

Quemaduras radioinducidas

Radioinduced burns



Alcocer P.

Priscilla ALCOCER* , Carlos MÁRQUEZ** , Fernando QUINTANA***
Sandra CHALÉN****, Elizabeth GAMARRA*****

Resumen

El presente artículo comprende una amplia y descriptiva revisión de la radiación desde su concepción básica, características, clasificación, fuentes, equipos, elementos radioactivos y los efectos biológicos en el ser humano.

La diferencia entre radiación ionizante y no ionizante radica en la cantidad de energía del fotón individual y no en la cantidad de energía total. La radiación no ionizante se caracteriza por no contar con energía suficiente para convertir átomos o moléculas a iones, sin embargo es capaz de producir calor, útil en tratamientos fisiátricos y estéticos, pero con la posibilidad de producir quemaduras y otras lesiones que aún siguen en estudio. Entre las fuentes de radiación no ionizante tenemos la luz visible, el laser, la luz infrarroja, el microondas, y el teléfono móvil.

Los diversos equipos de diagnóstico y tratamiento empleados en Medicina como rayos X, radioterapia, medicina nuclear, o en el caso de accidentes nucleares y guerras radiactivas, pueden generar radiaciones del tipo ionizante que rompen enlaces químicos, con el consecuente desarrollo de lesiones biológicas, en ocasiones graves.

Abstract

This article includes a broad and descriptive review of radiation from its basic conception, characteristics, classification, sources, equipment, radioactive elements and the biological effects on humans.

The difference between ionizing and non-ionizing radiation lies in the amount of energy of the individual photon and not in the amount of total energy.

Non-ionizing radiation is characterized by not having enough energy to convert atoms or molecules to ions; however they are capable of producing heat, useful in physiological and aesthetic treatments, with the possibility of producing burns and other injuries that are still under study. Among the non-ionizing radiation sources, we have visible light, laser, infrared light, microwave and mobile phone.

The various diagnostic and treatment equipment used in Medicine such as X-rays, radiotherapy, nuclear medicine, or in the case of nuclear accidents and radioactive wars, can generate ionizing type radiation that breaks chemical bonds, with the consequent development of biological lesions that may be severe.

Palabras clave Quemaduras, Radiación, Radiación ionizante, Radiación no ionizante.

Nivel de evidencia científica 5b Opinión de experto
Recibido (esta versión) 25 septiembre/2019
Aceptado 10 enero/2020

Key words Burns, Radiation, Ionizing radiation, Non ionizing radiation

Level of evidence 5b Expert opinion
Received (this version) 25 September/2019
Accepted 10 January/2020

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún interés financiero relacionado con el contenido de este artículo.
Financiación: No hubo fuentes externas de financiación para este trabajo.

* Cirujano Plástico, Directora Técnica de la Fundación Ecuatoriana de Quemaduras y Clínica de Heridas (ECUAQUEM), Guayaquil, Ecuador.

** Cirujano Plástico, Presidente de la Fundación Ecuatoriana de Quemaduras y Clínica de Heridas (ECUAQUEM), Guayaquil, Ecuador.

*** Cirujano Plástico, Jefe de la Unidad de Quemados del Hospital Luis Vernaza, Guayaquil, Ecuador

**** Cirujano Plástico, Servicio de Cirugía de Mama del Hospital de Solca, Guayaquil, Ecuador.

***** Jefe del Servicio de Radioterapia, Hospital de Solca, Guayaquil, Ecuador.

LA RADIACIÓN Y SUS TIPOS

La radiación consiste en la transferencia de energía de una fuente al entorno sin la presencia necesaria de un medio.⁽¹⁻⁴⁾ La interacción de la radiación con la materia produce algunos efectos biológicos y no biológicos como lesiones, eritemas y quemaduras. Estos efectos están basados en la energía de la partícula u onda, el tipo de partícula (ionizante o no ionizante) y el material o medio en el cual impacta la radiación.⁽⁵⁾

Las radiaciones electromagnéticas son ondas que transportan energía sin la necesidad de un material o medio, con la misma velocidad de la luz en el vacío.^(1,3) Su unidad de la frecuencia es el Hertzio (Hz), la longitud de onda se mide en m, cm, μm , nm, etc, y la unidad de la energía es el Julio (J).

El espectro electromagnético es el grupo de todas las frecuencias de la radiación electromagnética.⁽³⁾ Las frecuencias que están entre 100 kHz y 300 MHz se denominan radiofrecuencias no ionizantes.

Los tipos de radiaciones⁽³⁾ son:

1. Radiación ionizante. Partículas con masa y radiación electromagnética.

Partículas con masa: Alfa, beta, neutrones, protones, núcleos pesados, etc.

Rayos X y gamma de alta energía, ultravioleta de alta energía.

2. Radiación no ionizante. Luz visible, infrarroja, ultravioleta, radiofrecuencia, microondas, teléfono móvil

Por debajo de los 100 kHz se ubican las ondas electromagnéticas que corresponde a campos eléctricos y magnéticos, líneas de alta tensión, etc. Los microondas están en el rango de 300 MHz a 300 GHz aproximadamente y corresponden al tipo de radiación no ionizante; por encima de la frecuencia de microondas está la región infrarroja (no ionizante); superior a esta está la luz visible (no ionizante). La luz ultravioleta genera radiación ionizante, al igual que el espectro de los rayos X y rayos gamma, que son ionizantes.^(3,5,6)

La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU) establece definiciones de cantidades y unidades de radiación y radiactividad. Por su lado, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) dispuso normas para la definición y uso de las diversas cantidades y unidades empleadas en seguridad radiológica como por ejemplo: dosis absorbida, actividad, dosis efectiva, dosis equivalente, transferencia lineal de energía, factor de ponderación radiológica o factor de ponderación tisular.⁽²⁾

Radiación ionizante

Las primeras quemaduras reportadas por radiaciones ionizantes fueron debidas a la manipulación de equipos

de radiología y aparecieron años después de su descubrimiento en 1895 por Roentgen. También a principios de ese siglo se diagnosticaron muchos pacientes con cáncer de piel y leucemia.

Los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki,⁽⁷⁾ en agosto de 1945, dejaron dramáticas consecuencias en la historia de la humanidad. Muchas de las muertes que se produjeron fueron debidas a explosiones y quemaduras y en los siguientes 30 años aproximadamente, se reportaron numerosos casos de pacientes con distintos tipos de cáncer, malformaciones congénitas y alteraciones genéticas.

Después de las pruebas de armas nucleares en el desierto de Nevada (EE.UU.) durante la década de 1950, los niños del suroeste de los estados americanos de Utah y Nevada que estuvieron expuestos a la lluvia radioactiva mostraron un incremento notable en la frecuencia de aparición de cáncer de tiroides.⁽²⁾

Entre 1945 y 1987 se han producido en el mundo 285 accidentes en reactores nucleares de distintos países, con 1350 afectados y 33 muertos. Muchos más accidentes han ocurrido en instalaciones de fuentes para radioterapia y similares.⁽⁸⁾ Tras los accidentes sufridos en plantas nucleares como el del reactor nuclear en Three Mile Island (Harrisburg, Pensilvania, EE.UU.) en 1979 y el de Chernóbil (Ucrania, en aquella época Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas) en abril de 1986, se ha obtenido importante información sobre los efectos biológicos producidos por la radiación.⁽⁷⁾ En el accidente de Chernóbil aparecieron enfermedades radiológicas y quemaduras en más de 200 personas. Los efectos a largo plazo no son predecibles, pero las estimaciones suponen que pueden producirse alrededor de 30.000 muertes adicionales por cáncer durante los siguientes 70 años después de un accidente de esta envergadura.⁽³⁾ Lamentablemente los niños que vivían en Ucrania y en la región cercana de Bielorrusia, contaminados por los radionúclidos liberados en el accidente de Chernóbil, han mostrado hasta ahora un claro incremento de la incidencia de cáncer de tiroides y leucemia.⁽²⁾

La radiación ionizante se origina por partículas y ondas electromagnéticas de rayos X y gamma (fotones).^(2,4,5) La absorción de energía de la radiación en los materiales biológicos produce excitación o ionización. El desprendimiento de un electrón en un átomo o molécula a un nivel de energía más alto, sin la expulsión del electrón del átomo, se denomina excitación. Si la radiación tiene suficiente energía para expulsar uno o más electrones orbitales del átomo o molécula, el proceso se denomina ionización y la radiación será radiación ionizante. Esto puede cambiar las condiciones químicas y biológicas y producir daños en la molécula. Las ondas electromag-

néticas de baja energía, como la luz ultravioleta, dan así lugar a ionización en ciertas circunstancias.⁽³⁾

Los seres humanos estamos expuestos a radiación ionizante de forma natural en un 82%, a radón en un 55%, a radiación cósmica en un 8%, terrestre en un 8%, o a radiación interna en un 11%.⁽⁸⁾ Por otro lado, la exposición de forma artificial es menor al 18%, y puede ser en forma de rayos X en un 11%, de medicina nuclear en un 4 %, de productos de consumo en un 3%), etc.⁽⁸⁾ La radiación cósmica llega desde el espacio por medio de los rayos cósmicos hasta nuestro planeta,⁽²⁾ y también está en forma de emisiones del elemento radón en el aire.⁽²⁾ Los isótopos radioactivos originados de forma natural ingresan en todos los seres vivos. Pero si estas dosis de radiación se administran en grandes cantidades pueden causar severos trastornos orgánicos.⁽²⁾

La radiación indirectamente ionizante está representada por la radiación gamma o rayos X y los rayos de neutrones.⁽³⁾ Estas no son partículas cargadas, pero tienen la capacidad de expulsar electrones del medio causando ionización. Es decir, este tipo de radiación no produce cambios químicos y biológicos *per se*, pero cuando es absorbida por el material por el cual pasan, ceden su energía para producir partículas cargadas con alta velocidad, los denominados electrones rápidos, que actúan como radiación ionizante directa y pueden ionizar otros átomos del material absorbente, rompiendo enlaces químicos e iniciando el cambio de eventos que da lugar a la producción de daños biológicos.⁽¹⁾

La piel es la primera barrera que el organismo pone frente a las radiaciones, aunque también se pueden dar casos de inhalación o ingestión de sustancias radiactivas.⁽⁹⁾ Las células de la capa basal de la piel son las más radiosensibles y son alcanzadas por radiaciones muy poco energéticas, incluso del rango de la radiación ultravioleta. Por esto, las lesiones cutáneas son las más frecuentes de todas las reacciones histopatológicas radioinducidas. Las células maduras que no están en el proceso de división son radiorresistentes, pero son radiosensibles las células que se dividen dentro de un tejido.

El eritema se produce debido a la vasodilatación de los capilares de la dermis y se puede provocar con una dosis única de 3 a 10 Gy. Puede aparecer entre el primer y el segundo día de la irradiación y por lo general suele curar. Si este eritema es grande se produce hiperpigmentación, debido principalmente a un incremento de la síntesis de melanina⁽⁹⁾ y su grado varía de una región a otra en el mismo individuo y de una personas a otra. Las lesiones moderadas pueden curar con o sin escasas secuelas. La reepitelización tiene lugar después de las 6-8 semanas, dejando una piel delgada que luego adquiere una apariencia normal a los 2-3 meses. Si la dosis supera los 10 Gy, se

producirá un eritema con descamación, lo que se conoce como radiodermatitis seca, producida por el aumento de división de las células muertas. Con dosis superiores se destruye una gran cantidad de células basales y las células de los estratos más superficiales se descaman y caen, con lo que la dermis queda expuesta, fenómeno que conocemos como radiodermatitis húmeda.⁽⁸⁾ Si la dosis es superior a los 25 Gy se puede producir una radionecrosis aguda, con grandes lesiones vasculares y del tejido conectivo que evolucionan como una úlcera durante varios meses.⁽⁹⁾

Los folículos pilosos, como órganos de crecimiento, son radiosensibles, mientras que las glándulas sudoríparas y sebáceas son relativamente radiorresistentes. Las dosis moderadas de radiación producen en ellos cambios poco importantes que se expresan como sequedad de la piel. Pero dosis elevadas producen atrofia y destrucción completa de las glándulas.

Todos los efectos descritos son los efectos precoces de las radiaciones ionizantes sobre la piel. Los efectos tardíos incluyen la aparición de piel atrófica, despigmentada, con ulceraciones y fibrosis profunda, y la epidermis queda seca. Esto se debe a la disminución de la actividad secretora de las glándulas sebáceas y sudoríparas, mientras que la hiperplasia subendotelial en los vasos sanguíneos da lugar a la presencia de telangiectasias.⁽⁹⁾ La piel atrófica muestra una epidermis adelgazada, escamosa, muy sensible a lesiones por traumatismos mínimos, que pueden dar lugar a necrosis. Con múltiples exposiciones repetidas durante mucho tiempo a dosis bajas de radiación puede aparecer radiodermatitis crónica, en la que la piel puede llegar a ser hipertrófica o atrófica. La piel hipertrófica se presenta con hiperqueratosis, es más quebradiza y frágil que la normal, con pliegues exagerados y depilación total o parcial. La radiodermatitis crónica está relacionada con la incidencia de cáncer cutáneo, principalmente de epiteloma espinocelular.⁽⁹⁾ A veces, se produce ulceración de la piel que es muy difícil de curar debido a la pobre vascularización y a la existencia de un tejido conectivo dañado (Fig. 1 y 2).

Radiación no ionizante

En el rango de energía del espectro electromagnético tenemos la radiación no ionizante con frecuencias de 0-300 GHz: campos eléctricos, magnéticos, radiofrecuencia, microonda, infrarrojo, luz visible, ultravioletas de baja energía y teléfonos móviles.⁽³⁾ La radiación no ionizante no tiene suficiente energía para convertir átomos o moléculas a iones, pero ellos pueden producir calor, aparentemente reversible, a las moléculas. El calentamiento de las moléculas se debe a la vibración, movimiento y rotación de las mismas. Este calentamiento se usa para tratamientos en Kinesiología y Estética, no sin la posibilidad de producir quemaduras y otras lesiones



Figura 1. Mujer de 68 años de edad con cáncer de mama a la que se le practicó cuadrantectomía con incisión radiada periareolar inferior y radioterapia adyuvante a dosis superior a 12 Gy. En los días posteriores observamos quemadura radioinducida (radiación ionizante) de segundo grado con presencia de eritema circundante y lesión vesicular que requirió desbridamiento y curas tópicas. Cicatrización definitiva en 20 días.



Figura 2. Mujer de 59 años de edad con sarcoma de partes blandas en región dorsal izquierda tratado con radioterapia a dosis de 10 Gy a fin de disminuir la carga tumoral con vistas a una posterior resección quirúrgica ante la evidencia de invasión de la pared costal. Sufre como consecuencia quemadura radioinducida (radiación ionizante, manifestada en principio por epitelitis exudativa franca y posterior desecamiento e infección que requirió desbridamiento y cobertura con injerto libre de piel hendida (ILPH).

que aún siguen en estudio. Entre las fuentes de radiación no ionizante tenemos:

- **Fuentes de campos eléctricos y magnéticos.** Las personas están expuestas en el hogar, en el trabajo, las escuelas, medios de transporte, a través de radiadores, afeitadoras, secadores de pelo, aparatos electrodomésticos, corrientes parásitas debido a desequilibrios en la conexión a tierra de los edificios, etc.⁽¹⁰⁾ Los campos electromagnéticos pueden desencadenar leucemia, reacciones neurológicas, bradicardia, cefalea, mareos, alteraciones de la memoria, depresión, etc.⁽⁸⁾ La corriente eléctrica, especialmente la corriente continua debido al efecto de electrólisis, puede causar quemaduras profundas. Además, el equipo de corriente galvánica usado para iontoforesis puede desencadenar quemaduras químicas por la interacción del hidróxido de sodio bajo el cátodo. Hemos de tener en cuenta que un hospital cuenta con muchos equipos y dispositivos que transportan corriente y que necesitan las medidas de seguridad apropiadas para evitar lesiones y quemaduras.

- **Fuentes de radiofrecuencia y microondas.** A este grupo corresponden las cocinas de inducción, los procesos de soldadura, los sistemas de radio/TV, telefonía móvil y resonancia magnética.⁽¹⁰⁾ Están en investigación los efectos biológicos por el calentamiento en profundidad producido por los campos de radiofrecuencia o microondas.⁽⁸⁾

En las guerras mundiales, se diagnosticaron efectos biológicos producidos en los operadores de los radares militares tales como: cefalea, dolor ocular, irritación, inestabilidad emocional, cansancio y capacidad intelectual deteriorada. Además, cuando los soviéticos sometieron al personal de la embajada estadounidense a interceptar sus comunicaciones, se descubrió que la mayoría de las personas asignadas a esta embajada presentaban cáncer de distinta localización y evolución.

No existe aún evidencia de que los aparatos de radiofrecuencia habitualmente usados en Medicina Estética y Cosmetología puedan causar lesiones cutáneas de relevancia.

La radiación emitida por microondas aún se considera inocua, siempre y cuando no se exagere en su uso.

La radiación debida al teléfono móvil es más peligrosa con aquellos equipos que tienen un SAR (del inglés *Specific Absorption Rate* o Tasa de Absorción Específica: medida de la potencia máxima con que un campo electromagnético de radiofrecuencia es absorbido por el tejido vivo) alto (superior a 2 W/kg) o aquellos que funcionan con una frecuencia desproporcionadamente alta (superior a 2500 MHz)⁽²⁾. Hemos de señalar que el límite público para la emisión de radiación está entre 450 MHz a 2500 MHz, que es una energía por unidad de masa que no excede de 2 W/kg (SAR) y a una distancia de 2 cm del teléfono celular. Casi todos los teléfonos móviles están por debajo de estos límites (800 - 2200 MHz y 0.3 - 1.5 W/kg). La penetración de las ondas celulares de 900 MHz es de aproximadamente 3 cm dentro del cerebro. Se requiere una energía de 4 W/kg o un aumento de temperatura de 1 °C para causar daño biológico. Sin embargo, el uso de un teléfono móvil en la proximidad de una línea de alto voltaje puede inducir, bajo ciertas condiciones de humedad ambiental, un arco eléctrico capaz de provocar una quemadura grave.⁽³⁾ Un arco eléctrico es un tipo de descarga eléctrica continua que genera calor ligero e intenso. La radiación emitida por el teléfono móvil aumenta la posibilidad de generar un arco eléctrico, en vista de que la radiación electromagnética aumenta la intensidad del campo eléctrico necesaria para producirlo. Por lo tanto, una persona en un balcón cercano a una línea de alto voltaje y con un teléfono celular puede sufrir las consecuencias de un

arco eléctrico y quemaduras letales, que en la literatura médica ya están reportadas (Fig. 3).

-Fuentes de radiación infrarroja. Pertenecen a este grupo la luz solar, las lámparas de filamento de tungsteno, las de filamento de tungsteno halogenado, los diodos fotoemisores (diodo de gas), las lámparas de arco de xenón, el hierro en fusión, las baterías de lámparas de infrarrojos o las lámparas de infrarrojo de los hospitales.⁽¹⁰⁾

La radiación infrarroja tiene efectos térmicos debido al calentamiento de la piel y por tanto, la capacidad de generar quemaduras de moderada y gran profundidad.⁽⁸⁾ Otras manifestaciones clínicas pueden ser: afectación de la retina y producción de opacidades del cristalino por calentamiento del iris, daño temporal de la córnea, del humor acuoso, dolor y quemaduras corneales.

-Fuentes de luz visible. La luz visible está presente en la luz solar, en los equipos de soldadura y en algunos aparatos y dispositivos de laser, IPL, etc. Este tipo de radiación tiene efectos fotoquímicos y térmicos. El láser actúa a longitudes de ondas discretas, aunque el láser de argón o el IPL emiten líneas diferentes, en el espectro de la luz ultravioleta.⁽¹⁰⁾

La exposición a estas fuentes sin la debida y correcta protección frente al equipo, puede producir daños severos en la retina, la córnea y el cristalino, como sucede por ejemplo con los láseres clase 2 y 3.⁽¹⁰⁾ Algunos láseres de clase 4, como el láser quirúrgico y los de procesamiento de materiales que se usan para soldadura, pueden ser un riesgo para la piel y producir heridas o quemaduras profundas. Para una utilización segura se recomienda confinar la energía radiante del equipo mediante la apli-



Figura 3. Paciente de 17 años de edad con quemadura radioinducida no ionizante que afecta a un 30% de superficie corporal total (SCQT) de 2° y 3° grado profundo, producida tras explosión generada por manipulación de teléfono móvil en la proximidad de un cable de alta tensión. Requirió escarectomías tangenciales hasta plano de fascia y cobertura con injertos de piel. El familiar acompañante falleció en el accidente.

cación de medidas de control e instrucciones al personal en cuanto al uso de gafas de protección tanto para el paciente como para el operador. Existen casos en la literatura de pacientes que han presentado por este motivo quemaduras de variada profundidad, así como hiper e hipopigmentación permanentes.

-Fuentes de radiación ultravioleta. Están en este grupo la luz solar (290-295 nm), la soldadura al arco industrial (lesiones cutáneas y oculares), las lámparas industriales de radiación ultravioleta, las lámparas de luz negra, las de ultravioleta para tratamiento médico ya sea con fines diagnósticos o terapéuticos sobre todo en Dermatología, las lámparas de germicidas (250-265 nm), las de bronceado cosmético (UVA), de alumbrado general (lámparas fluorescentes, lámparas halógenas de tungsteno).⁽¹⁰⁾ Este tipo de radiación puede provocar efectos fotoquímicos manifestados por cataratas y fotoconjuntivitis.⁽⁸⁾ Los efectos en la piel pueden ser eritema, quemadura solar, fotosensibilización y efectos retardados como envejecimiento cutáneo y carcinogénesis.

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN

En general los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes varían de acuerdo a la relación dosis-respuesta, manifestaciones clínicas, cronología y pronóstico. A su vez, estos efectos de la radiación pueden ser heredables o somáticos, siendo los somáticos agudos o tardíos. Los efectos agudos se deben a la disminución de células progenitoras en los tejidos afectados y se pueden inducir por dosis lo suficientemente grandes como para desencadenar apoptosis.

- 1.- Dosis entre 1 y 1.5 Gy pueden provocar: anorexia, náuseas, vómitos, diarrea, apatía, fiebre, sialorrea, dolor abdominal e hiperexcitabilidad. Pueden aparecer en minutos u horas después de haber sido irradiado.
- 2.- Dosis entre 1.5 y 2 Gy pueden ser mortales.
- 3.- Dosis entre 2 y 10 Gy. En este caso la afectación se produce en órganos hematopoyéticos (pancitopenia), úlceras bucales y faríngeas, alopecia, petequias, hemorragias, infecciones. Entre 5 y 6 Gy puede aparecer aplasia medular irreversible y por encima de 4 Gy esterilidad permanente.
- 4.- Dosis superiores a 10 Gy provocan cuadros gastrointestinales con enteritis grave, hemorragias, pérdida masiva de electrolitos y proteínas, así como trombocitopenia y radioepidermitis aguda. También infecciones por depresión medular con resultado de muerte en 1-2 semanas.
- 5.- Dosis entre 20 y 30 Gy producen cuadro neurovascular con apatía, letargia, obnubilación, astenia intensa, convulsiones, ataxia cerebelosa y coma. También arritmias y shock cardiogénico, con resultado de muerte en 1-2 días.^(11,12)

La radiodermatitis crónica se produce con una dosis acumulada de 10 Gy en 6 meses de exposición. El plazo de aparición es de 5 años.⁽⁸⁾

Cabe reiterar que la radiación no ionizante no tiene energía suficiente para ionizar la materia, sin embargo este tipo de radiación puede desencadenar trastornos biológicos, entre ellos quemaduras y otras lesiones, debido al calentamiento e inducción de corrientes en el organismo.⁽⁶⁾ La producción de mutaciones y carcinogénesis aún se encuentra en proceso de investigación.

PROTECCIÓN FRENTE A LA RADIACIÓN

Debido tanto al uso más frecuente y beneficioso de la radiación ionizante en medicina, industria y ciencia (centrales nucleares, medicina nuclear, radiofármacos, radioterapia, etc.), como para aplicaciones militares y pacíficas, los efectos de la radiación ionizante se han investigado y discutido exhaustivamente. Esto ha permitido el desarrollo de medidas de protección de la salud humana. Sin embargo, los estudios de los efectos biológicos de la radiación ionizante continúan a medida que se desarrollan nuevos aparatos y tecnologías que cuentan con su uso. Estas normas de protección para los trabajadores expuestos deben basarse en el riesgo, independientemente del nivel de exposición al que estén sometidos. Afortunadamente gracias a ellas, el número de lesiones agudas sufridas por los trabajadores expuestos y por los pacientes tratados con radioterapia, han disminuido. En el uso de la radioterapia con fines médicos, la dosis terapéutica debe ser la precisa para tratar sin producir quemaduras^(13,14) y otras lesiones de mayor gravedad.

Con respecto a las radiaciones no ionizantes se realizan investigaciones sobre los efectos que tienen los campos magnéticos y eléctricos de baja intensidad y su relación con el cáncer, la reproducción, las reacciones neurológicas y de comportamiento.⁽¹¹⁾ Las quemaduras debido al uso de teléfonos móviles pueden ocurrir con aquellos que portan batería defectuosa o de mala calidad. Las precauciones que deben tomarse para evitar este tipo de accidentes son: apagar el equipo en la proximidad de una estación de servicio o línea de alto voltaje a fin de que no se produzca un arco eléctrico, no colocar el teléfono móvil cerca de otros aparatos eléctricos y mantenerlo alejado de las zonas orgánicas sensibles.

Conclusiones

El conocimiento en cuanto a la clínica del paciente sometido a radiación o radioinducido es extremadamente complejo para quienes tratamos pacientes que sufren quemaduras y otras lesiones de mayor o menor complejidad por esta etiología, y debe ir de la mano de la

comprensión de los tipos y mecanismos de acción de las fuentes que emiten dichas radiaciones.

Tras una exhaustiva revisión, consideramos que tanto la radiación ionizante como la no ionizante pueden desencadenar trastornos biológicos diversos que debemos tener en cuenta a la hora del diagnóstico, del tratamiento y de sentar el pronóstico del paciente afectado. Es también fundamental la elaboración de guías terapéuticas sustentables y la implementación de medidas rigurosas de prevención universales en caso de catástrofes y desastres.

Recomendamos que en la futura literatura médica se incorporen las quemaduras producidas por radiaciones ionizantes y no ionizantes como injurias específicas en vista de su etiología, mecanismo de producción, efectos biológicos, características, evolución y pronóstico.

Dirección del autor

Dra. Priscilla Alcocer
Hospital Kennedy Alborada
Torre Norte, 5° piso
Guayaquil, Ecuador
Correo electrónico: ecuaquem@yahoo.es

Bibliografía

1. **Hall E.J.** Radiobiology for the radiologist, Fourth Ed., Lippincott Company, Philadelphia (USA), 1994, Pp. 1-15.
2. **Cherry R.N.Jr.** Radiaciones Ionizantes, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales, España, 2001, Capítulo 48.2, Pp. 1-46.
3. **Alcocer G., Alcocer P., Márquez C.** Ionizing and non-ionizing radiation, operation and burn due cellphones, Lambert Academic Publishing, Alemania, 2016, Pp. 1-38.
4. **Ministerio de Salud, Gobierno de El Salvador,** Unámonos para crecer ¿Qué es la radiación? ¿Cómo nos afecta la radiación? ¿De dónde procede la radiación?. https://www.salud.gob.sv/archivos/UNRA/informacion_para_publico/Que-es-Como-nos-afecta-De-donde-procede-la-radiacion.pdf (Consultado sept. 2019)
5. **Khan F.** The Physics of Radiation Therapy, Second Edition, William & Wilkins Editor, Baltimore (USA), 1994, Pp. 1-43.
6. **Alcocer G.** A Theoretical Approach for Experiments in Modern Physics, Lambert Academic Publishing, Alemania, 2015, Pp. 1-20.
7. **Perkins A.** Nuclear Medicine Science and Safety. A source of reference concerning the nature and safety of nuclear medicine procedures, intended for medical, paramedical nursing and technical staff in nuclear medicine departments, John Libbey & Company Ltd, , Nottingham (England),1995, Pp.1-17.
8. **Riesgos Físicos, Enfermedades profesionales, Universidad Complutense de Madrid, 2015.** <https://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2015-05-29-Modulo%20RIESGOS%20F%C3%8DSI-COS.pdf> (Consultado septiembre 2019)
9. **Sendra F., Martínez M.** Radiobiología General, Ediciones Harcourt, Madrid (España), 2001, Pp.16-21.
10. **Knave B.** Radiaciones no ionizantes. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales, España, 1998, Capítulo 49, Pp.1-36.
11. **Dutreix J., Desgrez A., Bok B., Chevalier C.** Física y Biofísica: Radiaciones, Primera edición, A.C. Madrid Editorial, España, 1980, Pp. 1-72.
12. **Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Álvaro J.** Lesiones por radiaciones ionizantes, En: Principios de urgencias, emergencias y cuidados críticos, Uninet Multimedia, Madrid, Capítulo 9.1 <https://www.uninet.edu/tratado/c0901i.html> (consultado septiembre 2019)
13. **Portas M.** Diagnóstico y tratamiento de las lesiones producidas por exposición a radiaciones ionizantes. Hospital de Quemados Buenos Aires (Argentina) <http://www.radioproteccionsar.org.ar/online/doc/4jprp/11%20-%20Portas%20Lesiones-2.pdf> (Consultado septiembre 2019)
14. **Henríquez Izaguirre C.** Lesiones cutáneas producidas por radiación ionizante, Biblioteca Virtual de Salud de Honduras, www.bvs.hn 1973, 41:27-36.

