REVISIÓN

REPERCUSIONES MÉDICO LEGALES DE LOS DESASTRES NUCLEARES

*Oscar Bolaños Aymerich, José Miguel Cordero Cordero, José Daniel Ducca Arauz, Sofía Navarro Calvo, Gabriela Navarro Carpio, Gloriana Navarro Umaña**

Resumen:

Se han descrito múltiples efectos nocivos de las radiaciones ionizantes en el cuerpo humano. Cuando la exposición a fuentes radioactivas se produce en el contexto de un accidente se debe en primer lugar, brindar la atención médica necesaria y posteriormente sentar las responsabilidades del caso, para lo cual el médico forense debe estar capacitado en valorar los daños producidos

Palabras clave:

Valoración médico legal, radiaciones ionizantes, efectos nocivos de la radiación

Abstract:

There is a lot of harmful effects of ionizing radiation on the human body. When exposure to radioactive sources occurs in the context of an accident must first provide the necessary medical care and then lay the responsibilities required, for which the coroner should be trained to assess damage

Key words:

Forensic evaluation, ionizing radiation harmful effects

** Estudiantes de Medicina, cuarto año, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: oayme88@hotmail.com*

Recibido para publicación: 16 de junio de 2011 Aceptado: 20 de agosto de 2011

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

Introducción

La energía nuclear es aquella en la que se usa el proceso de fisión nuclear, es decir proceso físico en el que un núcleo de un átomo radioactivo se divide en dos partes más pequeñas[1]. Para producir energía eléctrica a través de la transferencia térmica de la reacción exotérmica de fisión, hacia un receptor de energía (generalmente agua) que se convertirá en vapor que girará turbinas que a su vez harán funcionar los generadores eléctricos[2]. Actualmente en el mundo hay 433 plantas nucleares en operación, que generan 2600 millones de Kilovatios horas por año. Países como Francia, generan cerca del 50% de su energía gracias a este método, y serían necesarias 500 mil turbinas de viento de gran escala para generar la misma cantidad de energía[3].

Este tipo de energía es controversial y por siempre se ha mantenido un debate sobre su uso, organismos como la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), sostienen que es una energía sostenible que reduce las emisiones de carbono, por su parte sus detractores achacan sus peligros hacia las personas y hacia al ambiente por los desechos radioactivos que genera en su operación, y en el caso de accidentes la catástrofe que genera la liberación de éstas sustancias al ambiente[4].

Las lesiones por radiación se pueden dar básicamente por 3 razones: irradiación externa, contaminación externa con materiales radioactivo y contaminación interna por inhalación, ingestión o absorción transdérmica con incorporación de materiales radiológicos a células y tejidos. Lógicamente, la exposición puede ser por una combinación de estas 3 y el grado de la lesión puede variar de acuerdo a la localización de la víctima de acuerdo al hipocentro con la consecuente diferencia en los tipos y grados de energía al que la persona está expuesta.

El accidente nuclear es definido por la AIEA como un evento que ha tenido importantes consecuencias para las personas, el ambiente o las instalaciones: incluyen efectos letales para los individuos, grandes liberaciones radioactivas al ambiente y fusión del núcleo de un reactor.

La Escala Internacional de los Accidentes Nucleares y Radiológicos (INES por sus siglas en inglés), califica los eventos de 1-7 y usa el término accidente para describir eventos de al menos nivel 4, eventos por debajo de este nivel son considerados incidentes[5]. Es entonces importante conocer, que de una detonación nuclear se pueden desprender 3 diferentes tipos de energía: Calor, que es el responsable de aproximadamente el 35% de energía total. Esta puede causar lesiones térmicas que incluyen quemaduras y ceguera debido a la depleción temporal de fotopigmentos de los receptores en la retina. Explosión, es la responsable de aproximadamente el 50% de la energía total. Esta puede causar laceraciones, fracturas, rupturas de vísceras, hemorragia pulmonar y edema. Y finalmente la radiación es responsable de aproximadamente el 15% de la energía total y la que causa el síndrome de radiación aguda per se y otras consecuencias a largo y corto plazo que incluyen desde lesiones cutáneas y daño corioretinal por la exposición a luz infraroja hasta riesgo a largo plazo de desarrollar cáncer, infertilidad y anormalidades fetales[6].

Ahora, una catástrofe es un acontecimiento inesperado e imprevisto que perjudica a una colectividad humana que aparece sorpresiva y rápidamente. Y supera los medios de auxilio disponible[7].

Como consecuencia directa de la ignorancia que existe entre la población, la falta de información y conciencia de la cantidad de plantas nucleares existentes y las múltiples secuelas en potencia que se pueden desarrollar raíz de un accidente, es imprescindible conocer los efectos agudos y a largo plazo en la salud de las personas afectadas por este tipo de eventos.

Objetivo General

Conocer las repercusiones a nivel de la salud que un posible accidente nuclear podría tener y sus implicaciones médico legales.

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

Objetivos específicos

- Explicar las consecuencias en el ser humano ante una exposición aguda de radiación nuclear.
- Describir la normativa con respecto a la energía nuclear, y el proceder médico legal ante un desastre nuclear.

Contexto histórico-social

En la tabla 1 se resumen los accidentes nucleares más importantes (8-16).

Tabla 1. Accidentes nucleares más importantes y sus consecuencias.

Lugar	Fecha	Clasificación (INES)	Afectados	Causas
Kyshtym, Unión Soviética	29/09/1957	6	10 mil desplazados y 8015 muertos en los siguientes 32 años	Brechas en los sistemas de seguridad
Winscale, Gran Bretaña	10/10/1957	5	240 casos registrados de CA de tiroides	Fuego en el reactor.
Three Mile Island, Estados Unidos	28/03/1958	5	Autoridades reportan cero muertos y 140 mil fueron evacuadas voluntariamente	Falla en el sistema auxiliar de bombas de enfriamiento, error humano.
Chernóbil, Ucrania	26/04/1986	7	116000 personas evacuadas, 115 km^2 de Europa afectados, se calculan 985 mil muertos asociados con el accidente.	Falla en prueba de corte de suministro eléctrico, dejando sin energía el sistema de enfriamiento.
Fukushima, Japón	11/03/2011	7	2 trabajadores muertos, 170 mil evacuados.	Corte en el suministro eléctrico que dejó sin energía el sistema de enfriamiento, posterior al terremoto del mismo día

Síndrome de Radiación Agudo (SRA)

Se han realizado distintas investigaciones para valorar los niveles de radiación que puede sufrir el ser humano y los efectos que las mismas tendrían sobre el organismo. Así entonces se definió la LD 50/60, la cual es la dosis de radiación letal requerida para matar a 50% de la raza humana en un período de 60 días[17]. Esta se estableció entre 3,25 a 4 Gy en personas que tras la radiación no fueran tratados con terapia de soporte y 6 a 7 Gy cuando antibióticos y transfusiones de soporte son administrados[6].

El Síndrome de Radiación Agudo, es el conjunto de síntomas que presentan aquellas personas que son expuestas accidentalmente a altas dosis de radiación, en donde las mismas afectan de manera aguda y severa la producción de células de la sangre, la resistencia a las infecciones y las funciones intestinales y que pueden dar lugar a lesiones graves de la piel[18]. Este va a ocurrir cuando todo el cuerpo o una parte significativa del mismo ha sido expuesto a más de 1Gy de irradiación. Se ha podido estudiar además que las células con mayor capacidad de replicación son las más sensibles a los efectos agudos de la radiación, en especial células como espermatocitos, elementos linfohematopoyéticos y células de criptas intestinales[6].

El síndrome va a afectar especialmente 3 sistemas: gastrointestinal, hematopoyético y neurovascular. Los cuales van a cursar cada uno con 4 fases de afectación: pródromo, latente, daño o enfermedad manifestada y recuperación o muerte. La instauración de cada una va a depender de la dosis absorbida y van a seguir un curso clínico predecible. La fase prodrómica, ocurre generalmente entre las primeras 48 horas, pero puede desarrollarse hasta 6 días después y van a presentar síntomas de acuerdo a la intensidad de la dosis. La fase latente, es un período corto caracterizado por mejoría en los síntomas presentados y la persona parece haberse recuperado. No obstante, es un efecto transitorio que puede durar de algunos días hasta meses. Ya la enfermedad o daño

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

manifestado, puede durar semanas. Es un estado caracterizado por inmunosupresión intensa y es en consecuencia, la más difícil de tratar. Si la persona sobrevive a la misma, se espera que se recupere. Las víctimas que son expuestas a dosis supra letales de radiación, experimentan todas las fases en un período de horas, como resultado, fallecen[19]. La Tabla 2, muestra el daño en cada fase, dependiendo de la dosis de radiación.

a) En el síndrome hematopoyético las radiaciones inferiores a 1Gy son raramente significativas a nivel clínico. Lo que sucede, es que los progenitores mitóticamente activos tienen una capacidad limitada a dividirse luego de una radiación superior a esta dosis y en las semanas siguientes sobreviene una hipoplasia o aplasia de la médula espinal, resultando en una pancitopenia que va a predisponer a infecciones, hemorragias y cicatrización deficiente. Linfopenia es muy común, predecible y es la primera en presentarse. Se ha observado que en las primeras 24 horas hay una diminución del 50% y si dentro de las 48 horas siguientes presenta otra disminución igual o más severa, es característico de una exposición que fue potencialmente letal[20]. La concentración plaquetaria luego de 10 días, se mantienen en rangos entre los 50000 a los 100000mm3. La trombocitopenia se genera entre los 10-20 días subsiguientes, alcanzando un nadir entre los días 15 a 25. Este patrón inicial se puede explicar por la producción existente en alguna parte de la médula, pero que va a cesar posteriormente[21]. Los granulocitos en cambio aumentan significativamente antes de presentar una disminución en aquellos individuos con exposición menores a 5Gy, esto sin embargo se ha considerado una señal de sobrevivencia tras la exposición[20]. Obviamente, pacientes con síndrome de lesión combinada, es decir que presentan además lesiones por trauma mecánico o quemaduras (lo cual se espera en 60-70% de individuos) van a tener un peor pronóstico y disminuye significativamente la LD 50/60[6].

b) En el Síndrome Gastrointestinal, la radiación lleva a pérdida de las criptas intestinales y de la mucosa. Consecuentemente, se genera dolor abdominal, diarrea, naúsea, vómitos y predisposición a infecciones. También sufre cambios en la vascularidad, se ha demostrado que existe una marcada dilatación, acortamiento y tortuosidad de las arteriolas responsables de irrigarlos; que llevan a una dilatación de la vasculatura y trasvación capilar. Dentro de los efectos sistémicos, se pueden encontrar malnutrición por una mal absorción, obstrucciones intestinales, deshidratación, colapso circulatorio, desbalance electrolítico, anemia, sepsis e inclusive Insuficiencia Renal Aguada. Al recibir grandes dosis, generalmente mayor a 10Gy, se va a presentar como náuseas severas, vómito y diarrea acuosa pocas horas tras la radiación. Luego, entran en un período de latencia que puede durar entre 5 y 7 días. Y cuando empiece nuevamente vómito, diarrea y fiebre alta, la persona entra en la fase de manifestación de la enfermedad[22].

c) El Síndrome Neurovascular, cursa con un pródromo caracterizado por desorientación, confusión, prostración y puede acompañarse por pérdida de equilibrio y convulsiones. Al examen físico se evidencia papiledema y reflejos osteotendinosos y corneal reducidos o ausentes. El período de latencia se caracteriza por ser sumamente corto, se habla de unas cuantas horas y luego se manifiesta la fase de enfermedad. En esta, se ha observado que 5 a 6 horas tras su instauración, los pacientes cursan con diarrea acuosa, disnea, hiperpirexia y pueden llegar a shock cardiogénico. Las complicaciones circulatorias que siguen engloban hipotensión, edema cerebral, aumento en la presión intracraneana y anoxia cerebral, lo que puede llevar a la muerte en menos de 2 días. Este deterioro tan rápido, semeja mucho el cuadro clínico de sepsis aguda y shock séptico, razón por la cual son diagnósticos diferenciales importantes en tener en cuenta[6, 20].

d) En el Síndrome Cutáneo, las lesiones por trauma térmico o quemaduras de radiación se caracterizan por pérdida de la epidermis

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

y en algunas ocasiones de la dermis. Puede que sean de poca extensión en la superficie corporal, pero generalmente son de mucha profundidad afectando inclusive tejido muscular y ósea. Frecuentemente se acompañan de edema local profundo, poniendo en gran riesgo al paciente de sufrir un síndrome de compartimiento. Lesiones significativas implican una disminución de LD 50/60 y amplifica el riesgo de muerte ante cualquier otra exposición. Este síndrome puede ser causado por una dosis alta de radiación penetrante, al igual que por radiación beta, pues ambas son capaces de penetrar el estrato córneo. Los emisores de radiación alfa, tal como el plutonio o uranio, por el contrario pueden causar problemas tardíos en la salud si el material es inhalado o ingerido, pero la mayoría de estas partículas alfa son incapaces de penetrar la piel intacta[23].

En la tabla 3, se detallan los síntomas en cada síndrome de acuerdo a la cantidad de radiación a la que se expone a una persona y la clasificación en grados ascendentes de severidad de acuerdo a los síntomas.

En cuanto al manejo médico del SRA, podemos asegurar que es de mucha importancia diagnosticar la severidad de los efectos dentro de los primeros 3 a 6 días siguientes al evento. Esto para elegir las opciones más adecuadas para la terapia y así preparar las drogas requeridas[24]. El tratamiento de soporte incluye administración de agentes antimicrobianos, antieméticos, antidiarréicos, fluidos, electrolitos, analgésicos y cremas de uso tópico para las quemaduras. Uno de los puntos claves, es iniciar tempranamente terapia de restitución de fluidos en aquellos pacientes con quemaduras extensas, hipovolemias, hipotensión y falla multiorgánica. En aquellos pacientes que se desarrolle dicha falla en cuestión de horas, se recomienda cuidado expectante, el cual incluye no solo las medidas de tratamiento para la comodidad dentro de lo posible, sino también apoyo psicológico. La terapia de tratamiento incluye intubación endotraqueal, anticonvulsivantes y el uso a discreción de analgésicos parenterales, ansiolíticos y sedantes[25]. Como consecuencia de la pérdida de tegumentos, mucosa y alteraciones linfohematopoyéticas, los pacientes son muy sensibles a las infecciones. Por tanto, se debe tratar de controlar las mismas en el período neutropénico con el que cursan. Así, se recomienda entonces el uso de fluoroquinolonas y en aquellos que presenten neutropenia <0,5x109 células/l se debe de administrar agentes antimicrobianos de amplio espectro. Lo que debería incluir fluoroquinolonas más alguna cobertura para estreptococos o una fluoroquinolona con penicilina, más antirretrovirales y agentes antifúngicos. La terapia antimicrobiana se debe continuar hasta que haya presencia de fiebre o se restablezca el conteo de neutrófilos. Si el paciente inicia con fiebres durante el estado neutropénico y está recibiendo fluoroquinolonas, estas deben de ser suspendidas y la terapia debe dirigirse contra bacterias gram negativas, en especial la Pseudomona aeruginosa, ya que este tipo de infecciones puede ser en fatal en pocas horas. En caso de que el paciente no esté neutropénico, se recomienda terapia contra el foco de infección y los agentes más típicos de la zona[6].

Los pacientes con pronóstico desfavorable por altas dosis de radiación, como no tienen posibilidad de supervivencia luego de dosis superiores a 10-12 Gy, se les debe de dar no un tratamiento agresivo, sino uno que incluya medidas que aumenten en la medida de lo posible la comodidad de los mismos. Con esto se entiende disipar el dolor, vómitos y diarreas[6].

Consecuencias a largo plazo

Si bien es cierto los síntomas agudos de los accidentes nucleares pueden llegar a la fatalidad, en aquellos sobrevivientes se pueden generar consecuencias a largo plazo que desencadenen patologías que de igual manera conduzcan a la muerte o genere condiciones que afecten la vida. Principalmente en 3 aspectos: hematológico, tiroides y salud mental.

Consecuencias hematológicas

Es importante establecer que la mayoría de estudios para determinar el desarrollo de leucemia por la exposición a la radiación del

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

ambiente natural, han determinado que no existe correlación significativa entre la leucemia y este tipo de radiación[26].

En el accidente de la planta nuclear en Chernobyl se documentó un aumento en todos los tipos de leucemia y linfoma en los trabajadores de limpieza radiactiva, los liquidadores[27]. La leucemia radiogénica tiene un periodo de latencia de 2 años, por lo que en algunos estudios realizados no se han encontrado diferencias en las tasas de incidencia de la misma en las poblaciones expuestas[28].

Recientemente se ha reportado que hay un aumento en la tasa de incidencia para todos los niños nacidos en regiones "radio-contaminadas" comparados a los nacidos en regiones "no radio-contaminadas"[29]. Los niños expuestos en útero durante el accidente de Chernobyl presentaron un aumento en la incidencia de leucemia comparada a los que no fueron expuestos[30]. Al tomar en cuenta la edad en las poblaciones de riesgo, la tasa de leucemia infantil fue mayor en edades tempranas, después del accidente en las zonas expuestas; por lo que se piensa que la exposición fetal a bajas dosis de radiación puede aumentar el riesgo de leucemia. También se ha reportado un aumento de casos en hijos de padres quienes estuvieron expuestos antes de la concepción[31].

Como se mencionó previamente, la dosis de exposición se utiliza para predecir el efecto. Sus repercusiones se manifiestan en la renovación celular, apoptosis, o redistribución linfo-hematopoyética; y se ha visto que la irradiación en diferentes estadios del desarrollo va a tener diferentes efectos en la repoblación de las células hematopoyéticas y disminuye la producción, reduciendo la cantidad de células circulantes. La baja en el conteo de linfocitos, granulocitos y eritrocitos ocurre en horas, días, y semanas respectivamente. Las plaquetas disminuyen en un período de días debido a su vida media[30]. La variación de estos parámetros permite un adecuado manejo temprano para la detección a futuro de las consecuencias crónicas, como lo son el linfoma y el mieloma múltiple[31].

La linfopenia consecuente puede persistir por muchos años después de la exposición (29). Esto desencadena un tipo de inducción proliferativa, y la persistencia de este podría desencadenar una respuesta desenfrenada de producción a lo largo del tiempo[32].

También, la exposición altera la expresión genética y la transcripción, e interfiere con las vías de señalización tanto intercelular como intracelular. Por estos cambios hematológicos, su presentación clínica puede expresarse como leucemia. Igualmente el mieloma múltiple se ha encontrado asociado con la exposición crónica de bajas dosis, sin embargo es particular en edades más avanzadas[30].

En individuos expuestos a una dosis de 3 Gy se observó un descenso en los linfocitos Natural Killer de un 52% del valor basal, siendo el descenso más pronunciado en el subtipo CD16. También hay disminución en la actividad citotóxica entre 12-20% 24 horas después de la radiación, y un descenso de 45% de su valor basal en los linfocitos T[33]. Kusunoki y colegas reportan que la producción de interleucina 2 (IL-2) por células T se encuentra reducida en los sobrevivientes de la bomba atómica, expuestos a dosis mayores a 1.5 Gy. Este efecto es duradero y resulta además en una depleción de células TH-1 y proliferación de TH-2[34] y además establece que en los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki se registró un aumento significativo en la mortalidad por Leucemia mieloide aguda (LMA), leucemia mieloide crónica (LMC), leucemia linfoblástica aguda (LLA) y síndromes mielodisplásicos[35]. La LLA y la LMA fueron las que se desarrollaron con mayor frecuencia en los menores de 30 años, y se reporta un pico de LMC tras 5 años de exposición y el riesgo de desarrollar la misma fue mayor en los menores de 15 años[36].

Consecuencias a Nivel de Tiroides

El accidente de Chernobyl resultó en la exposición de la población de ese sector a radiación que contenía cantidades importantes de yodo radiactivo. El carcinoma de tiroides es raro en niños, con una frecuencia de 0.3-1-3 por millón al año[37]. Pero a los 4 años del accidente se observó por primera vez un incremento en la incidencia de dicho cáncer y desde ahí parece

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

que continúa aumentando. En el área afectada, cerca de 2000 casos de carcinoma de tiroides pueden ser atribuidos a la exposición de dicha radiación; casi todos son carcinomas papilares. Debido a la vida media de 8 días del I131 (el principal isótopo involucrado), el período de exposición a la radiación fue relativamente breve, por eso es que estos carcinomas dan una oportunidad sin precedentes para relacionar los rasgos morfológicos, los hallazgos moleculares y las características clínicas a la edad del paciente y el período latente[38].

Está reportado que en 1986 dos niños tuvieron cáncer de tiroides, este número aumentó de repente en 1990, cuando 29 niños fueron diagnosticados con esta enfermedad, seguidos por 55 en 1991 y 30 en los primeros seis meses de 1992[39].

Los dos tipos distintos de morfología del carcinoma diferenciado derivan de las células foliculares tiroideas, y estos son: carcinoma papilar y carcinoma folicular. Los dos tipos exhiben no solo diferente morfología sino también distinto comportamiento y están asociados con mutaciones en diferentes oncogenes. El carcinoma papilar se relaciona con el reordenamiento del oncogén RET o el trk y el carcinoma folicular está relacionado con mutación en el oncogen ras. Hay varios estudios donde no se encuentran mutaciones en el gen ras en niños con carcinoma de tiroides post-Chernobyl. Reordenamientos de los tumores papilares del oncogén trk han sido encontrados en una minoría de casos. Mutaciones en el exón 10 del receptor de la hormona estimulante tiroidea (TSH) ha sido asociado particularmente en un tipo benigno de tumor tiroideo, el nódulo caliente, pero ha habido reportes de mutaciones en el receptor de TSH en carcinoma folicular. Las mutaciones en el receptor de TSH son comunes en tumores de hiperfunción folicular, pero son muy raras en carcinomas papilares. El oncogén p53 está comúnmente mutado en muchos diferentes tipos de carcinoma; en carcinoma de tiroides está asociado con carcinoma anaplásico, y no tanto en los tipos diferenciados de carcinoma de tiroides[37]. La mutación en BRAF es más común en carcinomas papilares de tiroides adultos que en niños, hayan estado expuestos o no[40].

RET es activado en el carcinoma papilar por reorganización de su dominio tirosina kinasa[38]. La activación del proto-oncogén RET ha sido documentada en pacientes con carcinoma papilar de tiroides que experimentaron accidentes previos con exposición a altas dosis de radiación. Además, se ha visto que la irradiación in vitro de células humanas de carcinoma de tiroides indiferenciado causa reordenamiento del gen RET[41]. Varias reorganizaciones ocurren, pero las más comunes son RET-PTC 1 y RET-PTC 3, involucrando la reorganización de los genes H4 y ELE1, respectivamente. Los tumores con más componente sólido son a menudo positivos para la reorganización de RET-PTC 3, mientras que los tumores que son dominados por un componente papilar bien diferenciado muestran a menudo reorganización en RET-PTC 1[38]. Un estudio reciente, reportó hallazgos en niños expuestos a radiación del accidente de Chernobyl donde reordenamientos de RET estaban restringidos al carcinoma papilar; reordenamientos de este tipo no se observaron en tumores foliculares[37]. Otros estudios muestran que reordenamientos de RET/PTC3 no está restringido a casos pediátricos o a carcinoma de desarrollo rápido. El reordenamiento de RET ha sido reportado en 84% de los tumores de tiroides desarrollados después terapia de radiación externa y hasta en el 76% de los carcinomas que ocurren en niños después de accidente de Chernobyl[42].

En los carcinomas papilares inducidos por radiación, el período de latencia del tumor está correlacionado con la morfología del tumor y su agresividad. Con un período corto de latencia los tumores muestran más áreas solidas sin diferenciación estructural y mayores niveles de invasión comparados con los tumores de período de latencia largo, que muestra niveles más altos de componentes más diferenciados, ya sea papilar o folicular, y menos niveles de invasión. La dirección de la diferenciación, ya sea patrón de crecimiento papilar o folicular, no está correlacionada con el período de latencia o la edad al momento de la operación, sino a la edad de exposición[38].

El carcinoma papilar en niños se puede subdividir en tres subtipos principales: solido/

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

folicular, clásico, y variante difuso esclerótico. Las características morfológicas de cualquier tumor resultan de la integración de los cambios biológicos moleculares envueltos en la génesis de dicho tumor[37].

La glándula tiroides en niños tiene uno de los más altos coeficientes de riesgos entre varios órganos y es el único con evidencia convincente para riesgo a exposición de 0.1Gy. El riesgo ante la exposición disminuye significativamente con el aumento de la edad, con muy poco riesgo aparente a los 20 años. El riesgo relativo parece ser mayor en mujeres que en hombres[43].

Se ha establecido que los tumores malignos de tiroides después de irradiación externa típicamente se presentan como un cáncer papilar en más del 85% de los niños y adolescentes expuestos. Sin embargo, en un estudio se demostró que al comparar dos cohortes de pacientes con cáncer de tiroides con o sin historia de irradiación en la cabeza o cuello durante su niñez, la proporción de cáncer papilar en los mismos no es diferente (87% y 84%, respectivamente)[42].

El riesgo de la exposición a radio iones parece concentrarse en niños que residen en áreas donde hay severa deficiencia de yodo. La glándula tiroides de los niños prolifera más rápidamente que la de un adulto, y por eso es que se cree que dicho rápido crecimiento es la primera razón por la que los efectos de la radiación aparecen luego de la exposición a niños, y no tanto en adultos. Las glándulas tiroides de los infantes que viven en áreas con deficiencia de yodo son más activas, y por eso tiene más proliferación celular y crecimiento que en áreas donde hay suficiente yodo. Entonces el crecimiento de la tiroides en niños aunado al potencial anormal de crecimiento relacionado con la deficiencia de yodo puede promover la expresión celular alterada inducida por la radiación[44].

Los adolescente muestran un incremento similar de carcinoma de tiroides, aunque mucho menos pronunciado que el que se observa en los niños. La distribución de los pacientes, muestra que los sujetos más jóvenes (menos de 5 años) cuentan con la mayoría de los casos: 62.9% de todos los pacientes y 79.8% de los niños. Esto es consistente con que la glándula tiroides de los niños es más sensible a los efectos carcinogénicos de la radiación[45].

La mayor diferencia entre los cánceres de tiroides observados en niños y adolescentes de Bielorrusia después del accidente de Chernobyl y el cáncer de aparición natural observados en el mismo rango de edad en Italia y Francia fue la edad de distribución. Los pacientes de Bielorrusia mostraron un pico a los 10 años. En contraste con los pacientes del oeste de Europa, que mostraron un aumento progresivo de los casos hasta los 18 años. La diferencia puede deberse a que el carcinoma de tiroides de Bielorrusia se debeió a solo un evento, con exposición a radiación dentro de un período limitado de tiempo, teniendo un mayor efecto carcinogénico en el grupo de edad más joven[45].

Generalmente la prognosis del cáncer de tiroides en niños y adolescentes está reportada como excelente. La mortalidad usualmente es baja, va del 1 al 2%. Sin embargo, la recurrencia es del 30%. Esto indica que se debe dar seguimiento de por vida a los niños con cáncer de tiroides[43].

Hay muchos estudios que sugieren que con la exposición en útero a radio iones en dosis asociadas con la radiación del accidente de Chernobyl pueden incrementar el riesgo de cáncer de tiroides, reforzando la preocupación de que las mujeres embarazadas se expongan a I131 en aplicaciones médicas o accidentes nucleares. No hay evidencias de efectos adversos en otras enfermedades de tiroides[46].

Efectos en la Salud Mental

Solo una fracción de las personas que fueron expuestas serán afectadas, entre estos problemas se cita que las personas afectadas en gran proporción por la radiación pueden desencadenar generaciones futuras con retardo mental[47]. En la actualidad es aun controversial la severidad de los efectos de la exposición a la radiación en la salud mental de las personas, ya que existen varios estudios que se contradicen y varían en sus conclusiones, desde aquellos que afirman que no existe un riesgo real en estos individuos y que los efectos no son más que estados de an-

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

siedad superiores a las personas que no han sido expuestas a la radiación; así como estudios que demuestran una cantidad de trastornos psiquiátricos de importancia que pueden conllevar incluso a la esquizofrenia y la demencia.

En el caso del desastre nuclear de Chernobyl, se observó una incidencia de defectos en la salud mental de las personas que fueron expuestas al incidente años atrás; especialmente en las mujeres y también en las madres con bebés recién nacidos que fueron expuestas, por la vulnerabilidad de su estado y además de los problemas psiquiátricos que acarrea la constante preocupación del riesgo que corren sus hijos. Por otro lado, síntomas de angustia y estrés se presentan comúnmente en la población adulta tras la exposición[48].

En un estudio realizado en 1997 con niños que estaban en vida intrauterina o recién nacidos al momento del incidente de Chernobyl, en comparación con niños de la misma edad residentes de Iowa se descubrió que la alteración en la salud mental que presentaban estos niños no iba más allá de una simple ansiedad en comparación con otros niños que no fueron expuestos y eran menos ansiosos; por lo demás su comportamiento fue descrito como completamente normal. Se concluyó que no existía ningún dato que pudiera afirmar que los niños tienen más prevalencia a presentar retardo mental en relación a los niños que no fueron expuestos a la radiación[49].

En otros estudios se menciona que la exposición con niveles bajos de radiación puede incluso ocasionar daños al sistema nervioso periférico y central. Entre las personas que tuvieron exposición a la radiación en Rusia, las enfermedades neurológicas estuvieron presentes en un 18%, convirtiéndose así en el segundo grupo de enfermedades detectadas. En zonas contaminadas de Bielorrusia, las enfermedades neurológicas y psiquiátricas también fueron más frecuentes de lo normal. Entre los niños, se detectaron afecciones como desordenes del sistema nervioso, trastornos mentales y coeficiente intelectual bajo, aunque la relación entre el aumento de estas enfermedades y la contaminación ha sido difícil de establecer[50].

El 6 de junio del 2000, el informe del Comité Científico de Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica (UNSCEAR), menciona que no existen efectos en la salud mental. Se observa que las conclusiones del informe son consistentes con las observaciones hechas desde 1945 en sobrevivientes de los ataques de la bomba atómica en Hiroshima y Nagasaki. Estos sobrevivientes obviamente recibieron dosis más altas que las personas que se irradiaron después de la explosión de Chernobyl[51]. Sin embargo, no todos los estudios son consistentes con estas conclusiones, y se ha establecido que entre las consecuencias más frecuentes en la salud mental de los desastres nucleares están[52]:

- Estados de ansiedad: se pueden presentar como sintomatología somática (precordalgias, espasmos digestivos, temblores) o como sintomatología psíquica.

- Estados ansiofóbicos: su expresión clínica es similar a los estados ansiosos, con la particularidad que pueden desencadenarse por la evocación de un estímulo fobógeno.

- Estados histéricos: suelen manifestarse como manifestaciones histéricas como la conducta suicida. Por otro lado pueden expresarse como parte de una “personalidad histérica”: sugestibilidad, necesidad de ejercer seducción y/o llamar la atención.

- Reacciones neuróticas depresivas: se expresa como aislamiento, inseguridad, sensación de culpabilidad. La inhibición psíquica y motriz domina el cuadro general.

- Las reacciones de neurosis traumáticas: pueden sobrevenir en sujetos sin antecedentes neuróticos y estar determinadas totalmente por el shock emocional.

Junto con las defunciones y enfermedades causadas por la radiación, se definen los efectos de Chernobyl en la salud mental como “el mayor problema de salud pública creado por el accidente”. Estos problemas se manifiestan en evaluaciones negativas de la propia salud, en la convicción de tener una esperanza de vida menor,

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

en la falta de iniciativa y en la dependencia de la asistencia del Estado.

Se menciona además que en Chernobyl se presentó un aumento en la tasa de suicidios y en general, un aumento en la tasa de muerte violenta entre los bomberos, policías y otros obreros de la recuperación en el sitio y en la población evacuada que ha experimentado una reducción considerable en su esperanza de vida.(51).

La notificación de síntomas de estrés, depresión y ansiedad y síntomas físicos sin explicación médica, incluso trastornos imaginarios. Se debe en parte al hecho de haber hablado siempre de "víctimas" y no de "supervivientes" al referirse a la población afectada, y ésta ha tendido a sentirse indefensa, débil y carente de todo control sobre su futuro. Ello, a su vez, ha dado lugar a comportamientos excesivamente cautelosos y preocupaciones exageradas por la salud(52).

En lo que respecta a los efectos orgánicos en la salud mental, la radiación es más peligrosa si el individuo se expone durante la vida intrauterina. Se ha estudiado que durante el período comprendido entre las semanas 8ª y 25 ª post-concepción el sistema nervioso central (SNC) es particularmente sensible a la radiación. Dosis fetales mayores pueden dar como resultado una disminución medible del coeficiente de inteligencia (CI), discrepancias verbales y trastornos de personalidad. Durante ese período, dosis fetales aun mayores tienen como resultado una alta probabilidad de retardo mental grave. La sensibilidad es más elevada entre las semanas 8ª y 15 ª post.-concepción. El SNC es menos sensible a estos efectos entre las semanas 16º y 25º de edad gestacional y es bastante resistente a partir de entonces. Cabe mencionar que todas las observaciones clínicas sobre reducciones significativas de CI y retardo mental severo están relacionadas con dosis fetales superiores, producidas a altas tasas de dosis.

Dentro de los desórdenes neurológicos y psicológicos se dice que hay evidencia experimental que afirma que algunas áreas del sistema nervioso central son más susceptibles a la radiación. No se ha observado reparación neuronal total, sin embargo si hay algún porcentaje de recibida de los daños cerebrales de carácter orgánico(50).

Diversos estudios en los recién nacidos en la época del accidente de Chernobyl y en quienes en ese momento estaban en vida intrauterina confirman que la exposición a la radiación resultó en daño orgánico marcado en los lóbulos frontal, temporal y occipitoparietal del cerebro. Esto se refleja en la disfunción del sistema nervioso, incluyendo trastornos de percepción, memoria a corto plazo, dificultad de concentración, inteligencia operativa disminuida, estos disturbios mentales concluyen en una disminución de la inteligencia en estos individuos(53).

En los productos de las pacientes embarazadas durante el accidente nuclear de Chernobyl que residían en áreas contaminadas se observó un aumento de la prevalencia de anomalías congénitas del sistema nervioso, encefalopatía perinatal, disfunción cognitiva y otras enfermedades neurológicas.

Estudios recientes en pacientes que sobrevivieron el accidente de Hiroshima y Nagasaki y en individuos que se encontraban en ese momento en vida intrauterina confirman que existe una vulnerabilidad en el desarrollo cerebral debido al daño de la radiación (retardo mental y menor coeficiente intelectual). Existe la hipótesis que dice que el lado izquierdo del cerebro sufre en mayor consecuencia los efectos de la radiación.

La encefalopatía postradiación se ha observado en todos los pacientes que han presentado el síndrome de radiación agudo; el mayor factor involucrado es la dosis de radiación a la que la persona fue expuesta. Entre otros factores involucrados se encuentran: la edad del paciente, presencia de enfermedad cerebrovascular y presencia de estrés psicológico. En estados iniciales se observó disfunción del sistema autónomo, el cual fue el primer estado del desarrollo de la neuropatía psiquiátrica, la cual evolucionó a neuropatía en 3-5 años después; se ha visto un incremento en las tasas de defunciones en pacientes con encefalopatía postradiación.

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

El personal que trabaja cerca de la zona de contaminación es el grupo más afectado por los desórdenes psiquiátricos, el deterioro mental es proporcional a la dosis de exposición. Estas personas sufrían de estrés y anormalidades en el desarrollo de la personalidad de tipo psicosomático y orgánico. La exposición mayor fue significante como factor de riesgo para el desarrollo de neuropatía y problemas vasculares[54].

En Japón, la prevalencia de ansiedad y síntomas somáticos siguió estando elevada incluso 17-20 años después del incidente, lo que indica que sí existen efectos a largo plazo. Se ha visto también que existe una prevalencia aumentada de la esquizofrenia[50].

Los factores de riesgo principales para desarrollar una enfermedad psiquiátrica después de un accidente nuclear son los siguientes: severidad de la exposición, número de factores estresantes en el alrededor de la persona, muerte de un ser querido, daño en la persona o en algún familiar, pérdidas económicas, género femenino, estado socioeconómico bajo, sentimiento de culpa y el estrés parental en caso de los niños[54].

El factor más importante de riesgo para el desarrollo de problemas psiquiátricos en los niños fue la relación con el estrés materno por el evento ocurrido; incluso se ha visto que las madres de estos niños son dadas a reportar enfermedades y trastornos psiquiátricos en sus hijos que solo ellas notan. Las madres incluso han reportado problemas psicológicos en sus hijos, quienes estuvieron expuestos a accidentes nucleares en su vida intrauterina y hoy en día son adolescentes, que solo ellas perciben y ni siquiera el mismo adolescente nota. Algunas de estas consecuencias psicológicas son reversibles[55] [56].

El mundo se encuentra aun en un período expectante, donde habrá que esperar algunos años y realizar investigaciones más a fondo para establecer el riesgo real que tiene la exposición a la energía nuclear en la salud mental.

Aspectos médico legales

Ante una catástrofe nuclear es indispensable que los hospitales sean capaces de responder como parte de un plan. Las leyes amparan las respuestas hospitalarias y prohíben las actividades específicas que puedan retardar o inhibir las respuestas adecuadas a la emergencia. Facilitan el financiamiento para una mejor respuesta a las situaciones de emergencia ante la declaración de un estado de emergencia[57].

Durante la declaración de emergencia los hospitales deben clasificar a los pacientes de acuerdo a un triage, en donde los pacientes con alta posibilidad de fallecer se les debe dar tratamiento de soporte. A los que son excluidos de este tipo de tratamiento se les debe proveer de cuidado paliativo y además los hospitales deben proveer protección al personal de salud[57].

Los parámetros a realizar después de un desastre nuclear son: describir la situación y ambiente físico luego de una detonación de 10kilotones, discutir el equilibrio de los recursos según oferta-demanda asistencial. Presentar información de apoyo y material de referencia sobre los posibles problemas médicos que requieren atención, recalcar la importancia de salvar vidas y de los cuidados paliativos, informar para una adecuada respuesta en situaciones de desastre, el manejo de los recursos y proporcionar orientación práctica[58].

En el estado de emergencia, es indispensable que se salvaguarden los derechos del personal de salud, de los pacientes y de los proveedores ante los recursos[59]. Así como se debe respetar el derecho a la salud de cualquier persona que según el Protocolo de San Salvador de la Convención Americana de Derechos Humanos, el Derecho a la Salud en su artículo 10 que establece que toda persona tiene derecho a la salud, entendida como disfrute del más alto nivel de bienestar físico, mental y social; teniendo que adoptar medidas como extender los beneficios a todos los individuos, prevención y tratamiento de enfermedades endémicas y profesionales, así como satisfacer las necesidades de salud de los grupos vulnerabilizados[60].

Varias entrevistas con personal de Home Office Chemical, Biological, Radiological and Nuclear y miembros de otras entidades relacionadas ponen

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

en evidencia la poca política y guía existente en el manejo de incidentes de esta índole[61].

Por su parte, los trabajadores de las plantas nucleares dañadas, con el fin de reparar el daño, deben lidiar con los escombros radiactivos, portando máscaras, anteojos y trajes protectores forrados con fuertes cintas adhesivas para evitar las partículas radiactivas. Además, debe limitarse el nivel de radiación al que son expuestos estos trabajadores.

En cuanto al manejo de cadáveres estos deben ser monitorizados para detectar radiación, el cadáver puede absorber radiación así como cualquier otro objeto, en algunos casos se debe retirar el cadáver de la zona de radiación para poder determinar si está contaminado. Primeramente se debe determinar el agente contaminante. Si es posible se debe limpiar del agente y las superficies cercanas. Para poder mover el cadáver este debe ser colocado en bolsas plásticas identificadas como radioactivas que no deben tener fugas de material, el cuerpo debe ser transportado siempre en refrigeración, y debe mantenerse así hasta que se vaya a realizar la autopsia o se vaya a disponer del cadáver[61][62].

Además el personal que trabaje con estos cadáveres deberá utilizar protección como guantes, mascarillas, camisolines y cubrecabeza; dosimetrímetros personales que nunca deben marcar más de 0.05Gy por años por factor de calidad. La vestimenta debe ser descontaminada posteriormente, así como el transporte, las cámaras de refrigeración, el sitio de cremación y los instrumentos que se utilizaron en el proceso. Es importante recordar que aunque la superficie del cuerpo pueda no estar muy contaminada el interior del cuerpo pueda contener altos niveles de contaminación[61][62].

Las autopsias de cadáveres poco contaminados no requieren mayores cuidados más que la ropa de protección, los que están más contaminados se deben restringir las autopsias, y en caso de ser necesaria sería prudente repartir el trabajo entre varias personas, además de retirar primeramente los órganos que podrían absorber algún tipo especial de radiación, como el Yodo 131 en la tiroides, y ser retirados de la zona de trabajo. Así como los fluidos contaminados deben ser adecuadamente descartados y el equipo descontaminado en una solución detergente seguido del lavado con agua a chorro[62][63].

Si se realiza una autopsia a un cadáver que no se sabía estaba contaminado, inmediatamente descubierto el incidente debe informarse a las autoridades, medir niveles de exposición del patólogo y del personal expuesto, y descontaminar apropiadamente[63].

Embalsamar el cuerpo no representa ningún problema si no se ha hecho autopsia, igualmente se debe usar ropas de protección y el cuerpo no exceda los niveles máximos de radiación. La inhumación no es un problema a menos que la contaminación fuera con material de muy larga vida media [62][63].

En el marco legal, aunque en Costa Rica no existen plantas nucleares, existe el Reglamento Sobre Protección Contra Las Radiaciones Ionizantes, que establece los criterios tendientes a proteger la salud de la población de los riesgos radiológicos que pueden derivarse del empleo de radicaciones ionizantes y actividades afines, el cual establece que toda persona que trabaje con material radiactivo debe obtener una autorización previa emitida por una autoridad competente. El dueño de la autorización debe velar por la seguridad radiológica de las instalaciones y solo puede realizar actividades previamente autorizadas. Además debe mantener un programa de protección radiológica operacional y proporcionar al personal todos los materiales de protección, dosimetría, capacitación y cualquier elemento necesaria para asegurar su seguridad. Pero la seguridad también depende de los operadores que deben velar por el correcto funcionamiento de la operación, así como tomar todas las medidas necesarias para protegerse. La autoridad competente debe prevenir, mitigar y responder ante una emergencia radiológica, debe mantener un registro de los accidentes ocurridos, así como someter a una evaluación a la institución que sufrió el accidente, incluso revocar la autorización [64].

A manera de conclusión, se enfatiza en que la peligrosidad de las radiaciones ionizantes hace necesario el establecimiento de medidas que garanticen la protección de los trabajadores

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

expuestos y el público en general contra los riesgos resultantes de la exposición a las mismas en los desastres nucleares.

Recomendaciones

Es importante que la población general esté enterada de los posibles efectos que puede causarle a la salud la exposición a radiación nuclear para consultar algún médico si presenta alguno de los síntomas. A los profesionales de la salud es necesario que se informen acerca de los hallazgos clínicos que pueda presentar un paciente irradiado, esto debido a la creciente globalización que nos podría enfrentar a una situación de ese tipo. Debe informarse además del tratamiento al menos de primera línea. Y no debe olvidar al paciente una vez recuperado del síndrome de radiación aguda, debido a la gran cantidad de patologías asociadas que se presentan incluso años después de ocurrido el evento. La parte psicológica también juega un papel importante como parte de las secuelas por lo que es importante que los pacientes irradiados se manejen con un equipo interdisciplinario. Es por tanto que deben de existir parámetros establecidos para el manejo cotidiano de las plantas nucleares. Dichas pautas a seguir deben de tener un riguroso estudio de trasfondo de todos los factores que engloba la existencia de material radiactivo entre la población. Y por tanto, el resultado de dicho estudio debe plantear desde la capacitación adecuada para los trabajadores que están en contacto diario con dichos materiales, hasta estrategias de cómo controlar las posibles explosiones, liberación de gases tóxicos, minorizar efectos, etc. De igual manera, el planeamiento debe especificar rutas de evacuación y acceso al lugar en caso de un accidente. Probablemente, lo más importante sea que exista una coordinación entre los servicios de emergencia y el gobierno que dicte el plan nacional a seguir en caso de un desastre para asegurar el bienestar de la población y disminuir daños en aquellos que han sufrido directamente los efectos del desastre, además de contar con los recursos para ayudar a los afectados.

El Estado costarricense debería informar adecuadamente a la población como evitar una catástrofe nuclear y como proceder ante la misma, ya que en Costa Rica se desconocen las medidas que se deben tomar para prevenir dichos efectos. Por esta razón es que se deben realizar campañas para informar acerca de cómo se podría ver afectada la población en caso de una exposición peligrosa a dicha radiación, ya sea tanto en el ámbito médico como en un accidente de mayor magnitud, y más relevante aún, cómo se pueden prevenir dichas secuelas. Las campañas deben realizarse a nivel de centros educativos y de salud, así se llegaría a gran parte de la población de forma sencilla. Esto es muy importante, ya que a pesar de que en Costa Rica no se cuenta con plantas nucleares como las que se han visto implicadas en catástrofes, a nivel local, como en un hospital, se podría presentar también un accidente que comprometa la salud de muchas personas.

Anexos

Tabla 2. Fases del daño por radiación*

Dosis (Gy)	**Pródromo**	**Manifestación de enfermedad**	**Pronóstico (sin terapia de soporte)**
0,5-10	Leve	Disminución leve en conteo células hemáticas	Sobrevivencia certera
1-2	Leve a moderado	Signos tempranos de daño a médula	Sobrevivencia >90%
2-3	Moderado	Daño moderado a severo en médula	Sobrevivencia probable
3,5-5,5	Severo	Daño severo a médula, daño leve a TGI	50% muerte probable en 3-6 semanas
5,5-7,5	Severo	Pancitopenia y daño TGI moderado	Muerte probable en 2-3semanas
7,5-10	Severo	Daño severo a médula y TGI e hipotensión	Muerte en 1-2,5 semanas
10-20	Severo	Daño severo en TGI, disfunción cognitiva, estado mental alterado, neumonitis	Muerte certera en 5-12 días
20-30	Severo	Colapso cerebro vascular, fiebre, shock	Muerte certera en 2-5 días

*Modificada de Waselenko, et al. (2004) Medical Management of the ARS. (6).

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

Tabla 3. Grados de respuesta de distintos sistemas ante radiación				
Síntoma	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
SISTEMA NEURO VASCULAR				
Naúsea	Leve	Moderado	Intensa	Extrema
Vómito	Ocasional (1 por día)	Intermitente (2-5 veces por día)	Persistente (6-10 veces por día)	Refractaria (>10 veces por día)
Anorexia	Come normalmente	Ingesta disminuida	Ingesta mínima	Nutrición parenteral
Fatiga	Trabaja normalmente	Capacidad de trabajo disminuida	Necesita ayuda para actividad de vida diaria	No puede hacer actividad de vida diaria ni con ayuda
Temperatura (°C)	<38°C	38-40 °C	>40 por <24horas	>40 por >24horas
Cefalea	Mínima	Moderada	Intensa	Extrema
Hipotensión	FC>100 lat/min, PAM>100/70 mmHg	PAM < 100/70mmHg	PAM <90/60 mmHg transitoria	PS <80mmHg persistente
Déficit neurológico	Mínimamente detectable	Detectable fácilmente	prominente	Atenta contra la vida, pérdida de conciencia
Déficit cognitivo	Mínima pérdida	Pérdida moderada	Disminución marcado	Disminución completo
SISTEMA TGI				
Diarrea				
Frecuencia (depósitos por día)	2-3	4-6	7-9	≥10
Consistencia	Compacta	Blandas	Blandas	Acuosa
Sangrado	Oculto	Intermitente	Persistente	Persistente y abudante
Dolor abdominal	Mínimo	Moderado	Intenso	Extremo
SISTEMA HEMATOPOYÉTICO				
Linfocitos	≥1,5x10^9 cel/l	1-1,5x10^9 cel/l	0,5-1x10^9 cel/l	<0,5x10^9 cel/l
Granulocitos	≥2x10^9 cel/l	1-2x10^9 cel/l	0,5-1x10^9 cel/l	<0,5x10^9 cel/l
Trombocitos	≥100x10^9 cel/l	50-100x10^9 cel/l	20-50x10^9 cel/l	<20x10^9 cel/l
Pérdida de sangre	Hb normal, petequias	Pérdida leve con disminución <10% de Hb	Pérdida marcada de sangre con disminución del 10-20% de Hb	Sangrado espontáneo con disminución de Hb>20%
SISTEMA CUTÁNEO				
Eritema	Mínimo	Moderado (<10% área corporal)	Marcado (10-40% superficie corporal)	Severo (>40% de superficie corporal)
Sensación en piel	Priurito	Dolor mínimo e intermitente	Dolor moderado y persistente	Dolor severo y persistente
Edema o inflamación	Presente, no doloroso	Edema a tensión y sintomático	Disfunción secundaria	Disfunción total
Ampollas	Ausente (generalmente)	Raras, hemorragia	Bulas	Bulas, hemorragias
Descamación	Ausente (generalmente)	Seca e irregular	Húmeda e irregular	Confluentes, húmedas
Úlcera o necrosis	Epidérmica	Dermal	Subcutánea	Incluye músculo y hueso
Pérdida de pelo	Ausente (puede haber adelgazamiento)	Visible e irregular	Completa, reversible	Completa e irreversible
Onicolisis	Ausente	Parcial	Parcial	Completa
*Modificada de Waselenko, et al. (2004) Medical Management of the ARS. (6).				

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

Bibliografía

1- Lake, R. G., Bennett and J. F. Kotek. (2002). Next Generarion Nuclear Power. Scientific American. 73-81

2- Marshal, E. (2005). Is the Friendly Atom Poised for a Comeback? Science, 8, 1168-1169.

3- Brown, L. R. (2002). Nuclear Power as an Energy Source, Science, 5598, 1553-1554

4- Nifenecker, H. (2011). Future electricity production methods. Rep. Prog. Phys. 74, 1-28.

5- Staff, I. (2008). International Nuclear and Radiological Events Scale Users' Manual, Edition. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 184-187.

6- Waselenko, J. et al (2004). Medical Management of the Acute Radiation Syndrome:Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. Ann Intern Med, 140,1037-1051.

7- Patitó, J. A.. (2000). Medicina Legal. Argentina: Ediciones Centro Norte. p. 451.

8- Walker, F. (1977). Urals Russian Incident. Critical Mass, 23, 49, pp 12-13.

9- Medvedev, Zh. (1976). Two Decades of Dissidence. New Scientist, 72, p 264.

10- Nikipelov, B. V., Romanov, G. N., Buldakov, L. A. et al. (1993). The Radiation Accident in the Southern Urals in 1957, Atomic Energy, 70, 2, p. 74.

11- McGeoghegan, D. y K. Binks. (2000). Mortality and cancer registration experience of the Sellafield employees known to have been involved in the 1957 Windscale accident. Journal of Radiological Protection, 20(3), 261–274.

12- Walker, S. (2004). Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective. University of California Press, 315 pp.

13- Ahearne, J. (1987) Nuclear power after Chernobyl. Science, 5, 673-679.

14- Edward, E. (1996). Chernobyl Analysis. Science 6 September, 1321-1325.

15- The information on accident at the Chernobyl NPP and its consequences, prepared for IAEA, Atomic Energy, (1986) 61, , p. 308-320

16- Stone, R. (2011, 25 March). Fukushima cleanup will be drawn out and costly. Science, 1507.

17- Walbrust, A. et al. (2010). Medical Response to a Major Radiologic Emergency, A Primer for Medical and Public Health Practitioners. Radiology, 254, 3.

18- Wagemaker, J. (1996). Efectos observados clínicamente en SRA. BOLETÍN DEL OIEA, 3.

19- Ishi, T. et al. (2001). Brief Note and Evaluation of Acute-radiation Syndrome and Treatment of a Tokai-mura Criticality Accident Patient. J. Radiat, Res., 42, SUPPL., S167–S182.

20- Donnelly, E. et al. (2010). Acute Radiation Syndrome: Assessment and Management. Southern Medical Journal, 103 - Issue 6 - pp 541-546 doi: 10.1097/SMJ.0b013e3181ddd571

21- Fliedner, T. et al. (2005). Multi-organ involvement as a pathogenetic principle of the radiation syndromes: a study involving 110 case histories documented in SEARCH and classified as the bases of haematopoietic indicators of effect.

22 Monti, P. (2005).The contribution of radiation-induced injury to the gastrointestinal tract in the development of multi-organ dysfunction syndrome or failure. Occupational Medicine: 10.1259/bjr/53186341

23- Berger, M. (2006). Medical management of radiation injuries: current approaches. Occupational Medicine : 56:162–172 doi: 10.1093.

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

24- Friesecke, I. (2001). How to cope with radiation accidents: the medical management. The British Journal of Radiology, 74, 121–122.

25- Weisdorf, D et al. (2006). Acute Radiation Injury: Contingency Planning for Triage, Supportive Care, and Transplantation. Biology of Blood and Marrow Transplantation, 12, 672-682.

26- Walter, S. D., Meigs, J. W. y J. F. Heston. (1986). The relationship of cancer incidence to terrestrial radiation and population density in Connecticut,1935–1974. Am J Epidemiol 123, 1.

27- Ivanov, V. K., Tsyb, A. F., Gorsky, A., et al. (1997) Leukemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: Estimation of radiation risks (1986–1995). Radiat Environ Biophys, 36, 9.

28- Jablon, S., Hrubec, Z. y J. Boice. (1991). El cancer en las poblaciones que viven cerca de instalaciones nucleares. OIEA

29- Noshchenko, A. G., Moysich, K. B., Bondar, A., Zamostyan, P. V., Drosdova, V. D. y A. M. Michalek. (2001). Patterns of acute leukemia occurrence among children in the Chernobyl region. Int J Epidemiol, 30, 125.

30- Dainik, N. (2002). Hematologic consequences of exposure to ionizing radiation. España: Elsevier, 513-528

31- Vadim, V. C., Anatoly, Y. R. , Paul, G. V., et all. (2008). The Ukranian-American Study of Leukemia and Related Disorders among Chornobyl Cleanup Workers from Ukraine: II. Estimation of Bone Marrow doses. 698–710.

32- Petridou, E., Trichopoulos, D., Dessypris, N., et al. (1996) Infant leukemia after in utero exposure to radiation from Chernobyl. Nature, 382-352.

33- Dubner, D. L., Gisone, P. A., Pérez, M., et all. (1988) Indicadores bioquímicos y hematológicos en un modelo de irradia-ción corporal total. Autoridad Regulatoria Nuclear. 27-98

34- Chavez, B., Estrada, L., Hurtado, J., et all. (2000) Efectos de la Irradiación Gamma en Ratones. Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1025 – 5583

35- Kusunoki, Y., Hayashi, T., Morishita, Y., et al. (2001) T-cell responses to mitogens in atomic bomb survivors: a decreased capacity to produce interleukin-2 characterizesthe T cells of heavily irradiated individuals. Radiat Res, 155, 81.

36- Bermejo, V. J. y J. A. Reoyo. (2006). Revisión de factores de riesgo en las leucemias. SFMG. 81-853.

37- Santoro, M. et al. (2000). Gene rearrangement and Chernobyl related thyroid cancers. British Journal of Cancer, 82(2), 315–322.

38- Williams, E. et al. (2004). Thyroid carcinoma after Chernobyl latent period, morphology and aggressiveness. British Journal of Cancer, 90, 2219 – 2224.

39- Kingman, S. (1992). Thyroid cancer rises after Chernobyl. British Medical Journal, 305, 601-602.

40- Fugazzola, L. et al. (1995). Oncogenic Rearrangements of the RET Proto-Oncogene in Papillary Thyroid Carcinomas from Children Exposed to the Chernobyl Nuclear Accident. Cancer Res, 55, 5617-5620.

41- Williams, E. et al. (2008). Morphologic Characteristics of Chernobyl-Related Childhood Papillary Thyroid Carcinomas Are Independent of Radiation Exposure but Vary with Iodine Intake. Thyroid, 18(8), 847–852.

42- Reiners, C. (2009). Radioactivity and thyroid cancer. Hormones 8(3):185-191

43- Di Cristofaro, J. et al. (2005). ret/PTC1 and ret/PTC3 in thyroid tumors from Chernobyl liquidators: comparison with sporadic tumors from Ukrainian and French patients. Endocrine-Related Cancer 12 (1) 173 -183.

44- Boice, J. (2005). Radiation-induced Thyroid Cancer-What's New? JNCI J Natl Cancer Inst, 97 (10), 703-705.

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.

45- Pacini, F. et al. (1997). Post-Chernobyl Thyroid Carcinoma in Belarus Children and Adolescents: Comparison with Naturally Occurring Thyroid Carcinoma in Italy and France. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 82, 11, 3563-3569.

46- Hatch, M. et al. (2009). A Screening Study of Thyroid Cancer and Other Thyroid Diseases among Individuals Exposed in Utero to Iodine-131 from Chernobyl Fallout. J Clin Endocrinol Metab, 94(3), 899–906.

47- Richard, E. et al. (1998). Radiation Accidents and Nuclear Energy: Medical Consequences and Therapy. Annals of Internal Medicine, American College of Physicians.

48- Havenaar, J. et al. (1997). Long-Term Mental Health Effects of the Chernobyl Disaster: An Epidemiologic Survey in Two Former Soviet Regions. Am J Psychiatry, 154.

49- Bromet, E. et al. (2000). Children`s Well- Being 11 years After the Chernobyl Catastrophe. American Medical Association.

50- Greenpeace International. (2006). The Chernobyl Catastrophe. Consequences in Human Health. Recuperado de Greenpeace International: http://www.greenpeace.org/row/content/mexico/press/resports/la-catastrofe-de-chernobil.com.pdf.2006

51- Frot, J. (2008). Las causas del evento de Chernobyl. Francia.

52- Benyakar, M. (2002). Salud Mental y Desastres. Nuevos Desafíos. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Revista Neurología, Neurocirugía y Psiquiatría, 35 (1).

53- Vivallo, L. et al. (2010). Efectos de las Radiaciones Ionizantes en el Ser Humano. Comisión chilena de energía nuclear. Chile: Departamento de Protección Radiológica y Ambiental.

54- Dodgen, D. et al. (2011). Social, Psycological and Behavioral Responses to a Nuclear Denotation in a US City: Implication for Health Care Planning and Delivery. Disaster Med Public Health Preparedness, 5.

55- Sherman, J & Alexey V. (2011, 27 April). Chernobyl: Consequences of the Catastrophe 25 years later. USA: Democracy Now.

56- Sverdvik, K. et al. (2011). The psychological Well Being of Norwegian Adolescents Exposed in Uterus to Radiation from the Chernobyl Accident. Child and Adolescent Psyquiatry and Mental Health, 5, 12.

57- Hodge, J., et al, (2009) Emergency Legal Preparedness for Hospitals and Health care personnel. Disaster Medicine and Public Health Preparedness. American Medical Association, 3, 1.

58- Coleman, C. N. (2011); Foreword. Disaster Medicine and Public Health Preparedness. American Medical Association. 5, 1 (Reprinted).

59- Sherman, S. E. (2011). Legal Considerations in a Nuclear Detonation. Disaster Med Public Health Preparedness. American Medical Association, 5, 1.

60- Solano, P. (2003). El derecho a la salud y la reproducción asistida. Medicina Legal de Costa Rica, 20(1), 15-27.

61- Edkins, A. y V. Murray. (2005). Management of chemically contaminated bodies. Journal of the Royal Society of Medicine, 98.

62- Sarmiento, F. et al. (2002). Emergencias Radiactivas. Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Militar Central.

63- Report of the 101st session (NHMRC) Brisbane. (1986). Code of Practice for the Safe Handling of Corpses Containing Radioactive Materials. Australia: Canberra Publishing & Printing Co.

64- C. R. Leyes y Decretos. (1995). Asamblea Legislativa, Decreto N°24037-S. Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes. La Uruca, San José, Costa Rica.

© 2013. Asociación Costarricense de Medicina Forense - ASOCOMEFO.