóstico mediante SPET. Barcelona: Doyma, 1998.
3. Carrio I, Estorch M, Berná L. Estudios isotópicos en medicina. Barcelona: Springer-Verlag, 1992.
4. Díaz Meyer R, Darriba Rodríguez P. Medicina nuclear y enfermería. Rev ROL Enferm. 1998; XXI (235): 33-36.
5. Díaz R, Darriba P, Montero I, López-Menchero G, de Deus T. Medicina nuclear: una unidad desconocida. Enferm Radiol 2003; XV (59): 21-26.
6. Granero J, Fernández C, Jiménez FR, Moreno JM, Muñoz FJ, Heredia M. Atención a las necesidades de comunicación en el marco de los procedimientos enfermeros. Enferm Científ. 2004; (262-263): 53-61.
7. Guerrero M, Manrique A, Díaz Izquierdo L. Estudios isotópicos en el aparato Digestivo. Ed: Sopena R, Cano C, Caballero E. Manual Medicnuc de Medicina Nuclear. Madrid: 2002.
8. Guerrero M, Manrique A, Díaz Izquierdo L. Pancarditis por salmonella entérica. Diagnóstico de localización mediante exploración con ⁶⁷-Galio. Rev. Esp. Med. Nuc. 2003; 2(22):106.
9. Guerrero M, Rey P, Gutierrez ME. Estudios isotópicos en patología funcional gastroesofágica. En Evaluación preoperatoria de la función esofágica. Ed: Hernández D, Moreno González E. Jarpyo Editores. Madrid: 2002.
10. Henderson V. Principios básicos de los cuidados de enfermería. CIE. Ginebra. 1971.
11. Johnson M, Maas M, y Moorhead S. Clasificación de resultados de enfermería (CRE). Madrid: Harcourt-Mosby; 2003.
12. López S, Pérez G, Simó García JR, Setoain X, Pons C et al. Tomografía por emisión de positrones (PET) en la cardiopatía isquémica. Estudio de la viabilidad miocárdica. Rev Enferm Cardiol 2003; (28): 29-34.
13. McCloskey JC y Bulechec GM. Clasificación de intervenciones de enfermería (CIE). Madrid: Harcourt-Mosby; 2003.
14. McDonagh A. Cómo preparar al paciente para una prueba diagnóstica de medicina nuclear. Nursing 1992. 10 (1): 23-27.
15. NANDA. Diagnósticos enfermeros: Definiciones y Clasificación 2003 – 2004. Elsevier. Madrid. 2004.
16. Pérez Moure G, López Gandul S. Atención de enfermería a los pacientes epilépticos durante la realización de una tomografía por emisión de positrones (PET) con fluordesoxiglucosa (FDG). RSEER 2004; 1 (2): 27-32.
17. Sanchos A. detección isotópica del ganglio centinela en el carcinoma infiltrante de mama. RSEER 2004; 1 (3): 4-9.
18. Sanz P, Ortega M, Artea E. Papel de enfermería en el protocolo del tratamiento de hepatocarcinoma con LIPODIOL ¹³¹I. RSEER, 2004; 1 (2): 12-16.
19. Serena Puig A, Campos Villarino LM. Procedimientos en medicina nuclear. Vigo: Servicio de Medicina Nuclear. Hospital do Meixoeiro; 2000.
20. Soto M, Tantull M. Renograma con captopril. Enferm Clínica 1997; 7 (6): 283-286.

CASO PRÁCTICO.

La Sra. P llega al servicio de Medicina Nuclear para valorar tratamiento con radioyodo de hipertiroidismo. Tras ser valorado por el médico nuclear decide administrar 10 mCi en régimen ambulatorio. Al comunicarle la cita, la enfermera realiza una valoración inicial focalizada, resultando que la señora amamanta a una hija de 6 meses, no tiene alergias conocidas y está en tratamiento con ATS, al que no responde adecuadamente. Vive con su pareja y otro hijo de 6 años, en una casa de tres dormitorios y 2 aseos. Ella es monitora de transporte escolar y su marido trabaja fuera todo el día. Conoce el proceso de su enfermedad, las alternativas terapéuticas, prefiriendo irradiarse a operarse; no sabe qué es la radiactividad y está un poco asustada, expresando temor a perjudicar a sus hijos.

- Diagnósticos, Objetivos, Intervenciones
- Complicaciones potenciales
- Intervenciones antes, durante y después de la intervención.
- Recomendaciones escritas.

