

LA PROTECCION FRENTE A LAS RADIACIONES PENETRANTES

por el

DR. IGNACIO GARCÍA VALDECASAS

El problema de la protección frente a las radiaciones de corta longitud de onda ha desbordado el estrecho campo de una especialidad sanitaria. Las grandes masas de personal laborante que requieren los centros de producción e investigación de energía nuclear, de una parte, y los terribles efectos de los impactos atómicos en las infortunadas ciudades japonesas, de otra, han dado lugar a una revisión a fondo de los problemas biológicos que se suscitan por la acción de las radiaciones, y de la protección que hay que realizar contra ellas, teniendo ya esta última su reflejo en la legislación de los países más avanzados.

Concretamente, el problema se centra en los gabinetes radiológicos sanitarios o industriales, y en las instalaciones de energía nuclear.

Los dos problemas iniciales a resolver son: 1.º Determinar la dosis biológicamente tolerable, y 2.º Los medios de valorar, investigar y medir esta dosis.

Se define la dosis tolerable, como el máximo de radiación que puede soportar una persona sin daño alguno para su salud y para su descendencia, durante la jornada de trabajo. Hay que distinguir la dosis tolerable en irradiación total y la dosis tolerable parcial; cuando la acción de las radiaciones actúa en una región limitada del organismo, en uno y otro caso, el valor de la misma es distinto.

HISTORIA.—La determinación de la dosis tolerable va estrechamente unida al desarrollo de la radiología. Los efectos dañinos de la radiación los experimentó en su propio cuerpo Pedro Curie; muchos radiólogos de las primeras generaciones padecieron y sucumbieron al efecto de las radiaciones. Hacia el 1920, las grandes figuras de la radiología se preocuparon por determinar una dosis de tolerancia dentro de la cual el organismo no sufriera los efectos nocivos de la radiación; por aquella época se fijó como dosis de tolerancia la de una milésima de la dosis eritema en tres días consecutivos de trabajo. Esto fué un avance más teórico que objetivo, pues las dificultades de la

determinación de la dosis eritema que como tal dosis biológica es variable (y se hace aún más variable con las distintas calidades de radiación), dió lugar a que esta valoración de la tolerancia tuviera sólo un valor aproximativo, y no la realidad de un hecho físico exacto, y más aún refiriéndose a radiaciones fugitivas cuya relación con la dosis eritema era imposible.

El problema entró en vías de solución práctica cuando el Congreso de Estocolmo de 1928 estableció el valor de la unidad internacional, el *roentgenio* (r) y las casas comerciales comenzaron a suministrar cámaras de ionización capaces de medir con exactitud en r la cantidad de radiación.

En el Congreso de Zurich de 1934 se establece como dosis tolerable la cantidad de 0,2 r diaria. Todavía en el Congreso de Chicago de 1937, la *International Protection Commission* acepta como dosis tolerable en una jornada de siete horas de trabajo la cantidad de 0,25 r. Este valor es aceptado hasta que en 1946 nuevos hechos obligan a modificar el dintel de la dosis tolerable. En efecto, los trabajos de los Congresos de Zurich y Chicago se referían a la protección del individuo en sí mismo, de su piel, de su médula ósea, etc., pero sin tener en cuenta en la protección la posibilidad de alteraciones herenciales por mutaciones genéticas, y la presentación en plazo más o menos largo (nunca lejano para el sentido permanente de la especie) de seres anormales. En 1946, la *Advisory Committee On X Ray and Radiation Protection* rebaja el valor de la dosis tolerable a 0,1 r por jornada de trabajo. Poco después, la *Sociedad Francesa de Radiología* acepta el valor de 0,1 r como dosis de tolerancia por día de trabajo.

Todavía en 1949, el *National Committee on Radiation Protection* rebaja aún más, a 0,3 r semanales, no pudiendo sobrepasar la dosis de 0,05 r por día (1).

Este valor aceptado y aconsejado por el Congreso Internacional de Londres de 1950 hasta la fecha actual, no ha sido modificado. La legislación alemana, la más moderna de todas las consultadas (ley de octubre de 1953), lo acepta totalmente.

Dadas las muy diversas cualidades de radiación, Failla propuso y ha sido aceptado, el *roentgenio* equivalente energético (r. e.) referido a la energía absorbida; en este caso, el r. e. es la cantidad de radia-

(1) El valor 0,3 r. semanal se refiere a medición hecha en el aire, que corresponde a 0,5 r. en la superficie de la piel y a 0,3 r. a la profundidad de los llamados tejidos críticos o de constante renovación (genitales, médula ósea y ganglios).

ción ionizante que corresponde a una absorción de 83 ergios por gramo de tejido, estableciendo así la llamada por Faila "dosis integral", ya que en un roentgenio de radiación de diagnóstico y en otro de radiación de un betatron, su absorción es distinta y, por tanto, diferente su magnitud energética.

En resumen, la dosis tolerable propuesta últimamente por los Congresos de Radiología y aceptada ya por la legislación moderna es:

EXPOSICIÓN TOTAL DEL CUERPO.—"En circunstancias en que se debe exponer el cuerpo entero de manera indefinida a radiaciones X o gamma de *quantum* de energía inferiores a 3M. eV., la dosis máxima tolerable es de 0,5 r por semana. Esta dosis corresponde a 0,3 r por semana medidas en el aire.

En el caso de radiaciones beta de alta energía, la exposición máxima tolerable de la superficie del cuerpo durante una semana será el flujo de energía de radiación beta, tal, que la absorción por gramo de tejido superficial equivalga a la absorción de la energía de 1,5 roentgenios de rayos gamma duros.

EXPOSICIÓN PARCIAL.—"En el caso de exposición de manos y antebrazos a las radiaciones X, gamma y beta, la dosis tolerable máxima será de 1,5 r por semana (o su equivalente energético) en la capa basal de la epidermis y definida convencionalmente como situada a una profundidad que corresponde a 7 mg./cm.³"

Esta dosis tolerable viene a ser 10^3 veces mayor que la radiación cósmica que un individuo adulto recibe normalmente a la orilla del mar. Esto nos lleva a la duda de si aun estas "dosis tolerables" no implicarían un daño grave sobre los genes individuales y la posibilidad de que a lo largo de varias generaciones se pudieran producir mutaciones genéticas peligrosas para la supervivencia de la especie. Estas dudas quedan aclaradas a la luz de los actuales conocimientos de biogenética, que presentan el peligro como nulo o muy remoto, sin que por otra parte, se pueda afirmar que el organismo quede totalmente exento de perjuicio. Müller ha demostrado que por poseer las alteraciones hereditarias un carácter recesivo, las consecuencias genéticas sólo se dan cuando un gen alterado se encuentra con otro igualmente dañado, y calculado con arreglo a la ley de probabilidades los posibles reencuentros de dos genes mutados, ha calculado que, en el peor de los casos, se necesitarían de 30 a 100 generaciones, o sea, de 700 a 3.000 años para que apareciera una anomalía de carácter recesivo.

Peligro remoto, pero no totalmente imaginario, si tenemos en cuenta que este tiempo de latencia se acorta extraordinariamente al aumentar las dosis, y la posibilidad de reencuentros de genes en grandes masas irradiadas es una probabilidad evidente.

INVESTIGACIÓN DE LAS RADIACIONES FUGITIVAS Y MEDICIÓN DE LA DOSIS TOLERABLE.—Las severas medidas adoptadas por los americanos en sus grandes instalaciones de energía nuclear en defensa de las masas laborales que en ellas trabajan, han resuelto, en forma absoluta, el problema de la investigación de las radiaciones fugitivas y la medición de la dosis tolerable habiéndose establecido normas fijas de trabajo y condiciones estables de protección.

Los medios de investigación y medida son: la película radiográfica dental y las micro-cámaras de ionización; haremos sólo mención de la pantalla radioscópica ampliamente usada hace años, pero que, en la actualidad, por su falta de rigor científico frente a la exactitud de otros medios, apenas si se usa.

La película dental es muy usada en los trabajos de energía nuclear, evitándose con ella gran cantidad de accidentes radígenos. Esta película va introducida en un cajetín en que uno de sus bordes va protegido con una lámina de plomo fenestrada con un número correspondiente a la persona que lo usa; en otro borde lleva un filtro de cadmio; la parte central es libre; esta parte central es impresionada por radiaciones gamma y beta; el borde recubierto por cadmio, sólo por radiación gamma. En las instalaciones roentgenológicas, este filtro de cadmio es sustituido por una lámina muy fina de cobre, que permite orientarnos sobre la dureza de la radiación absorbida. Estas películas se colocan en varios sitios del cuerpo del personal habitual en el departamento radiológico, llevándolas durante dos a tres días, al cabo de los cuales se revelan en líquidos de composición y temperaturas iguales y se comparan con una escala patrón, con lo que por la intensidad del ennegrecimiento nos da el valor de la dosis absorbida. Las investigaciones llevadas a cabo seriadamente por Coliez en diversos gabinetes de radiodiagnóstico de los Hospitales de París, han demostrado que era frecuente se rebasara la dosis de 0,5 r por jornada de trabajo, por lo que ha sido preciso reforzar las medidas de protección.

Las micro-cámaras de ionización nos dan una medida rigurosa-

mente exacta de la dosis absorbida, y son el más precioso auxiliar para descubrir las radiaciones fugitivas.

América ha construido en gran escala, para las instalaciones atómicas, una micro-cámara en forma de estilográfica (el *Keleket*, es el nombre de uso común); su manejo es sencillísimo; lleva una escala con un índice que se observa por transiluminación, con un total de doscientos milirroentgenios (0,2 r). El personal lo lleva prendido en la ropa y fácilmente al final de la jornada puede anotar la radiación percibida. También se coloca en distintos puntos de las salas de trabajo, midiendo la radiación que en una jornada normal de trabajo se puede recibir, sirviéndonos para determinar los "sitios prohibidos" al personal, cuando la instalación Roentgen está trabajando.

Parecida a la micro-cámara descrita es el minómetro de Victoreen, utilizado en Francia, y las cámaras de Sievert, utilizadas en Inglaterra; sin embargo, parece ser que no son tan cómodas y sencillas como el *Keleket*.

Ultimamente Massiot ha construido un microdosímetro, cuyo fundamento es idéntico a los anteriores, pero cuya carga es fácil y su lectura instantánea, dándonos las dosis en μ r/segundos, cuyo valor hay que tener en cuenta cuando se trata de trabajos continuos como la radioterapia, o alternos como la radiografía.

En la práctica, en los grandes servicios radiológicos, se entrega a cada miembro del personal, antes del comienzo del trabajo, una micro-cámara numerada para poder identificarla después, y al cabo de tres días se hace la lectura de todas ellas, pudiendo, de esta forma, el Jefe del Servicio conocer el estado de protección del personal a sus órdenes y estudiar las circunstancias que hayan concurrido en el personal superdosificado, para corregir los defectos de protección que existan, o llamar la atención del mismo cuando la causa estribe en abandono o despreocupación de la persona; haciendo estas revisiones periódicamente se consigue una eficacia en la protección y una disciplina en el personal auxiliar, que es la mejor garantía de su salud.

Para detectar las radiaciones fugitivas en las instalaciones de radioterapia o bien en los enfermos portadores de radium o isótopos radioactivos, cuyo contacto o vecindad con el personal auxiliar es inevitable, se ha construido en Norteamérica un aparato que nos suministra instantáneamente la intensidad de la radiación en milirroentgenios hora (m. r. h.), que se perciben a cualquier distancia de un enfermo portador de un aparato radioactivo o en la vecindad de una instala-

ción de diagnóstico o de terapia roentgeniana. Se conoce este aparato con el nombre de *cuti-pie* y en Francia como *ionómetro I. E. 49*; tiene una cámara de ionización cilíndrica en forma de pistola, construída en baquelita, en uno de cuyos lados lleva una escala a tres sensibilidades, en la que se puede leer en milirroentgenios hora la radiación a investigar; es alimentada indistintamente por pila o por corriente del sector; su manejo es cómodo, basta dirigir la extremidad tubular en la dirección que se desea investigar y hacer la lectura inmediata. Se ha podido comprobar en los grandes centros anticancerosos que, en la aplicación del radium e isótopos radioactivos, tanto el médico como el personal auxiliar se exponen innecesariamente, un tiempo inútil, a la acción de las radiaciones.

Con estos controles rigurosos, cuya periodicidad debe ser obligatoria en todos los grandes centros radiológicos, es como únicamente se puede llegar a la perfección de los medios de protección y también —y esto es de la mayor importancia— a la educación y disciplina del personal para que no se exponga innecesariamente en la vecindad de las fuentes de radiación, pudiendo conseguirse aun en los grandes centros de trabajo que la dosis recibida quede por debajo de la dosis tolerable herencial, sin disminuir la jornada de trabajo.

NORMAS Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Sobre el personal.

Toda persona adscrita a un servicio radiológico debe ser especialmente calificada; ha de poseer en alto grado el sentido de la responsabilidad, tanto el médico que en definitiva maneja agentes de elevada toxicidad, como el personal auxiliar que ha de cuidar además de instalaciones de elevado coste.

Al director del Servicio hay que confiarle la protección propia del personal auxiliar, dotándolo de los medios necesarios para la investigación y medida de las radiaciones y exigirle la responsabilidad en el cumplimiento de ella.

El mayor enemigo de la protección, es la despreocupación y el abandono que se tiene frente a la radiación; gran parte de los médicos que conllevan lesiones graves de radio-dermitis comenzaron su actividad radiológica en tiempos en que el número de víctimas por la radiación era ya numeroso y conocido, y a pesar de ello han adquirido las lesiones que padecen. Es obligado que el director del Servicio im-

ponga una disciplina enérgica frente a la radiación y revise periódicamente al personal de la misma.

Cada tres meses debe ser hecho un análisis de sangre, y si se presentan signos de alteración, suspender inmediatamente la actividad radiológica, para reemprenderla si al cabo de un mes o dos de vida higiénica ha reconstruido la imagen normal hematológica, pero para suspenderla definitivamente si así no sucede. En las salas de servicio deben exponerse sucinta y visiblemente los consejos más elementales sobre protección.

Ninguna persona adscrita a un servicio radiológico debe exponerse por ningún motivo al haz directo de radiación. Debe colocarse lo más lejos del tubo de rayos X funcionando, y, desde luego, siempre fuera del "sitio prohibido". En el suelo de la habitación o en las paredes de la misma debe acotarse con rayas permanentemente visibles los límites de los "sitios prohibidos", dentro de los cuales el personal recibiría una intensidad de radiación superior a la dosis tolerable. Si esto no pudiera conseguirse, se colocarán pantallas de protección, con espesor suficiente de material protector, para reducir la radiación a los límites tolerables.

El personal será conocedor de los peligros inherentes a la radiación y a la manera de evitarlos.

Sobre los materiales de protección.

El plomo es el metal que reúne las condiciones de solidez, densidad y peso atómico que le hacen el más apto para la protección contra las radiaciones fugitivas. En sustitución del plomo se usa a veces el hierro, minerales de hierro y de bario; todos ellos tienen su equivalencia con el espesor del plomo perfectamente conocido.

Para elegir el espesor en plomo de protección, hay que tener en cuenta la calidad y la intensidad de la radiación funcionando la instalación al máximo del rendimiento, y también la distancia del tubo a la pared protegida; por esto es erróneo señalar, como hasta hace poco se venía haciendo, el espesor del plomo en función del voltaje, ignorando los factores intensidad y distancia, que son igualmente fundamentales; cualquier obra de radiología actual tiene gráficos que nos dan los espesores en plomo, en función de estas tres magnitudes.

La protección en radiodiagnóstico.

La sala de trabajo debe ser amplia, lo menos de veinticinco metros cuadrados para un puesto de trabajo, y quince metros cuadrados más

por cada puesto de trabajo que se añada; la altura de techo será lo menos de tres y medio metros; el suelo debe ser de material aislante.

Las paredes deben ponerse en colores claros, la temperatura debe mantenerse entre los 18 y 22 grados; debe tener huecos al exterior, estar dotada de aparatos renovadores de aire, en proporción al tamaño de la habitación.

Se ha de procurar que en la continuidad de las salas de trabajo no haya instalaciones con personal habitual. En este caso hay que proteger la pared medianera.

Los tubos de rayos X deben estar envueltos en una capa de protección, en forma tal que funcionando al máximo de carga con el diafragma cerrado, la radiación fugitiva sea inferior a la dosis tolerable. Deben estar los tubos dotados de un filtro permanente de dos milímetros de aluminio.

La distancia foco-piel en radioscopia no debe ser inferior a 40 centímetros. En casos en que los tubos no estén totalmente protegidos, deberá proveerse el operador de una protección adicional; de todas formas ha de haber, a disposición del personal, pantallas y mandiles de protección de forma que, con un tiempo máximo de trabajo, con el tubo conectado, de quince horas en radioscopia, y de hora y media, en radiografía, a la semana, la dosis recibida quede por debajo del nivel de tolerancia.

El cristal de la pantalla radioscópica deberá tener un espesor suficiente para reducir la radiación a los límites de la dosis tolerable.

El tubo tendrá un diafragma para limitar el haz de radiación al mínimo imprescindible. Cuando el diafragma esté abierto al máximo, el haz de radiación no rebasará los contornos de la pantalla. Esta tendrá en sus bordes un dispositivo metálico o en goma plomada, con un espesor equivalente a 0,35 milímetros, que proteja al observador de las radiaciones secundarias.

Los guantes protectores de goma plomada han de tener un espesor equivalente de 0,35 milímetros y recubiertos por dentro con un forro de algodón interior, que absorba la radiación secundaria del plomo. Deben existir dispositivos auxiliares de compresión para no hacer uso de la mano, sino en caso de extrema necesidad.

Al practicar la radioscopia, el operador deberá sistematizar la técnica de exploración y no prolongarla, por ningún concepto, más allá de lo estrictamente necesario.

Para la práctica de las radiografías habrán de acotarse con señales evidentes los "sitios prohibidos", dentro de los cuales, en un tiempo de hora y media semanales de funcionamiento del tubo, se recibe una dosis superior a la dosis tolerable. En caso de que el reducido tamaño de la habitación no lo permita, se utilizarán pantallas protectoras tras las cuales se refugiará el personal.

El tubo irá dotado de diafragma y localizadores que limiten el cono de radiación.

Ningún miembro del personal radiológico ayudará a sujetar o sostener a un enfermo; este menester lo hará un familiar o persona extraña al departamento.

La protección en roentgenoterapia.

La habitación de tratamiento se ha de procurar que sea espaciosa, teniendo en cuenta que la distancia es el factor más influyente en la debilitación de la radiación furtiva; debe tener ventilación directa al campo, a jardines, o terrazas no frecuentadas; las paredes fronterizas con habitaciones habitualmente ocupadas, también serán protegidas, así como el suelo y el techo, sobre todo el primero, que ha de recibir la radiación directa.

Los mandos del aparato estarán separados de la sala de tratamiento por una pared perfectamente protegida y fenestrada por una abertura para la observación del enfermo; esta ventana irá protegida por un vidrio cuyo espesor equivalente en plomo sea igual al usado en la pared de separación.

El espesor de protección del plomo será calculado con el rendimiento máximo de la instalación y la distancia del tubo a la pared.

Si se utilizan clavos, tornillos, etc., para fijar la plancha de plomo a la pared, la cabeza de aquéllos se cubrirá con una pequeña rodela de plomo, que impida el paso de la radiación fugitiva a través del hierro, menos absorbente que el plomo.

Las planchas de plomo se pondrán en el interior de la pared; cuando por cualquier circunstancia tengan que ponerse en la cara exterior de la pared de separación, se forrarán por tablas de madera que absorban la radiación secundaria del plomo.

Roentgenoterapia por contacto.—Con los aparatos de contacto, que se han generalizado tanto, el problema de la protección se dificulta extraordinariamente, ya que en la mayoría de las ocasiones el radiólogo

ha de mantener, con sus propias manos, el soporte del tubo. El hecho de que se manejen voltajes reducidos de 30 a 50 kilovoltios, y los tiempos de irradiación sean muy cortos, inducen falazmente al radiólogo a pensar que el riesgo es mínimo; sin embargo, de los trabajos de Quimby y Coliez se desprende que un operador que mantenga el soporte de tubo en la mano recibe la dosis de tolerancia 0,05 r en sólo un minuto de irradiación.

Esta superdosificación se aminora notablemente, colocando una pantalla circular de 0,5 milímetros de plomo en el soporte del tubo, colocando sobre la lesión a tratar una lámina de plomo fenestrada en la lesión, y que recubra las partes circundantes; si a pesar de ello y por un trabajo excesivo, los detectores usuales indicaran una percepción mayor de la dosis tolerable, se puede intentar aumentar la protección con mandiles de goma plomada, o en último término, al alcanzar la dosis tolerable, que continúe el trabajo un auxiliar sanitario.

Roentgenoterapia de supervoltaje.—En las instalaciones a un millón de voltios, como las que hace año funcionan en el *Memorial Hospital* de Nueva York y en el *S. T. Bartolomew's Hospital* de Londres, los tubos tienen una protección enorme; el anticátodo va recubierto con una gruesa capa de mercurio o de plomo, que en la parte central alcanza un grosor de 15 centímetros, y de 5 centímetros en las partes distales, con un diafragma de 6,35 centímetros de espesor de plomo. Las salas de tratamiento están separadas de la habitación de mandos por un muro muy grueso, relleno de material de barita, de forma que el contador Geijer no detecta paso absoluto de radiación.

El problema en estas instalaciones es que la reposición de enfermos ha de hacerse con el tubo funcionando, y aun con todas las precauciones de protección, es inevitable la absorción de radiaciones que, contabilizadas por segundo, son superiores a la dosis tolerable, aun cuando la dosis por día queda por dentro de los límites biológicos.

El problema de la protección se complica extraordinariamente cuando pasamos a los grandes voltajes, como el betatron de pequeña energía, o el betatron de gran energía de cien millones de voltios, o a los grandes aparatos contruídos por los americanos con fines nucleares, el sincroton de electrones de trescientos millones de voltios, y los sinerotones de iones y aceleradores lineales de mil y hasta de diez mil millones de voltios.

La protección contra el radium.

Para el radium fuera de servicio.—Dado el gran valor del radium, este debe guardarse en una caja fuerte, a ser posible empotrada en un muro exterior, o en la pared de un sótano y en habitación habitualmente no ocupada. El radium estará rodeado en todas direcciones por un espesor de plomo en relación con la cantidad de radium a guardar. El Congreso Internacional de Londres estableció la siguiente tabla de espesores de plomo, de protección :

Cantidad de ra- dium filtrado por 0,5 mm. P. T.	Espesores de plomo que corresponden a la dosis tolerable a las siguientes distancias:				
	20 cm.	50 cm.	1 m.	2 m.	5 m.
Gramos	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.
0,1	10	6,0	3,5	1,0	0,0
0,2	11,5	7,5	4,5	2,0	0,0
0,5	13,5	9,5	6,5	4,0	0,5
1,0	15,5	11,0	8,5	5,0	1,5
2,0	16,0	12,5	9,5	6,5	3,0
5,0	18,0	14,5	11,5	8,5	4,5
10,0	19,5	16,0	13,0	10,0	6,0

Dentro de la caja de protección, el radium debe estar repartido en varios compartimentos que mantengan su correspondiente espesor de plomo, pues si es una gran cantidad y está todo junto, el operador al abrir el depósito recibirá una llamarada de radiación peligrosa e inecesaria.

El radium en servicio.—El transporte del radium debe hacerse en caja de plomo dotada de un asa larga que lo separe de la mano ; cuando la cantidad a transportar sea de consideración, debe hacerse en carrillos, de tal forma que se guarde una distancia no inferior a 50 centímetros de quien lo lleva.

Deberá disponerse de una habitación reservada únicamente para la preparación de los dispositivos de radiación.

Para proteger el cuerpo del preparador, se utilizarán siempre pinzas largas y, además, se interpondrá una pantalla de plomo de espesor no inferior a 2,5 centímetros; la proximidad al radium sólo debe durar lo que se invierta en preparar el dispositivo, y se ha de procurar que este tiempo sea el mínimo posible.

Todo trabajo en proximidad con el radium, que no requiera habilidad especial o que se aprenda en corto espacio de tiempo, debe ser realizado por personal eventual y por un espacio de tiempo no superior a seis meses; esto se tendrá en cuenta especialmente con las enfermeras.

Los recipientes que contienen radium deben ser probados periódicamente para estudiar posibles fugas de radon, las cuales, a más de ser peligrosas, modifican totalmente la dosis de radiación a administrar. Coliez ha medido la radiación que recibe un sujeto a un metro de distancia de un cofre abierto, conteniendo un gramo de radium, y es del orden de 700 ml. r.; colocando una microcámara en la mano de una enfermera que prepara con pinzas largas en sondas o en corpósito 50 miligramos de Ra el., recibe al final de la manipulación 0,15 r.

Estos dos ejemplos nos confirman la necesidad de que en todos los centros anticancerosos, el personal esté dotado de películas de control y de microdosímetros que permitan reconocer la existencia de superdosis a veces inevitables; cuando tal ocurra, hay que conceder permisos al personal superdosado para la restauración de los "tejidos críticos", y vigilar la fórmula sanguínea para que, a la más pequeña alteración permanente, el personal sea alejado definitivamente del servicio.

El radium en el enfermo.—El portador de un preparado radífero no debe estar alojado en las salas generales, sino en habitaciones preparadas especialmente. La presencia de varios enfermos portadores de radium en una sala provoca en ésta una atmósfera de radiación que puede ser peligrosa para el personal de enfermeras que habitualmente está en la misma. De los trabajos hechos por Simone Laborde, se deduce que a un metro de un enfermo portador de cuarenta miligramos de Ra el., la intensidad de radiación es de 12 r. hora.

Los enfermos portadores de grandes cantidades de radium estarán en habitaciones amplias, aislados, alejados del personal habitual, con ventanas de cristal plomado, para que la enfermera dedicada a la vigilancia del enfermo pueda realizar su cometido sin entrar de continuo en la habitación.

Como en todos los demás servicios radiológicos, en éste, con más fundamento, por la índole manual del manejo de la fuente de radiación, el director del servicio ha de vigilar estrechamente el estado de protección del personal; debe dotársele, por tanto, de los medios adecuados para conseguir una protección adecuada.

La protección frente a los isótopos radioactivos.

El doble uso de los isótopos en los laboratorios de Biología, de una parte, y en Terapéutica, de otra, y las distintas calidades de radiación que emiten, y su distinto estado físico, hacen que en la protección hacia ellos, aparte de las normas comunes a todo cuerpo radioactivo, hayan de tomarse precauciones singulares, no comunes en todos los casos. El manipulador habrá de tener en cuenta la característica y estado físico de cada isótopo y adaptarse a los mismos.

Las precauciones a adoptar en el manejo de los isótopos radioactivos han sido establecidas en los Estados Unidos por la *Comisión de Energía Atómica de Oak-Ridge*.

En resumen, dicen así: Ningún individuo podrá ser expuesto, de una manera total o limitada, a una dosis de radiación superior a 0,05 r por día. Los niveles de tolerancia para los radioisótopos emisores de energía beta y gamma (yodo, bario, estroncio) no deben rebasar de 10^{-7} microcurio por centímetro cúbico de aire; es necesario evacuar una habitación cuando se confirme, en ella, la existencia de una tasa superior a diez mil golpes por minuto, y colocarse una mascarilla adecuada, cuando el número de golpes minuto exceda de mil. Cada sujeto perteneciente al servicio deberá llevar dos micro-cámaras y una película dentaria conteniendo dos films de sensibilidades distintas, una muy sensible, 0,05 r, y otra menos sensible, 0,2 r, ambas recubiertas con un filtro de cadmio fenestrado, para controlar la radiación beta. Cada vez que se manipulen los isótopos será obligatorio el uso de los guantes, en el entendimiento de que estos guantes quirúrgicos no sirven para detener la radiación, sino sólo para evitar una contaminación de sustancias radioactivas en la piel; por tanto, deben quitarse con "técnica quirúrgica"; se deberán tener las uñas muy recortadas y se lavarán muy cuidadosamente antes de quitárselos. Las manos no deben lavarse con disolventes orgánicos, que hacen la piel más permeable; si se ha tenido la desgracia de contaminarse las manos, se embadurnarán durante unos minutos con una pomada de dióxido de titano, y después se lavarán cuidadosamente con agua caliente, jabón y cepillo.

Los recipientes que contienen el isótopo han de ser de sustancias no porosas y fácilmente reversibles para hacer cómoda limpieza. Queda totalmente prohibida la aspiración bucal con las pipetas. Las centrifugadoras, durante el funcionamiento, deberán cerrar herméticamente. No se deben introducir alimentos ni bebidas en las habitaciones en que existan isótopos, así como no se debe fumar cuando el aire de

la habitación esté cargado de radiación, para evitar la contaminación de las mucosas.

En los hospitales en que se tengan enfermos tratados por radioisótopos, se tendrá cuidado con la eliminación de los mismos por los emuntorios fisiológicos; en realidad, a estos enfermos se los debe aislar, pues por la expectoración, e incluso por la misma respiración, se pueden eliminar los cuerpos radioactivos.

El rigor de las precauciones defensivas a adoptar estará en proporción con la vida media, larga o corta, del isótopo utilizado.

Cantidades tolerables de isótopos radioactivos frente a la protección.

Los datos que a continuación se exponen están de acuerdo con las recomendaciones hechas por la I. C. R. P. (*Comisión Internacional de Protección Radiológica*), que, referidos a los isótopos más comunes en cuanto a la protección del personal, son los siguientes:

Para el carbono C^{14} .—Una cantidad de energía absorbida, equivalente a 0,3 r por semana, sería producida por 0,014 microcurios de C^{14} por gramo de tejido. Si la más alta proporción de carbono en cualquier tejido es el 50 por 100, la concentración máxima de C^{14} en el carbono orgánico es de 0,028 microcurios por gramo de carbono. Administrado por inhalación, el aire alveolar no debe sobrepasar esta proporción. Teniendo en cuenta que el contenido volumétrico del aire alveolar en bióxido de carbono es de 5,5 por 100, la concentración del C^{14} máxima en el aire será de 1×10^{-6} microcurios por centímetro cúbico.

Para el Na^{24} .—Una cantidad de energía absorbida equivalente a 0,3 r semanales es producida por 15 microcurios de Na^{24} . Dado el pequeño valor de su vida media, 0,8 días, se puede desear el factor de eliminación. Suponiendo una absorción completa, la concentración líquida máxima será de 8×10^{-3} microcurios/cc.

Para el P^{32} .—Admitido que el P^{32} se concentra en la médula ósea en proporción tres veces mayor que en el resto del organismo, tenemos que la energía equivalente a 0,3 r por semana en el tejido de la médula ósea se produce por una cantidad de 25 microcurios de P^{32} en la totalidad del organismo; por tanto:

- 1.º La cantidad tolerable máxima de P^{32} en el cuerpo es de 10 microcurios.
- 2.º La concentración tolerable máxima de P^{32} en medio líquido, suponiendo que se absorbe el 100 por 100 y despreciando la elimina-

ción biológica frente a la declinación radioactiva, es de 2×10^{-4} microcurios por centímetro cúbico.

Para el Co^{60} .—Suponiendo que todo el cobalto que se absorbe es fijado por el hígado, tenemos que la cantidad de energía equivalente a 0,3 r por semana es de 1 microcurio de Co^{60} . Se acepta:

1.° La concentración tolerable máxima de Co^{60} en el cuerpo es de 1 microcurio.

2.° La concentración tolerable máxima de Co^{60} en medio líquido, supuesta una absorción de 100×100 y una presencia media en el hígado de veinte días, es de 1×10^{-5} microcurios/cc.

Para el I^{131} .—La cantidad de energía equivalente a 0,3 r por semana es el 0,18 microcurio en el tiroides, que corresponde a 0,3 microcurio en el organismo. Se acepta, pues:

1.° La cantidad máxima tolerable de I^{131} en el cuerpo es de 0,3 microcurio.

2.° La concentración máxima tolerable de I^{131} en el aire, suponiendo que se absorba el 100×100 y que el 20×100 de lo absorbido pasa al tiroides, despreciando el factor eliminación frente a la declinación radioactiva, debe ser de 3×10^{-9} microcurios/cc.

3.° La concentración máxima tolerable en medio líquido, suponiendo una absorción de 100×100 y una fijación del 20×100 en el tiroides, despreciando el factor eliminación frente a la declinación radioactiva, debe ser de 3×10^{-5} microcurios/cc.

(Per "Act. Méd.", XL, 517. 1954.)