

Artículo de revisión

El cirujano de traumatismos y las catástrofes radioactivas

Luis Manuel García Núñez,* Víctor Hugo Guerrero Guerrero,** Ruy Cabello Pasini***

RESUMEN

Las catástrofes radioactivas generan lesiones traumáticas, radioactivas y psicológicas. Los pacientes con estas lesiones acuden al servicio médico como víctimas en masa. Para el cirujano de traumatismos, que asumirá la posición de liderazgo y la responsabilidad primaria en el tratamiento de este tipo de lesiones, es importante conocer la física básica y la fisiopatología de la lesión por radioactividad, en la idea de que el abordaje primario debe fundamentarse en los protocolos que se establecen en los manuales de los cursos Pre-Hospital Trauma Life Support® y Advanced Trauma Life Support®.

Palabras clave: lesión, radiación, traumatismos.

ABSTRACT

Radioactive catastrophes lead to traumatic, radioactive and psychological injuries. Patients who sustain the aforementioned injuries are presented as mass-casualties. To the trauma surgeon, who will assume the leadership position and the primary responsibility on the treatment of this type of injuries, it is important to know basic physics and pathophysiology of radioactive injury, under the concept that the primary approach must be supported by the protocols established in the manual of the Courses *Pre-Hospital Trauma Life Support*® and *Advanced Trauma Life Support*®.

Key words: injury, radiation, trauma.

La catástrofe radioactiva es un evento súbito y no anticipado, en el que hay pérdida del control de las fuentes radioactivas,¹ así como ausencia de protección contra los efectos biopsicofisiológicos de las mismas. Estas catástrofes son un acontecimiento psicosocial importante si el material radioactivo se disemina en el ambiente público por explosiones, contaminación de fuentes de agua o aerosolización de vapor o líquidos radioactivos.

En el caso de catástrofes de naturaleza explosiva (industriales, bélicas o terroristas), los efectos sobre las víctimas son consecuencia de la explosión convencio-

nal y de la propia radioactividad. También el personal de rescate puede exponerse a la radioactividad y es posible que partículas del material radioactivo se dispersen hacia sitios lejanos del lugar del accidente. Estos dos últimos puntos son importantes, pues la exposición del personal de rescate a la radiación puede ser considerable y, aunque las partículas radioactivas pueden no ser suficientes como para causar contaminación distante, las consecuencias psicosociales de su diseminación en área urbana son impresionantes. Por supuesto también hay riesgo de carcinogénesis.² Un evento radioactivo catastrófico real sería la explosión de una fuente radioactiva en área urbana densamente poblada. Las lesiones físicas por el efecto explosivo, los misiles secundarios y las quemaduras térmicas pueden ser significativas. Además, la exposición a la radiación podría afectar de manera aguda y crónica la salud de la población.

El conocimiento público y profesional de la fisiopatología y el manejo de la lesión por radioactividad son inadecuados; la experiencia y el adiestramiento de muchos facultativos se limitan a lo obtenido durante los acontecimientos en Hiroshima, Nagasaki, Three-mile Island y Chernobyl. Como lo establece García Núñez,³ la experiencia clínica del cirujano de

* Mayor médico cirujano. División de traumatología, Universidad de Medicina y Odontología de Nueva Jersey, Newark, Nueva Jersey, Estados Unidos.

** Mayor médico cirujano. Departamento de cirugía, Universidad de California, San Francisco, California, Estados Unidos.

*** Teniente coronel médico cirujano. Cirujano general y de traumatismos, Hospital Central Militar, Secretaría de la Defensa Nacional, México, Distrito Federal, México.

Correspondencia: Luis Manuel García Núñez. Circuito Naranjeros 22, colonia Club de Golf México, CP 14620, México, DF. Tel. y fax: 5573-0026. E-mail: luismanuelgarcianunez@yahoo.com, lmgarcian@hotmail.com.

Recibido: octubre, 2006. Aceptado: diciembre, 2006.

La versión completa de este artículo también está disponible en internet: www.revistasmedicasmexicanas.com.mx

traumatismos, civil y militar, se sustenta, sobre todo, en la práctica con el manejo de lesiones en la arena urbana, como por fortuna las catástrofes radioactivas son eventos muy raros, la destreza en el diagnóstico, abordaje y tratamiento de dichas lesiones es muy restringida. Por tanto, aquí se discute sobre la física básica, la fisiopatología y el manejo de las lesiones por radioactividad, en el entendido de que los protocolos primarios de atención a este tipo de traumatismos, como se establece en los manuales para estudiantes de los cursos Pre-Hospital Trauma Life Support® (PHTLS) y Advanced Trauma Life Support® (ATLS), representan el abordaje estándar con independencia del ambiente que predomine.

FÍSICA DE LA Y LESIONES POR RADIOACTIVIDAD: CONCEPTOS BÁSICOS

Los átomos de los elementos naturales tienen un núcleo, compuesto por un número específico de protones, y cierto número de electrones que giran a su alrededor. La fuerza de repulsión de los protones es inmensa, por lo que los neutrones funcionan como enlace protónico manteniéndolos unidos. El número de protones establece las propiedades físicas de un elemento, pero cada elemento puede tener varios isótopos con base en el número de neutrones, que además le proveen de diferente peso atómico. Estos isótopos pueden ser estables o inestables. Casi siempre los isótopos de los elementos pesados (como el uranio) son inestables, y forman elementos estables al término de su decadencia natural. La emisión de radiación (radioactividad) es el proceso activo de esta decadencia.

La fisión nuclear es el proceso artificial que divide al núcleo mediante la absorción de neutrones. Cuando un gran número de átomos absorbe neutrones y se fragmenta en serie, ocurre reacción en cadena que libera cantidades masivas de energía y ocasiona detonación nuclear. La fusión nuclear es el principio de la bomba de hidrógeno, consiste en la combinación de isótopos de hidrógeno (deuterio y tritio) para producir un átomo de helio y gran cantidad de energía. Se requiere mucha energía térmica para iniciar la fusión nuclear, por lo que es necesario el proceso primario de fisión para detonar el mecanismo de fusión.

La energía radioactiva puede manifestarse en forma de ondas electromagnéticas o partículas. La radiación α consiste en la emisión de un núcleo de helio que contiene dos protones y dos neutrones en el núcleo de un isótopo inestable. La radioactividad β corresponde a la emisión de electrones o positrones durante la decadencia nuclear. La radioactividad neutrónica es una tercera forma de radioactividad particulada. La radioactividad γ es otra clase de radiación electromagnética, en forma de fotones de alta energía.

El paso de la radiación electromagnética o particulada a través de un medio transfiere una tasa variable de energía. Los rayos electromagnéticos x y γ penetran fácilmente los tejidos, pero tienen tasa baja de transferencia y de pérdida neta de energía, depositan poca energía en su curso y la dosis de radioactividad disminuye en proporción inversa al cuadrado de la magnitud de la distancia desde su fuente. La radioactividad neutrónica libera poca energía a menos que el neutrón impacte un átomo, con la consecuente reacción nuclear. La radioactividad particulada genera gran transferencia de energía, en función de su masa atómica, y posee limitada capacidad de penetración en los tejidos o materiales sólidos. Las partículas α tienen alta tasa de transferencia de energía en distancias muy cortas, con penetración menor a 1 mm en los tejidos. Las partículas β tienen menor transferencia de energía que las partículas α , pero penetran algunos centímetros de profundidad.

La transferencia de energía a los tejidos genera ionización y producción de radicales libres⁴ a partir de las moléculas celulares. La mayor parte de los radicales libres (OH^- y H^+) derivan del agua. Los blancos celulares de los radicales libres incluyen proteínas estructurales y homeostáticas, y los ácidos nucleicos del genoma, lo que ocasiona lesiones en la célula con carácter inmediato, intermedio y a largo plazo. La probabilidad de lesión celular se relaciona con la cantidad de energía que se transfiere a los tejidos, y la cantidad de radiación está en función del tiempo, la distancia y la protección contra la misma. La dosis de radiación se mide en unidades Gray (Gy). La exposición a grandes dosis de radiación en un corto intervalo de tiempo transfiere más energía y genera el efecto ionizante más intenso. Dosis similares en periodos más prolongados pueden tener menos consecuencias gracias

a los efectos protectores antioxidantes celulares, que potencialmente amortiguan la lesión.

Los efectos por exposición a la radioactividad dependen del tipo de radiación, la tasa de transferencia de energía y la susceptibilidad particular del tejido. Las consecuencias de la transferencia de energía y de la ionización son distintas en los diferentes tejidos; aquéllos con replicación celular activa y altas concentraciones de oxígeno y agua son los más vulnerables (médula ósea, epitelio gastrointestinal y transicional urinario).

LESIONES RELACIONADAS CON LA RADIACIÓN

Existe una secuencia de efectos fisiológicos secundaria a exposición a la radiación. La luz visible genera lesión imperceptible por radioactividad. Los rayos X, usados bajo condiciones controladas y con fines diagnósticos, generan lesión mínima en los tejidos. En el otro extremo, la detonación nuclear puede causar la muerte inmediata a quienes se exponen a la radioactividad dentro del área mortal de la explosión.

Los patrones de lesión por radioactividad pueden ser determinísticos y estocásticos. Determinístico significa que la dosis de radiación debajo de cierto grado no causará consecuencias clínicas, pero la magnitud de la lesión aumentará en proporción directa con la magnitud de la exposición que exceda el grado límite de tolerancia. Los efectos estocásticos ocurren a cualquier grado de exposición. Por ejemplo, cualquier dosis de exposición a la radiación puede ser carcinogénica y su riesgo aumenta con el grado de exposición. Una vez que hay transformación, el aumento en la dosis de radiación no afecta la gravedad de los efectos. Éstos se basan en la información de accidentes radioactivos y se dividen arbitrariamente en tempranos, intermedios y tardíos. Los síntomas y la gravedad de la lesión por exposición aguda a la radioactividad están directamente relacionados con la dosis efectiva recibida en el cuerpo entero.

Los efectos tempranos de la lesión por radioactividad tienen cuatro fases. La primera se conoce como prodrómica y consiste en náusea, vómito y fiebre. El momento de inicio de los pródromos permite predecir con mucha precisión la gravedad de la exposición, aunque puede relacionarse con traumatismos físico

o psicológico en el evento catastrófico, aun en ausencia de exposición radioactiva. La segunda fase, llamada latente, es un intervalo asintomático que sigue a la fase prodrómica, y su duración se relaciona con la magnitud de la exposición. La tercera fase, o de manifestación, es en la que se hacen patentes los signos y síntomas clínicos de lesión hematopoyética, gastrointestinal y neurológica. La fase final es la de recuperación, muy variable y depende de la gravedad de la exposición. La exposición aguda a menos de 1 Gy se relaciona con síntomas mínimos y completa recuperación; dosis entre 8 y 10 Gy, o mayores, se consideran invariablemente mortales. La exposición a dosis entre 1 y 8 Gy ocasiona síntomas agudos estratificados según la magnitud de la dosificación, y afecta la temperatura corporal, el tracto gastrointestinal y los sistemas hematopoyético y neurológico.

Los efectos intermedios son los que se identifican después de un mes de la exposición a la radioactividad. Esta categoría se refiere a las consecuencias no malignas que ocurren más de seis meses después del episodio agudo, y que incluyen problemas circulatorios, digestivos y respiratorios. Muchos de éstos se relacionan con lesión endotelial y fibrosis progresiva, consecuencia del daño radioactivo (cataratas). La mortalidad tardía de estos daños no malignos se estima en 10%. Los efectos a largo plazo aparecen muchos años después de la exposición y generalmente son afecciones malignas. El periodo latente de aparición del daño es muy prolongado. En adultos, por ejemplo, la leucemia aparece después de 7 a 10 años, y los tumores malignos sólidos 20 a 30 años después de la exposición. En niños, la leucemia y el cáncer papilar tiroideo pueden aparecer a los tres y cinco años luego de la exposición, respectivamente.

El riesgo de carcinogénesis a largo plazo en pacientes expuestos a la radioactividad parece ser mínimo. Un estudio analizó la incidencia de leucemia y tumores malignos sólidos en las poblaciones de Hiroshima y Nagasaki⁵ hasta 1990, y se encontró que la incidencia acumulativa de leucemia fue de 0.3% en la población radiada, comparada con la tasa esperada de leucemia para la población general de 0.2%. También se observó que los tumores malignos sólidos aparecieron en 9% de los supervivientes, en comparación con su tasa esperada de 8.4% en la población no radiada.

TRAUMATISMOS CONCOMITANTES

Es probable que la exposición aguda a la radioactividad sea concomitante con traumatismos y quemaduras. Después de la detonación nuclear, el número y la magnitud de lesiones físicas y radioactivas son significativos. La energía cinética de la onda de choque explosiva ocasiona un número importante de daños. Según Fry y colaboradores,¹ el radio estimado como dosis mortal media radioactiva después de la explosión nuclear de 1 kilotón es cercano a 900 pies, y sólo incluye muertes por lesiones debidas a la onda explosiva y a los misiles secundarios. La energía térmica ocasiona quemaduras cutáneas y lesión por inhalación. El radio estimado como dosis mortal media de radiación térmica posterior a la detonación nuclear de 1 kilotón es cercano a los 2,000 pies. Las lesiones no mortales pero de alta gravedad pueden ser numerosas en la periferia del radio señalado y dependen de la densidad poblacional.

Los residuos del material nuclear en el sitio de la detonación ponen en riesgo de exposición radioactiva secundaria, lo que depende de la magnitud de la catástrofe y de las condiciones climáticas predominantes. Un individuo con lesiones traumáticas, casi siempre combinadas con térmicas, no mortales, puede sufrir exposición radioactiva mortal a los residuos de material nuclear mientras espera la atención médica.

ABORDAJE Y MANEJO DE LAS LESIONES POR RADIACIÓN

Fry y colaboradores,¹ en la revisión colectiva del Colegio Americano de Cirujanos, informan que el manejo médico de las víctimas de exposición a la radioactividad sólo es apropiado cuando se planea su atención médica antes del evento. La respuesta médica de emergencia, evacuación de las víctimas, *triage* efectivo, diseño de áreas funcionales de recepción para víctimas, descontaminación y muchos otros aspectos del manejo del desastre requieren planeación. Como algunos proveedores de asistencia primaria o instituciones de atención médica pueden afectarse por la catástrofe, el manejo médico puede complicarse y ser un verdadero reto. El Plan de Contingencia para Incidentes por Armas de Destrucción Masiva, desa-

rollado por el FBI en Estados Unidos,⁶ exige que el personal que responda al desastre en el sitio del evento porte vestimenta protectora y guantes, y cuente además con dispositivo dosimétrico para la radiación.

En caso de catástrofe radioactiva en áreas urbanas, el *triage* adquiere gran importancia. Los pacientes con lesiones físicas más graves y expectativa razonable de supervivencia deben ir directamente a las instituciones con mayor capacidad de atención médica. Si el número de víctimas excede la capacidad de atención médica, los pacientes con menor o nula probabilidad de supervivencia se seleccionan para tomar la decisión de no evacuarlos. Como la transferencia interhospitalaria no es práctica durante la catástrofe, es importante seleccionar adecuadamente a los pacientes en el sitio del desastre para evacuarlos a una instalación sanitaria definitiva. Como no se puede estimar la magnitud de la exposición de las víctimas a la radioactividad en el sitio del desastre, no debe usarse como criterio de evacuación. Las víctimas con lesiones menos graves y supuesta exposición significativa a la radioactividad, o ambas, requieren evacuarse a servicios médicos temporales (gimnasios o tiendas de campaña con médicos asignados a su cuidado), donde puedan anotarse en lista como parte del proceso de atención médica escalonada. Se requieren planes gubernamentales para la desocupación masiva de camas de hospitales con la intención de atender al mayor número posible de pacientes en estado grave.

Lesiones físicas

En la catástrofe nuclear los pacientes lesionados tendrán grados desconocidos de radiación. Las lesiones por explosión, las penetrantes por misiles secundarios o por colapso de estructuras y las térmicas generan amplia variedad de traumatismos. Desde su abordaje inicial, en el arribo al hospital, la víctima de lesión por radioactividad debe evaluarse conforme a los protocolos establecidos en los manuales de los cursos Pre-Hospital Trauma Life Support® (PHTLS) y Advanced Trauma Life Support® (ATLS). Las prioridades de atención (evaluación primaria, resucitación y evaluación secundaria) deben establecerse y desarrollarse integralmente. Las quemaduras se desbridan y protegen en forma estándar. El paciente con exposición aguda a la radioactividad se maneja

igual que cualquier otro paciente lesionado,⁷ después de descontaminación efectiva y transferencia a la unidad de traumatismos.

Las heridas abiertas y las quemaduras pueden tener partículas radioactivas embebidas en el tejido. Deben tratarse en forma estándar, con aseo local y desbridamiento. Sin embargo, en los casos en que la cicatrización de la herida sea un problema serio se recomienda desbridar intensivamente y cerrar en forma primaria. La cantidad de radioactividad dentro de la herida tiene riesgo mínimo o nulo para quienes prestan el servicio médico.

Lesiones radioactivas

Aun cuando las condiciones del área y la estabilidad del paciente lo permitan, se requiere trasladar a las víctimas a una zona distante para limitar la exposición adicional a la radioactividad. Se necesita descontaminar a los pacientes antes de su llegada a las instalaciones médicas e idealmente remover las partículas externas en el sitio en que fueron encontrados, lo que elimina casi por completo el riesgo de exposición radioactiva a quienes prestan la atención médica. Debe retirarse la ropa de la víctima e irrigar el cabello y la superficie cutánea con mangueras o regaderas improvisadas. La temperatura del agua para la irrigación es importante: la demasiado caliente causa vasodilatación y aumento en la captación de radioactividad, la excesivamente fría favorece el atrapamiento de partículas radioactivas en la piel contraída. Después debe envolverse al paciente en una sábana limpia para permitir su traslado, la envoltura debe ser suficiente para evitar hipotermia y permitir el acceso a la evaluación física del personal médico.

No existe tratamiento para disminuir la lesión tisular secundaria a exposición aguda a la radioactividad que el paciente ya ha manifestado. El manejo agudo es de soporte y sintomático, y se enfoca a mantener la fisiología normal del paciente. Deben hacerse estudios básicos de laboratorio, con especial atención al recuento hemático total y diferencial, cuenta plaquetaria y estudios de coagulación. El tratamiento de los síntomas inicia en cuanto se los detecta. La fiebre se trata en cuanto sobrepasa los 40 °C. Deben anticiparse náusea y vómito, pero no se recomienda la prescripción empírica de antieméticos, pues modifican su

emergencia clínica; una vez en curso, se administra ondansetrón o granisetron. El tratamiento de la diarrea no incluye medicación antimotilidad, sino que se mantiene la volemia hasta que ha pasado la fase transitoria de diarrea.

Los estudios hematológicos deben hacerse cada 12 horas, para identificar tempranamente cambios en la hemoglobina, recuento leucocitario total y diferencial, y perfil de la coagulación. Se recomienda obtener un espécimen de 10 mL de sangre (con heparina o EDTA) 24 horas después de la exposición, y enviarlo a análisis citogenético para determinar cuerpos dicéntricos. Éstos reflejan la presencia de cromosomas con dos centrómeros, que a su vez son signo de la magnitud de la exposición a la radiación ionizante.

El dilema más crítico es la prevención y el manejo de la infección. La radiación aguda causa inmunosupresión. El riesgo más importante de infección tiene lugar cuando la cuenta neutrofílica disminuye a menos de 0.1×10^9 células/L. La leucopenia es común, pero también se observa en pacientes con traumatismo físico sin exposición a la radioactividad. El paciente irradiado casi siempre tiene fiebre no concomitante con procesos infecciosos. Las prácticas para el control de la infección se fundamentan en que bajo cualquier circunstancia son pacientes inmunodeprimidos y neutropénicos, y que por tanto deben tomarse las medidas de precaución y protección universales esenciales. Los antibióticos deben administrarse conforme sus principios establecidos. La profilaxis perioperatoria no debe administrarse durante más de 24 horas ni prescribirse antibióticos sistémicos para prevenir infecciones pulmonares, de heridas abiertas o quemaduras. Casi nunca se utiliza la descontaminación selectiva gastrointestinal después de lesión por radioactividad. También se propuso el uso de tratamiento, como los factores estimulantes hematopoyéticos. En un intento por salvar a varios pacientes con exposición masiva a la radioactividad, después del accidente nuclear de Chernobyl, se usó el trasplante de médula ósea, pero no hay informes médicos que avalen su uso protocolizado.

La contaminación radioactiva interna es la inhalación o ingestión de material radioactivo. Las partículas inhaladas mayores a 5 μm son evacuadas

por la actividad mucociliar normal del tracto respiratorio. Las insolubles pequeñas se impactan en los alvéolos y causan fibrosis por el efecto radioactivo local. Las solubles inhaladas son movilizadas por los linfáticos pulmonares y tienen diseminación sistémica. El material radioactivo ingerido causa efectos similares. Las partículas solubles se absorben y las insolubles transitan distalmente, se eliminan en las heces y ocasionan lesión gastrointestinal. El lavado gástrico inmediatamente después de la ingestión puede reducir la dosis radioactiva. Los laxantes aceleran el aclaramiento de las partículas del tracto gastrointestinal.

La absorción sistémica de radioactividad por ingestión o inhalación puede manejarse de forma específica, según los isótopos particulares en cuestión. Por ejemplo, en caso de contaminación por isótopos de yodo radioactivo puede administrarse yoduro de potasio para bloquear su captación, y propiltiouracilo o metimazol para reducir su retención. También se ha informado la utilidad de otros agentes quelantes, como el ferrocianuro férrico para el manejo de la contaminación por isótopos de cesio radioactivo.⁸

Lesiones psicológicas

Las consecuencias psicológicas de una catástrofe radioactiva de cualquier tipo (bélica, terrorista, industrial o natural) casi siempre son devastadoras.⁹ La población en general teme mucho y comprende muy poco a la radioactividad. El apoyo psicológico necesario para tratar a las víctimas de estas catástrofes y a la población que participa en los hechos, en cualquier proporción, casi siempre agota y sobrepasa a los servicios de salud. Las estrategias de tratamiento específico para manejar a este tipo de pacientes están fuera de los objetivos de esta revisión.

CONCLUSIÓN

El impacto de una catástrofe radioactiva es devastador en todo sentido. Como la gran mayoría de las víctimas tiene lesiones traumáticas, conocer los fundamentos de la física de la radioactividad y los mecanismos fisiopatológicos de la lesión radioactiva es imprescindible para el cirujano de traumatismos que participa en el manejo integral de estos pacientes. Estos cirujanos deben involucrarse y asumir las posiciones de liderazgo en el sistema de atención a víctimas de desastres en esta era de catástrofes radioactivas, químicas o biológicas.

REFERENCIAS

1. Fry DE, Schechter WP, Hartshorne MF. The surgeon and acts of civilian terrorism: radiation exposure and injury. *J Am Coll Surg* 2006;202:146-54.
2. Valentin J, International Commission on Radiological Protection. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. *Ann ICRP* 2005;35:1-110, iii-iv.
3. García-Núñez LM. Foro de discusión. Primer simposium de medicina militar y Reunión anual del Colegio Mexicano de Cirujanos Militares. XXIX Congreso nacional de cirugía general, Asociación Mexicana de Cirugía General, Mérida, Yucatán, México, Noviembre 2, 2005 (observaciones no publicadas).
4. Anscher MS, Chen L, Rabbani Z, Kang S, et al. Recent progress in defining mechanisms and potential targets for prevention of normal tissue injury after radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;62:255-9.
5. Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M, et al. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990. *Radiat Res* 1996;146:1-27.
6. Federal Bureau of Investigation. Weapons of mass destruction incident contingency plan. Washington, DC: Federal Bureau of Investigation; 1998. Disponible en: www.fbi.gov. Consultado en enero 20 de 2006.
7. Hirsch EF, Bowers GJ. Irradiated trauma victims: the impact of ionizing radiation on surgical considerations following a nuclear mishap. *World J Surg* 1992;16:918-23.
8. Leikin JB, McFee RB, Walter FG, Edsall K. A primer for nuclear terrorism. *Dis Mon* 2003;49:479-516.
9. Mettler FA Jr, Voelz GL. Major radiation exposure -what to expect and how to respond. *N Engl J Med* 2002;346:1554-61.