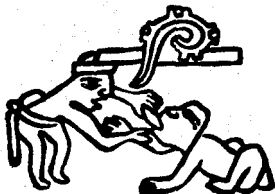


859

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ODONTOLOGIA



ALTERACIONES SOMATICAS PRODUCIDAS  
POR LA RADIACION X

T E S I S  
QUE PARA OBTENER  
EL TITULO DE  
CIRUJANO DENTISTA  
P R E S E N T A  
MARTHA DEL CARMEN RODRIGUEZ OLVERA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## TEMARIO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES HISTORICOS	2
2. ANTECEDENTES GENERALES	10
1. Tubo de rayos X	11
2. Condiciones necesarias para la generación de rayos X	17
3. Propiedades de los rayos X	20
4. Radioactividad	22
3. ALTERACIONES SOMATICAS	26
1. Efecto sobre tejidos específicos y órganos	30
A) Piel	31
B) Tracto Gastrointestinal	44
C) Huesos y Cartílagos	48
D) Organos Reproductores y Reproducción	53
4. PROTECCION RADIOGRAFICA	65
5. CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFIA	74

## INTRODUCCION

Siendo los materiales radioactivos e instrumentos productores de radiación, elementos aceptados en la sociedad moderna, se debe considerar muy importante el conocimiento de los riesgos de un manejo mal encaminado en las dosis y aplicaciones de éstos, ya que puede atraer consigo consecuencias que pueden llegar a ser fatales.

Es propósito de este trabajo, el informar, basándose en una pequeña investigación, sobre algunos casos en que la radiación puede ser causa de daños muy grandes. Y, por supuesto, el dar información sobre las precauciones que deben tomarse al trabajar con rayos X.

Los riesgos que se presentan, no interfieren con la utilización benéfica de la energía nuclear u otros campos en los que intervenga la radiación, ya que el descubrimiento de los rayos X, es y será siempre uno de los más grandes apoyos con los que cuenta la ciencia.

## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES HISTORICOS

El siglo XIX, fue un período de grandes progresos en el campo de los procesos físicos. Importantes descubrimientos fueron hechos en diversos campos, algunos de ellos dando respuesta a investigaciones de mucho tiempo; otras introduciendo nuevos fenómenos, tales como: Interferencia, Difracción y Polarización de la luz, que ya habían sido observados al principio de ese siglo.

En el desenvolvimiento moderno de la física, uno de los aspectos más importantes, es ese que habla del electrón.

La existencia de una cantidad elemental de radiación, fué sugerida por los experimentos sobre electrolisis conducidos por Faraday, los cuales indicaban que cada ion que tomaba parte en la electrolisis tenía una carga específica, siendo la más pequeña aquella cuyo ion era monovalente. Stoney ( 1874 ), intento determinar la magnitud de esta carga, utilizando para ello la cantidad de masa de plata, depositada por un Coulomb y el número N de Avogadro ( número de átomos en un gramo átomo ). A esta unidad de carga él la designó con el nombre de: "electrón". El valor obte

nido por Stoney fué inexacto, porque su valor de  $N$ , estaba equivocado.

El trabajo de Faraday en la electrolisis, ayudó a confirmar la naturaleza atómica de la materia, y la idea de la electricidad como pequeñas partículas. Faraday y Henry ( 1831 ), descubrieron el fenómeno de la inducción electromagnética, reforzando así las bases de la industria eléctrica.

Joule ( 1847 ), demostró la identidad de la energía mecánica y el calor. Maxwell, con el respaldo de los experimentos de Faraday, trabajó en la teoría de la radiación electromagnética. En ella nos explica, que una carga oscilante puede radiar energía en ondas.

En 1870, Sir William Crooks, trabajando en sus investigaciones sobre conducción de electricidad en gases, descubrió el fenómeno de los rayos catódicos. Este tipo de conducción, es similar a la conducción en líquidos, en donde ambos tipos de iones, positivos y negativos, se mueven en el proceso. Diferiendo únicamente en que antes de comenzar el proceso de conducción, existen muy pocos de los iones. La mayoría de estos son producidos como resultado de las colisiones entre las partículas en movimiento y las moléculas de gas.

Utilizó para ello un tubo de vidrio en el que se encontraban colocados dos electrones, uno negativo ( cátodo ), y frente a éste uno posi-

vo (ánodo). A una presión intermedia (aprox. 0.001 mm. de mercurio) muchos de los iones positivos atraviesan todo lo largo del tubo, sin causar colisión, y golpean el cátodo con suficiente energía para originar la emisión de un número considerable de partículas, que él observó, estaban cargadas negativamente. Estas partículas se alejaban del cátodo en una dirección, formando ángulo recto con la superficie.

J.J. Thomson confirmó esta hipótesis, mostrando que todas las partículas eran semejantes y las llamó electrones. Estudió sus propiedades para uso de la desviación de campos eléctricos y magnéticos. Utilizando para ello, un aparato como el que se ilustra en la Fig. 1.

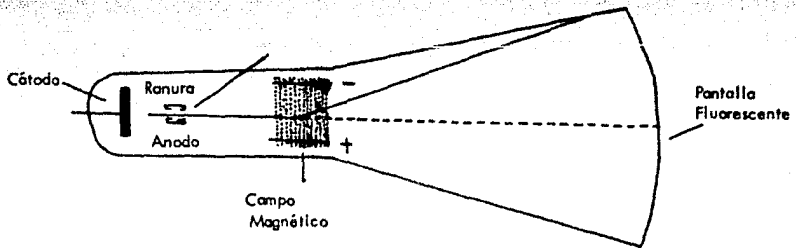


Fig. 1

El experimento de Thomson lo llevó a determinar la masa del electrón ( $9.1085 \times 10^{-31}$  kg), pero no así su carga.

Townsend, Thomas y Millikan, llevaron a cabo otro tipo de experimentos para tratar de designar la carga del electrón.

El hecho de que los rayos catódicos son realmente electrones via

jando a una velocidad muy alta y lejos del cátodo, fué demostrada mediante la fabricación del primer osciloscopio de rayos catódicos, descubierto -- por el físico Braun en 1897. ( 1 )

Descubrimiento de los Rayos X.- Así estaba la situación hacia mediados de 1895, cuando un nuevo y completamente inesperado descubrimiento tuvo lugar.

Un día de noviembre de 1895, un Profesor de Física de la Universidad de Wurzburg, Alemania, Wilhelm Conrad Roentgen, trabajando en su laboratorio en la conducción de electricidad en gases a baja presión, -- decidió cubrir el tubo de descarga con papel negro. Con el aparato en un cuarto oscuro, de pronto observó que al presionar el botón que conectaba al tubo con una bobina de inducción haciendo pasar una corriente eléctrica a través del tubo, una fluorescencia salía de éste.

Roentgen pronto descubrió que el agente que originaba ésta fluorescencia, se hallaba al final del tubo, donde los rayos catódicos chocaban contra la pared de vidrio.

En los días y semanas siguientes, Roentgen determinó para su -- gran sorpresa, que éstos rayos penetraban también la madera, los metales y otros objetos que anteriormente se consideraban completamente opacos a -- cualquier tipo de rayo.



Hubo una vez en que su mano quedó entre el tubo y la pantalla, y con sorpresa vió sobre ella la sombra de sus dedos y de su mano, con -- sombras más oscuras en el centro que correspondían a los huesos. Cuando él movía la mano, las sombras también se movían en la pantalla.

Roentgen reconoció inmediatamente la importancia de su descubrimiento, y procedió a estudiar las propiedades de la nueva radiación, -- que él llamó "Radiación X". ( 2 )

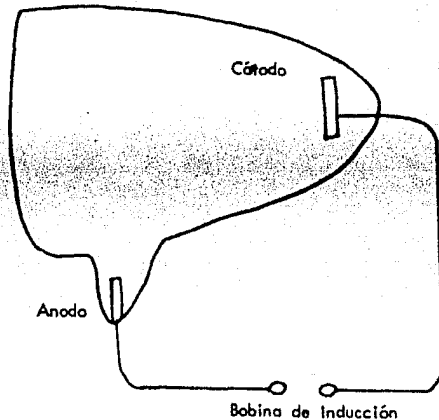


Fig. 2.- Diagrama del tubo de rayos X de Roentgen.

En los últimos días de diciembre, publicó su artículo : "Über ei ne neue Art von Strahlen" ( "Sobre un nuevo tipo de Rayos" ), para la re vista de la Wurzburg Physical Medical Society.

Para Roentgen, que tenía un profundo interés en la fotografía,-- fue fácil sustituir la pantalla por película fotográfica, revelar lo que en ella se registraba y con ello, logró hacer la primera placa radiográfica.

El 23 de enero de 1896, y gracias a la difusión alcanzada a través de la revista, se presentó la primera oportunidad de Roentgen, de demostrar su descubrimiento ante un gran auditorio. Expuso las propiedades de los nuevos rayos y cada una de las conclusiones a las que llegó, después de efectuar cada experimento con ellos.

Al final de su exposición, Roentgen pidió al anatomista Albert von Kolliker, también de la Universidad de Wurzburg, le permitiera radiografiar su mano. Kolliker aceptó y colocó su mano en el film.

Apareció entonces una imagen en éste mostrando los huesos y tejidos suaves de la mano. Kolliker propuso entonces que estos rayos debían ser llamados Rayos Roentgen, en honor de su descubridor.

Quizá el más significativo predecesor de Roentgen, en su campo fué Michael Faraday, quien en 1838, había producido una descarga de electricidad a través del espacio, en un tubo parcialmente evacuado.

Más tarde William Crooks, de Inglaterra se ocupó de producir tubos de vidrio con un mayor contenido de gas. El había descubierto en 1861, un nuevo elemento: el talio, y continuaba en la búsqueda de nuevos elementos, aún desconocidos, experimentando con estos tubos.

Después de considerables experimentos, Crooks llegó a la conclusión de que los rayos catódicos son un puñado de partículas que cargan --

electricidad negativa, que producen fluorescencia, que tienen energía cinética y que viajan en línea recta, perpendicular a la superficie del cátodo. Esto nos da la idea de que Crooks debe haber estado produciendo rayos x - al mismo tiempo, lo cual no fué conocido hasta que Roentgen, usando el mismo tipo de tubo, hizo su descubrimiento en 1895.

Al siguiente año de hacerse el descubrimiento, los laboratorios - en cada rincón del globo estaban produciendo rayos x. Probablemente, una de las primeras aplicaciones prácticas del nuevo descubrimiento, se llevó a cabo durante la guerra Hispanoamericana de 1898, cuando los rayos x sirvieron para localizar las balas alojadas en el cuerpo y las condiciones del hueso subyacente. ( 2 )

Roentgen observó, que un elemento pesado como el platino, es - un generador más eficiente de rayos x que aquel más ligero como el aluminio. Diseñó un cátodo cóncavo para concentrar los rayos catódicos en un blanco de platino colocado en un ángulo de 45°. Este diseño se consideró como standard, hasta 1913, cuando se hizo la introducción del tubo de -- Coolidge al alto vacío. ( 1 )

Durante la guerra de 1914-1918, Roentgen contribuyó con el gobierno alemán. El pasó estos años leyendo sus documentos y trabajando en sus memorias. Finalmente murió en febrero 10 de 1923.

El primer Premio Nobel de Física fué otorgado al Profesor Roentgen, en reconocimiento a su labor de investigación por el descubrimiento y estudios posteriores en el campo de los rayos x.

La luz con la que Roentgen iluminó al mundo científico, vive aún después de su muerte, y sus beneficios continúan multiplicándose. ( 2 )



Fig. 3.- Radiografía de la mano del Profesor Albert von Kolliker tomada por Roentgen el 23 de enero de 1896, en la primera conferencia pública sobre el descubrimiento de los rayos X.

## CAPITULO 2

### ANTECEDENTES GENERALES

Durante mucho tiempo, sólo se tuvieron conocimientos poco seguros acerca de la naturaleza de los Rayos Roentgen. Se les consideraba como impulsiones electromagnéticas, esto es, como una radiación semejante a la de la luz, pero con una longitud de onda no definida.

A partir del descubrimiento de la interferencia de los Rayos X, hecho por Von Laue, Friedrich y Knipping, y por los trabajos de Bragg, Debye, Scherer y otros, se sabe que la radiación Roentgen posee un espectro bien definido. Así pues, hoy en día está plenamente comprobado que los rayos Roentgen se encuentran dentro de la categoría de rayos electromagnéticos, y que si observamos el espectro formado por ellos lo situaremos, según su longitud de onda, cerca de los rayos de onda corta como se puede observar en la ilustración. ( 3 ) ( Fig. 4 )

Se dice que los rayos x están formados de pequeñas unidades de energía llamadas quanta o fotones, que se trasladan con un movimiento ondulatorio. Las longitudes de onda de los rayos x son tan cortas, que se mi

den con unidades Angstrom ( $\text{\AA}$ ). Una unidad Angstrom mide  $1/100\ 000\ 000$  - cm; las longitudes de onda de los rayos X utilizados en la radiografía diagnóstica oscila entre  $0.1$  y  $0.5$   $\text{\AA}$ . (4)

Sabemos, que entre más corta sea la longitud de onda, tanto - más penetrante y más energético será el fotón de rayos X. Cuando más - longitud de onda tiene la radiación, tanto más activamente es absorbida - por las paredes del tubo (como se explica más adelante). A ésta clase - de rayos, Roentgen los llama, a causa de su fácil absorción : "blandos" ; y la radiación se hace más energética, o sea, más "dura", cuando los electrones son frenados por sustancias más densas que el vidrio, por ejemplo, el platino y el tungsteno. Los rayos duros se sitúan alrededor de  $0.3$   $\text{\AA}$ , y los blandos alrededor de  $0.5$   $\text{\AA}$ . (3)

## EL TUBO DE RAYOS X.

La unidad básica de producción de los rayos x, es el tubo de rayos X. El primer tubo que fue usado, fue el empleado por Roentgen en 1895. Era un tubo de Crooks el cual, por supuesto, no se sospechaba - que tuviera propiedades de rayos X. Este tubo, era de vidrio, en forma de pera, en el cual había dos electrodos. La mayor parte del gas en el tubo había sido evacuado, antes de ser sellado. Estos dos electrodos, se hallan colocados en ángulo recto, uno con respecto al otro, de ésta forma

el tubo de vidrio resultaba en oposición al electrodo negativo (cátodo).

El experimento original de Roentgen consistía en excitar al cátodo a través de una corriente eléctrica, produciendo así un rayo de luz - de los llamados rayos catódicos. Estos iban directamente a través del tubo desde el cátodo, causando un resplandor, y al mismo tiempo produciendo - los rayos X, que originaban la fluorescencia con la que Roentgen hizo su observación espectacular.

Posteriormente, uno de los mayores adelantos fue colocar el -- ánodo directamente opuesto al cátodo, así el haz de electrones no afectaría la superficie del vidrio del tubo de rayos X, sino la superficie de metal del ánodo.

Pronto se descubrió que el calor desperdiciado presentaba un - problema considerable, ya que limitaba la producción de radiación X. En - entonces se observó que rodeando al blanco con una funda de cobre, conduc - tora de calor, se lograba una mejora considerable.

W.D. Coolidge, hizo la introducción del cátodo con un fila - mento caluroso, lo cual acrecentó la cantidad de electrones. Era bien sa - bido que un metal calentado hasta la incandescencia, producía electrones - cerca de su superficie. Así que Coolidge hizo uso de su nube de electro - nes colocando cerca del cátodo un filamento de Tungsteno, calentado por

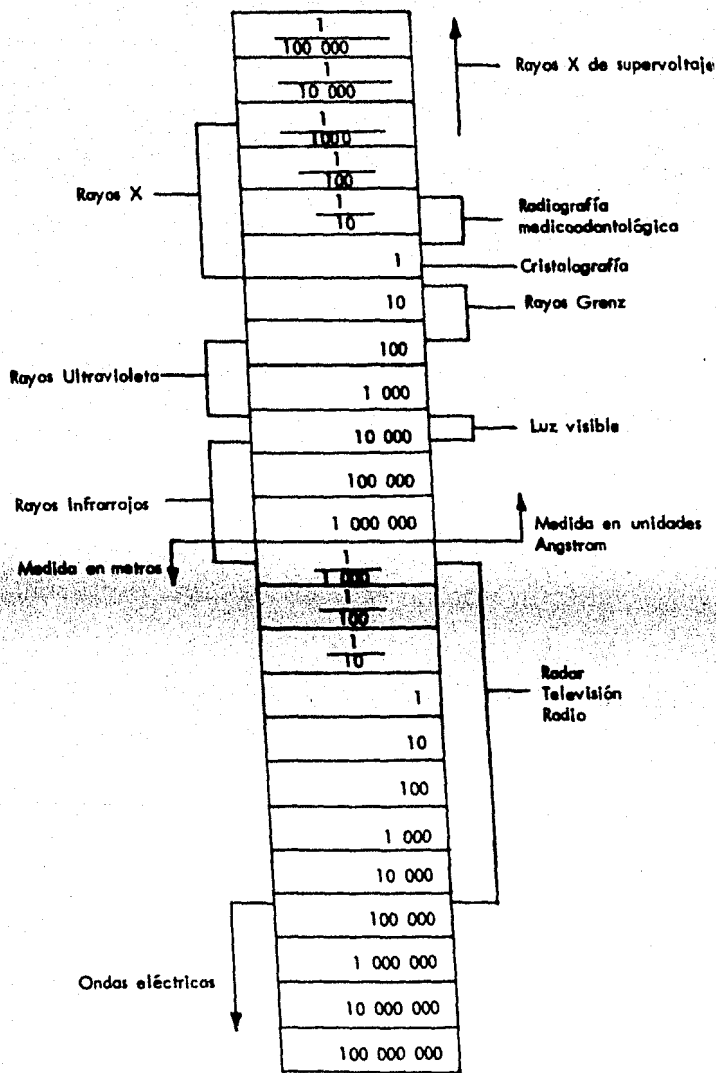


Fig. 4. Espectro electromagnético. Los límites superior e inferior de este espectro se hallan aún sin definir. Las ondas más cortas están medidas en unidades Angstrom y las ondas más largas en metros o en segundos por ciclo, es decir, el tiempo en segundos que tarda un ciclo de la onda para pasar un punto determinado.



una corriente eléctrica que se hallaba separada pero pasaba a través de -- él.

Esta técnica solo presentaba un problema : el enfriamiento del ánodo. ( 2 )

El creciente empleo de los rayos Roentgen, para fines medicina les ha sido causa de que el tubo de Rayos X, así como el conjunto de -- aparatos para la producción de corrientes de alta tensión, hayan experimen tado mejoras y transformaciones. ( 3 )

Actualmente, en los equipos modernos, ha sido resuelto el pro blema de enfriamiento del ánodo, haciéndolo girar dentro del tubo de ra yos X, mediante un radiador, a una velocidad de aproximadamente 3000 - R. P. M. Yendo a ésta velocidad, el ánodo debe ser muy delgado, ya que solo una pequeña porción de él recibe la carga completa; en cualquier -- momento de la exposición, el calor puede ser alejado, y es alejado tem-- poralmente, fuera del alcance de los rayos catódicos. Con ésto, la dife-- rencia de potencial es mayor. ( 2 )

Aún ahora, los rayos X son generados en el interior de un tu bo especial de vidrio, al vacío, debido a la detención súbita de electro-- nes o partículas negativas. ( 5 )

El tubo está provisto de dos sistemas eléctricos : el circuito --

ánodo-cátodo, y el circuito del filamento. Las fluctuaciones en el voltaje de la línea deben ser controladas, y esto se logra utilizando un autotransformador, que actúa como seccionador de kilovoltaje y que se haya combinado con un voltímetro.

El circuito del filamento del tubo de rayos X requiere un voltaje bajo y por ello se utiliza en este circuito, un transformador de disminución.

Es necesario también controlar el calentamiento del filamento, por la corriente eléctrica y para ello se utiliza un botón que va a regular los miliamperios en el cuadro de mandos del aparato.

El transformador de aumento, se utiliza para producir potenciales de hasta 100 000 voltios entre el cátodo, y el ánodo del tubo. ( 4 )

El tubo tiene en uno de sus extremos, un filamento incandescente que constituye el cátodo y que va a proporcionar una cantidad de electrones, que son acelerados y dirigidos hacia la masa de material fluorescente ( tungsteno ), que constituye el ánodo o blanco. ( Fig. 5 ) ( 5 )

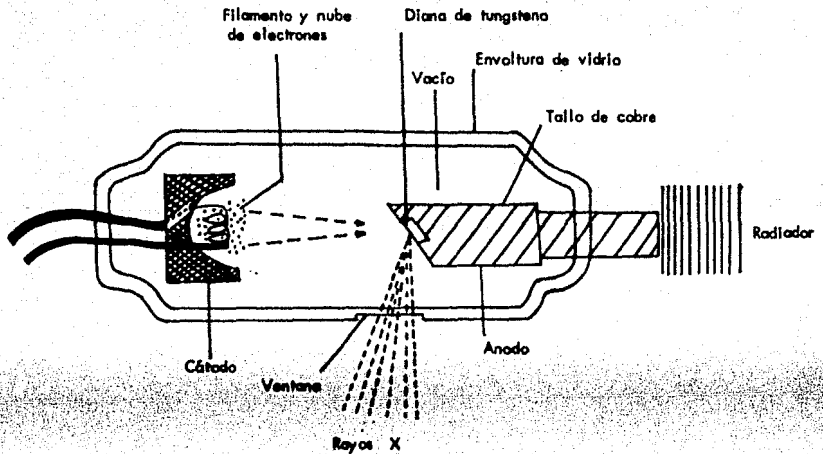


Fig. 5

Existe una gran variedad de tubos de rayos X que son usados - con propósitos de difracción y otros con propósitos radiográficos, pero en - general todos los podemos clasificar dentro de dos tipos :

1. Tubos de gas ( tubos iónicos ), en los cuales los electrones son susti- tuídos por una descarga eléctrica a través del gas a baja presión que-

se encuentra dentro del tubo.

2. Tubos de electrones ( Tubos de Coolidge ), en los cuales un filamento caliente va a mantener bajo alto vacío a los electrones.

Ambos tubos, a su vez, han sido catalogados en dos tipos: un tubo desmontable, que puede ser desarmado para su limpieza o para cambio de blancos; y un tubo sellado, que es evacuado y sellado durante su manufactura.

El tubo que a nosotros nos interesa más, es el que pertenece a la categoría de tubo sellado. El más común es el del tipo Coolidge, que se se manufactura en cantidades determinadas, para propósitos médicos, radiografía industrial y difracción.

Este está equipado con ventanas de berilio, de aproximadamente 0.010 pulgadas de grueso, que es mucho más transparente que el cristal especial Lindermann, que se usó anteriormente. El principio línea foco es -- usado para hacer más amplia la marca focal sin perder la efectividad de -- una fuente de radiación. ( 6 )

## CONDICIONES NECESARIAS PARA LA GENERACION DE RAYOS X

El tubo de rayos x, como hemos visto, tiene como función emi--tir cierta radiación o destello que va a formar posteriormente la imagen ra

diográfica.

Este destello útil se forma de rayos de diferentes tamaños de onda y poder de penetración. Pero, ¿qué son realmente los rayos x?, ¿cómo se generan?

Los rayos x son producidos o generados en la superficie y dentro de la diana de tungsteno del ánodo por electrones procedentes del cátodo. Cuando el filamento en el cátodo se calienta, eléctricamente se forma una nube de electrones en el vacío, por fuera del alambre del filamento. La temperatura del filamento, que determina el tamaño de la nube o el número de electrones, se controla por el reóstato, ( sistema que aumenta la resistencia contra el paso de una corriente eléctrica por un alambre ), controlando así el amperaje o cantidad del flujo de la electricidad. El tamaño de la nube determina la cantidad de electricidad que puede fluir entre el cátodo y el ánodo, que se hayan separadas por el vacío. Cuando el circuito es activado, los electrones son rechazados por el cátodo, y atraídos por el ánodo. El viaje de los electrones no se interrumpe, ya que los gases en el tubo han sido separados por un intenso vacío. ( 4 ) La velocidad con que son conducidos estos electrones, depende de la diferencia de potencial que se establece entre los polos del tubo ( 5 ). Este potencial se controla desde el cuadro de mandos del aparato de rayos x, por el seleccionador de

kilovoltaje y es registrado por el voltímetro ( 4 ).

Cuando estas partículas, altamente aceleradas, chocan contra el blanco o ánodo, desprenden gran cantidad de energía, que se transforma en rayos x. Esto no es más que la transformación de la masa adquirida, debida a la velocidad de los electrones, en energía radiante ( fotones o cuantos de energía ).

En realidad, el 95% de los rayos x se originan por efecto del frenamiento y el 5% aproximadamente, al interaccionar los electrones con los átomos del tungsteno, los excitan, produciendo a su vez: radiación y calor. ( 5 )

El calor se disipa dentro de la cabeza del aparato de rayos x con ayuda del radiador unido al ánodo. En algunos tubos modernos de rayos x, el enfriamiento se consigue mediante la circulación de aire o de aceite alrededor del tubo o por agua que circula en un ánodo hueco. ( 3 )

Mientras mayor sea la diferencia de potencial aplicada a las terminales del tubo, mayor será la aceleración producida a los electrones y mayor será también la conversión de masa en energía, con lo cual el poder de penetración de los rayos x aumenta.

La cantidad de electrones producida en el filamento se controla con la corriente que se hace pasar a través del mismo, y se mide en mili-

amperes ( mA ). La aceleración de ellos se realiza a través de la diferencia de potencial que se establece entre los dos polos, y se mide en kilovolts ( kV ).

Puede tenerse una gran cantidad de electrones acelerados a baja velocidad, es decir una gran cantidad de rayos x, pero de bajo poder de penetración; o bien pueden producirse pocos electrones, pero acelerados a gran velocidad, lo cual genera menor cantidad de rayos x, pero de mayor poder de penetración.

Con la combinación de éstos dos elementos: corriente ( mA ) y diferencia de potencial ( kV ), se controla la calidad y cantidad de la radiación. ( 5 )

## PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

Los rayos x se comportan de manera muy parecida a la luz. Esto no debe sorprender ya que ambas radiaciones pertenecen a la misma familia de radiaciones electromagnéticas. Esto nos lleva a deducir algunas de sus propiedades:

1. Los rayos x y la luz, actúan sobre las placas fotográficas de manera semejante. ( 3 )
2. No son afectados por los campos magnéticos. ( 3 )

3. Se trasladan en línea recta y a la misma velocidad que la luz (aprox. 300 000 km/seg. ) ( 3 )

4. Los rayos x y la luz proyectan sombras de manera parecida. ( 3 )

Otras propiedades, no menos importantes:

5. Son capaces de penetrar la materia, debido a su corta longitud de onda. ( 5 )

6. Capaces de producir fluorescencia en ciertas sustancias, esto es, emiten radiaciones de longitud mayor, comprendida en el grupo de la luz visible, a nivel del azul y el ultravioleta. ( 7 )

7. Liberan fotoelectrones. ( 5 )

8. Se producen también como radiación secundaria a partir de las materiales absorbentes. ( 7 )

9. Son absorbidos por la materia. ( 5 )

10. Son capaces de estimular, degenerar o destruir la materia viviente.

Producen cambios biológicos, somáticos y genéticos. ( 5 ) ( 7 )

Dado que el rayo x es una radiación ionizante y penetrante, no es sorprendente que estos rayos tengan aplicaciones en casi todos los campos de estudio científico. ( 3 )



## RADIOACTIVIDAD

El descubrimiento de la radioactividad fué un resultado directo - del descubrimiento de los rayos x. Desde que los rayos catódicos, al golpear un blanco, producían rayos x y también se producía fluorescencia al golpear ciertos materiales, la interrogante de una conexión entre la fluorescencia y los rayos x, tuvo lugar.

En 1896, Bequerel probó esta conexión usando una sal fluorescente de uranio. Encontró que aún cuando el espécimen no era radiado, emitía una radiación que penetraba el papel oscuro, hojas metálicas delgadas, y otras sustancias.

Bequerel rápidamente descubrió que esta radiación era característica del uranio y que el estado físico o químico del espécimen no afectaba la radiación. Otros materiales como el torio, se encontró que mostraban las mismas propiedades que el uranio.

Pierre y Marie Curie, descubrieron dos nuevos elementos, el radio y el polonio, que eran radioactivos, siendo el radio mucho más activo que el uranio.

Se descubrió que los rayos de estos materiales afectaban placas - fotográficas y ionizaban los gases, así como producían fluorescencia.

Siendo estudiadas las propiedades, se llegó a la conclusión de la

existencia de tres clases de rayos: uno es desviado en un campo magnético en la dirección que una carga positiva en movimiento sería desviada, y es llamado un rayo alfa. Una segunda, los rayos beta, son deflejados en un campo magnético mucho mayor que los rayos alfa, y en dirección opuesta. La tercera, los rayos gamma, no son desviados en el campo. ( 1 )

Los rayos gamma muestran la misma naturaleza que los rayos x. Tienen las mismas propiedades, pero a diferencia de los rayos x, no son -- producidos por un aparato eléctrico. Los rayos gamma son producidos por la desintegración espontánea del núcleo atómico en un material radioactivo. - La radiación gamma puede ser interceptada por una pantalla, pero nunca - puede ser apagada. La radioactividad de un rayo gamma se expresa en tér- minos de curies, milicuries y microcuries: ( 9 )

<u>UNIDAD</u>	<u>ABREVIACION</u>	<u>CANTIDAD</u>
Curie	c.	37 000 000 000 desintegra- ciones/seg.
Milicurie	mc.	37 000 000 desintegraciones /seg.
Microcurie	$\mu$ c.	37 000 desintegraciones/seg. ( 9 )

El radio ( sulfato de radio ), ha estado en uso común por mu--- chos años. Los isótopos radiactivos, por otro lado, en forma práctica son -

de origen más reciente. El cobalto-60 se considera actualmente como uno de los pocos radioisótopos de mayor uso práctico. Actualmente se produce introduciendo cobalto metálico a través del campo de radiación del neutrón, en un reactor nuclear. El iridio radioactivo es otro isótopo considerablemente prometedor. ( 8 )

Cuando un haz de rayos X, o rayos gamma de un material radioactivo, pasa a través de un objeto, emerge con una intensidad que va a depender del espesor y del coeficiente de absorción del material que penetra. ( 6 )

El mecanismo de transmisión y la absorción de los rayos x en la materia, es un tanto complicado. Tomando en cuenta que, cuando los rayos x se topan con la materia, emergen dos formas básicas de radiación: 1) radiación primaria transmitida y 2) radiación secundaria o modificada.

La radiación primaria es aquella energía radial que lleva una línea recta de continuidad, desde su origen primario a través de la materia ( o material por inspeccionar ) sin absorción o desviación.

La radiación primaria que ha sido cambiada o alterada por el mecanismo de absorción y difracción de los rayos x, se conoce como radiación secundaria o modificada.

La longitud de onda de la radiación secundaria es variable, y -

aunque gran parte de ella es extremadamente suave y pobre en su capacidad de penetración, un porcentaje apreciable emerge del material que es examinado y causa efectos indeseables.

A un bajo voltaje ( aprox. 500 kV ). la radiación secundaria se desvía de la dirección del rayo central primario. A altos voltajes la radiación secundaria tiende a seguir la dirección del haz primario de rayos x.

Esto incluye también a los rayos gamma del radio e isótopos radioactivos.

## CAPITULO 3

### ALTERACIONES SOMATICAS

¿Son peligrosas las radiaciones? La respuesta a esta pregunta se hizo patente, prácticamente desde que se empezó a trabajar con los rayos x. Aunque al principio los científicos no se explicaban la relación que -- existía entre los males que aparecían en las personas que con ellos trabajaban. Muchos hombres de ciencia murieron de cáncer, producido por las radiaciones ( 5 ); otros casos de amputación de miembros, o al menos de quemaduras graves originadas por los experimentos que algunas veces, en su afán de investigación, realizaban en su propio cuerpo. ( 2 )

Caso curioso fué el del mismo Roentgen, a quien jamás afectó -- trabajar en ambientes irradiados. El encerró su tubo en una caja de Zinc y Plomo para propósitos puramente científicos ( más que por protección ). Y así fue como, sin quererlo, se libró de los efectos dañinos de estos rayos. ( 5 )

Para explicar mejor el efecto de las radiaciones sobre el cuerpo humano, recordaremos que la célula está constituida en su mayor propor---

ción por agua, sobre todo en su superficie ( 10 ). Cuando una célula está expuesta a las radiaciones, el agua se descompone para formar una serie de complejos que reaccionan entre sí para dar como uno de los productos finales  $H_2O_2$  ( agua oxigenada ), la que, como compuesto fuertemente oxidante, destruye la célula. ( 5 )

Numerosas investigaciones han permitido analizar con más precisión los fenómenos de absorción de la radiación sobre las células vivas. -- Considerando la existencia de una acción de orden general, o bien una acción local directa o indirecta. ( 11 )

**Acción de orden general.** -- Según esta concepción, las radiaciones provocarían la liberación de una sustancia que actuaría como veneno para ciertos elementos celulares, o bien estimularía ciertas reacciones de defensa del organismo.

Modificando la riqueza de la sangre en linfocitos, las radiaciones podrían hacer a un organismo refractario o receptivo al cáncer. Sin embargo no hay que olvidar que la irradiación de un tumor o de una parte del organismo puede provocar modificaciones humorales importantes ( variaciones del ph, del punto isoeléctrico y del tiempo de coagulación de la sangre ).

Y no es imposible que modificado el metabolismo general, esto -

es, el medio humoral, se pueda reforzar la acción de las radiaciones.

Sea lo que sea, si no se puede negar la acción general, ésta es poco aparente, pues lo que se observa en clínica es la ausencia de toda acción sobre los tejidos que no han sido alcanzados directamente por los rayos.

Desde el punto de vista práctico, no se puede contar por lo tanto, más que con la acción local de la radiación.

Acción local directa e indirecta.- Por otra parte, cabe también la pregunta de si el efecto de las radiaciones se ejerce únicamente sobre el elemento celular, o si por el contrario, es el resultado de una acción indirecta.

La acción directa ha sido la única admitida desde hace mucho tiempo. Dos científicos, Bohn y Perthes, pensaron que las radiaciones actúan principalmente sobre la cromatina nuclear. Demostrando que solo la energía absorbida a nivel de cromatina, parece capaz de producir la muerte de la célula.

La masa total de la célula no es uniformemente sensible. Los impulsos cuanta absorbidos en las diversas regiones que corresponden a las funciones determinadas, producirán efectos diferentes. El citoplasma podrá recibir un gran número de impulsos sin que en conjunto quede incapacitado -

para continuar su función de asimilación.

En la cromatina en cambio, pocos impulsos bastan para alterar profundamente los caracteres de la reproducción, haciendo que en lo sucesivo solo sea posible la primera división. ( 11 )

Por otra parte, cuando la célula se encuentra en estado de mitosis, los fotones o cuantos de energía, son capaces de romper los husos de la célula en reproducción, con lo cual se va a presentar una mutación genética o bien puede ocasionarse una degeneración en ella, y aún puede ser totalmente destruida. ( 5 )

Sabemos que el DNA, que se encuentra en el núcleo de las células y en las mitocondrias, es la molécula encargada de llevar el "mensaje" genético, dentro de los cromosomas ( 10 ). Cuando se aplican grandes dosis de rayos x, la síntesis de DNA se inhibe ( 13 ), y entonces ocurren las mutaciones. ( 10 )

La posterior reproducción de una célula degenerada puede originar a nuevas células también degeneradas, aún sin haber estado expuestas a una previa radiación ( 5 ). Esto será explicado más ampliamente, al llegar al estudio de las alteraciones en aparato reproductor.

El centrosoma que recibe un solo impulso puede bloquear completamente y desde un principio, la función de reproducción.



Así pues, tendremos en cuenta que los rayos x actúan sobre las células, con tanta más intensidad:

1. Cuanto mayor es la actividad reproductora de estas células.
2. Cuanto menos definitivamente fijadas están su morfología y funciones.
3. Cuanto más largo es su porvenir carioquinético. ( 11 )

### ACCION SOBRE TEJIDOS ESPECIFICOS Y ORGANOS

Constituyen datos esenciales, la noción de la diferencia de sensibilidad de los diversos tejidos y el conocimiento del grado de sensibilidad de cada uno de ellos. Haciendo posible clasificarlos desde el punto de vista de su radiosensibilidad comparada.

El conjunto de nociones que tenemos de la sensibilidad de los diversos tejidos, nociones resultado de la experimentación en animales, y de la observación clínica, fueron sintetizados por Bergonié y Tribondeau en forma de una ley que denominaron: "Ley de correlación entre la fragilidad de las células ante los rayos Roentgen, y su actividad reproductora". Esta ley, que resume el resultado de sus experimentos y los de sus antecesores, es aplicable a un gran número de casos.

Entre las observaciones que ellos obtuvieron, están por ejemplo: La acción de los rayos x sobre la mayor parte de los tejidos de los anima-

les muy jóvenes, más manifiesta que sobre estos mismos tejidos, en el adulto a causa de su actividad formadora, es más intensa. Ciertos tejidos frágiles en el recién nacido, son indiferentes en el adulto como el epitelio -- cristalino, el hígado, etc.

Entre los tejidos más radiosensibles se pueden citar: los órganos - hematopoyéticos, testículo, ovario, ciertos elementos celulares de la piel; - y entre los que, por el contrario, parecen poco radiosensibles: el tejido -- nervioso, tejido óseo, tejido muscular, riñón, hígado, ciertas glándulas como la suprarrenal, etc.

Entre las células normales, las altamente diferenciadas para funciones determinadas: células glandulares, musculares, nerviosas, óseas, cartilaginosas, hematíes, etc., son así mismo resistentes. Mientras que los linfocitos fácilmente sucumben.

Un estudio detenido y un resumen de todas las investigaciones referentes a la vasta cuestión del efecto biológico de las radiaciones sobre los tejidos, pero ahora solo nos limitaremos a recordar aquellos que creemos más importantes por las deducciones que de ellos se han obtenido. ---

( 11 )

#### A) PIEL

Uno de los primeros efectos observados por la influencia de los -

rayos x, fué la influencia que ejercen sobre la piel. El conocimiento de las lesiones cutáneas es de extrema importancia por dos razones principales:

1. Desde el punto de vista práctico, porque son un obstáculo para administrar dosis elevadas de radiación en la profundidad de los tejidos.
2. Porque el todo complejo que constituye la piel y sus anexos permite estudiar la desigual radiosensibilidad de diversos elementos celulares. --

( 11 )

Radiodermatitis.- La descripción clínica de las diferentes lesiones de la piel que sobrevienen en los enfermos sometidos a radioterapia, o en los radiólogos que sufren la acción repetida de las radiaciones, se conoce con el nombre de Radiodermatitis.

Estas lesiones, y el grado de afección que produce, dependerá de algunos factores, como son: tiempo y cantidad de radiación aplicada, región donde se aplique, sexo y edad del individuo, etc.

Existen indudablemente, diferencias de sensibilidad cutánea, según las zonas irradiadas. Así las regiones ricas en glándulas sudoríparas: -- palmas, plantas y axilas, manifiestan una radiosensibilidad muy grande, sobre todo en casos de sudoración excesiva.

La piel del cuello es igualmente muy vulnerable, así como la pared abdominal. En cambio las regiones dorsal y lumbar lo son ciertamente --

menos. Las regiones de la cara en que la piel descansa sobre un plano óseo, tales como la frente y dorso de la nariz, también son bastante sensibles.

Debemos distinguir dos clases de lesiones cutáneas: las que se originan por una dosis de rayos administrada en una sola o en varias sesiones, o sea, la radiodermatitis aguda que sobreviene precozmente, y las que sobreviven más o menos tardíamente presentando los caracteres de radiodermatitis crónicas. ( 11 )

**Radiodermatitis Precoces.**— Las radiodermatitis precoces se observan únicamente en los enfermos sometidos a radioterapia o a exámenes radioscópicos repetidos.

Estas lesiones aparecen en diversas condiciones; pero no hay diferencia esencial entre las lesiones producidas por la radiación no filtrada y las producidas por la radiación filtrada. En todos los casos son debidas a un exceso de dosis.

Varían del eritema o pigmentación simple, a las radiodermatitis agudas de diferentes grados.

El eritema precoz, llamado también prereacción, consiste en un ligero eritema que aparece el mismo día de la irradiación y debido quizá a la acción directa de los rayos x sobre los vasomotores, indica siempre —

una sensibilidad especial de la piel que, más tarde, va a presentar una --  
reacción pigmentaria.

El eritema, o radiodermatitis de primer grado, es la manifestación  
cutánea más benigna que se observa tras un plazo más o menos largo. Se--  
gún la dosis que se ha administrado, su intensidad es variable, y se distin--  
guen dos etapas dentro de esta:

- a) El umbral del eritema.- La dosis capaz de producirlo es, según su mis--  
ma definición, la que en el ochenta por ciento de los casos origina un  
enrojecimiento visible dos semanas después del tratamiento y queda sin  
efecto en un veinte por ciento de los casos. La reacción puede ser vi--  
sible o no.
- b) El eritema franco.- Es el que corresponde a un enrojecimiento de la--  
piel que aparece diez o doce días después de la irradiación y va acom--  
pañada de la caída del pelo en los quince o veinte días siguientes a la  
irradiación. El bulbo piloso es una de las partes que presenta una ra--  
diosensibilidad muy especial.

Se trata de una depilación temporal, y la salida del nuevo pelo se ob--  
serva de seis a ocho semanas.

La radioepidermitis o radiodermatitis de segundo grado, se caracte--  
riza por los fenómenos siguientes: un eritema, que ocupa todo el campo --

irradiado, sobreviene pasados unos días y cada vez se hace más oscuro, al mismo tiempo que la persona presenta sensaciones de calor y comezón. Hacia el décimo día, aparecen pequeñas vesículas que aumentan en número y extensión; la epidermis se levanta, y cae hacia el decimoquinto día. De--jando al descubierto una superficie granulosa, húmeda, de color rosa vivo, cubierta algunas veces de una película fibrinosa blanquecina y de donde fluye un líquido seroso, pero sin sangrado. A continuación se forma sobre los bordes de la lesión, una franja gris rosada, opalina que progresa poco a poco en dirección centrípeta. Es un nuevo epitelio que nace por proliferación de las células epiteliales del borde de la epidermis que no fué alcanzada por los rayos x y que va a cubrir poco a poco la úlcera de un revestimiento delgado. La epitelización se completa más o menos en quince- o veinte días. Poco a poco va tomando un aspecto más normal. Uno o dos meses más tarde es imposible distinguirla de la región periférica que estuvo protegida de la radiación. La dosis epidermicida acarrea la caída del pelo, pero esta vez se trata de una depilación definitiva. ( 11 )

Las radiodermitis que no alcanzan más que la epidermis curan -- con rapidez y no dejan huellas, o muy pocas. No así las radiodermitis de tercer grado que ocasionan daño a tejido conjuntivo.

Cuando la dosis de radiación ha sido más elevada, aparece a los

cinco o seis días, enrojecimiento y tumefacción, seguida por la aparición de ampollas y flictenas ( 11 ) ( lesión cutánea elemental consistente en una vesícula formada por epidermis levantada, llena de suero como las producidas por quemaduras, o de pus ( 12 ), de erosiones con exudación que exigen varias semanas para cicatrizar y que dejan una atrofia permanente en la piel.

Cuando las lesiones que acabamos de mencionar no se cicatrizan en unas semanas, representan entonces la primera etapa de una radiodermatitis grave que toma muy pronto la forma de una úlcera y con gran tendencia a la cronicidad.

Una flictena ulcerada es, por lo general, el punto de partida de una verdadera úlcera que se excava rápidamente y presenta aspecto característico. El fondo es liso, existe un derrame seroso poco abundante, los bordes están unas veces tallados a pico, otras presentan una pendiente suave. Hay ocasiones en que la cicatrización se realiza rápidamente durante algún tiempo; pero se detiene y aumenta la ulceración. Estas ulceraciones van acompañadas de dolores sumamente violentos que sobrevienen por crisis.

Después de varios meses y a veces años, sobreviene la curación, dejando una cicatriz fibrosa, semejante a las cicatrices dejadas por las quemaduras, cubierta por una epidermis adelgazada, pigmentada en algunos --

puntos, decolorada en otros, con zonas telangiectásicas ( 11 ). Se entiende por telangiectasia la dilatación de los vasos capilares de pequeño calibre, que puede ser generalizada o localizada. ( 12 )

Cuando la radionecrosis no cura, conduce a la escarificación de los tejidos mortificados. La ulceración cambia entonces de aspecto, al mismo tiempo que aumentan los dolores, hasta el punto de hacerse intolerables, con el carácter de dolores neuríticos que se irradian a distancia.

Pronto se forma un surco en la periferia de la ulceración, y la porción por él limitada se retrae, se vuelve dura, negruzca de apariencia mortificada. El surco se excava y aumenta cada vez más, pero la escara queda durante mucho tiempo sin desprenderse. Es de espesor variable, unas veces muy delgada, otras comprende una parte del tejido celular subcutáneo, o hasta elementos tendinosos o musculares mortificados, según la profundidad que alcanzaron los fenómenos producidos por los rayos.

Cuando cae la escara, descubre una ulceración roja, granulosa; pero la caída de la escara no es forzosamente el prelude de una curación rápida, ya que la cicatrización comenzada puede detenerse muy pronto y la zona ulcerada ser asiento de una nueva escarificación.

Las radiodermitis precoces, evolucionan en general, de manera aguda. Algunos como hemos visto, dejan huellas indelebles. Por otra parte,



en su forma ulcerosa, presentan el mismo aspecto que las radionerosis tardías, como veremos en seguida. Podemos decir que en realidad, son principalmente las condiciones de su aparición, las que diferencian unas de otras. ( 11 )

**Radiodermitis tardías.**- Las lesiones que aparecen tardíamente y que son notables por su carácter crónico, se presentan en dos condiciones muy diferentes:

- a) Después de pequeñas dosis de radiación mucho tiempo repetidas en una misma región.
- b) En la terapéutica de los cánceres por los rayos x penetrantes, debido a la administración de dosis importantes de radiación, distribuidas ya sea en un sólo tratamiento o en irradiaciones repetidas.

Las radiodermitis tardías, las podemos clasificar en tres grupos:

- 1) Trastornos tróficos, relativamente benignos.
- 2) Ulceraciones radionecróticas, que aparecen sobre todo atacando hasta tejidos blandos.
- 3) Cáncer sobre radiodermitis.

**Trastornos tróficos.**- Podemos distinguir :

- a) Una pigmentación permanente, que aparece principalmente a nivel de cara, cuello y vientre.

- b) Una atrofia de la piel, que adquiere un aspecto brillante, arrugado; es una especie de envejecimiento de la piel.
- c) Un espesamiento, la piel toma un aspecto esclerodérmico, esto es, la piel se torna dura. Puede presentarse varios años después de la irradiación.
- d) Presencia de telangiectasias. Pueden aparecer lo mismo si hubo radiodermitis en el momento de las aplicaciones, que si la piel se conservó normal en aquella ocasión. Son un poco más frecuentes después de empleada la radiación blanda, que con la radiación filtrada.

**Ulceraciones radionecróticas tardías.**- Pasados varios años de terminado el tratamiento, pueden sobrevenir ulceraciones que toman el tipo de radionecrosis aguda.

Aparecen bien sobre una piel que ya está atrófica, o bien sobre tegumentos de apariencia normal hasta entonces.

Ha habido varias observaciones de úlceras tardías que aparecieron tras una o varias series de irradiaciones. El tiempo de aparición varía de unos meses a varios años.

Una vez que la ulceración se haya completamente formada, presenta bordes irregulares, en forma de pico. El fondo está formado por tejidos de aspecto grisáceo, de donde fluye una serosidad de olor más o menos

fétido. Es dolorosa generalmente, y además, esta úlcera no tiende a cicatrizar.

Cuando se lleva a cabo la reparación, los bordes a pico, son reemplazados por una rueda que progresa hacia el centro. Algunas veces la cicatrización que comienza, se detiene y la úlcera se agranda de nuevo. En todos los casos, la curación, cuando se produce, requiere siempre de varios meses. Queda entonces una placa cicatrizal dura, en coloraciones en blanco y oscuro y rodeada de una placa de telangiectasias. Aún después de pasados varios años, la ulceración puede reproducirse de nuevo y presentar el mismo aspecto que al principio. (11)

Cáncer sobre radiodermatitis.- La transformación de las radiodermatitis en cáncer es relativamente rara. Es un accidente temible, pues el tratamiento de estos cánceres, presenta grandes dificultades.

Como se ha hecho mención, las lesiones producidas por los rayos filtrados y los no filtrados son sensiblemente las mismas. Sin embargo, debemos mencionar también que para dosis iguales que llegan a la piel, la radiación dura produce lesiones menos graves que la radiación blanda.

Esto lo podemos explicar porque con rayos poco penetrantes la absorción por las capas superficiales es muy grande, mientras que con la radiación dura, la absorción por las capas superficiales es relativamente me-

nor.

Pero a dosis suficientes para producir radiodermatitis, no hay ninguna diferencia entre las lesiones de los rayos no filtrados y las de los rayos filtrados; incluso se puede afirmar que los rayos x duros son capaces de producir lesiones todavía más graves que la radiación blanda, pues cuanto más penetrante es la radiación, más tienden a igualarse las dosis recibidas por las partes superficiales y las partes profundas. Así pues, con una radiación muy filtrada, si se emplean dosis excesivas, pueden determinarse lesiones de necrosis que afectan no sólo la piel, sino todos los tejidos subyacentes, comprendiendo el sistema óseo.

Por otra parte, el empleo de radiaciones de corta longitud de onda favorecen la producción de radionecrosis tardías. Ya que se administran dosis importantes de radiación sin lesionar la epidermis, pero se van acumulando en cierta forma, en la dermis, dándole una fragilidad que puede permanecer persistente indefinidamente.

En cuanto se presenta un traumatismo accidental u operatorio, la dermis al descubierto está expuesta a la infección y entonces viene la aparición violenta de una ulceración radionecrótica.

La infección microbiana explica, el curso particular de éstas ulceraciones, su curación, sus recidivas y la acción curativa de las aplica-

ciones antimicrobianas. ( 11 )

Radiodermatitis Profesional.- Los accidentes cutáneos que podemos llamar -- "profesionales" son muy frecuentes en los médicos que utilizan los rayos x. Se les observa especialmente en las manos de los radiólogos que practican múltiples exámenes radioscópicos, en el curso de los cuales están palpando o moviendo a los enfermos en el campo de los rayos.

También pueden resultar atacadas otras regiones, la cara por --- ejemplo, donde el comienzo de los accidentes se señala por la caída de - las cejas o de la barba.

Las radiodermitis de los radiólogos comienzan casi siempre des---pués de varios años. Se inician generalmente por una sensación de seque---dad debida a la atrofia de las glándulas de la piel, con adelgazamiento - de la epidermis; las uñas se resquebrajan y rompen.

Se pueden observar, principalmente, dos formas de radiodermitis profesional:

- a) Una forma atrófica con adelgazamiento de la piel, atrofia que alcanza incluso el esqueleto, y que puede afectar el conjunto de las manos.
- b) Una forma hipertrófica con hiperqueratosis.

Estas diversas lesiones, generalmente muy dolorosas, son las que en un momento dado pueden transformarse y terminar en cáncer, llamado: -

cáncer de los radiólogos.

Se ha discutido mucho sobre la patogenia de este cáncer, que se debe relacionar con el cáncer experimental producido por los rayos x. Sabemos que por irradiaciones débiles y repetidas, en animales se ha podido obtener una producción de cáncer.

Sea lo que sea, la transformación de la radiodermitis en cáncer, se produce generalmente de manera progresiva. Se trata siempre de un epiteloma que pertenece a la forma espinocelular, pero cuya evolución es -- por lo común, muy lenta. Sin embargo, si en este momento no interviene -- la Terapéutica, aparecen ganglios en el pliegue del codo, en la axila y -- la enfermedad se generaliza ocasionando la muerte.

En el caso de personas que manipulan aparatos radioactivos, los casos de epitelomas son extremadamente raros. ( 11 )

Tratamiento de las radiodermitis.- El tratamiento de las radiodermitis exige ante todo, luchar contra la infección microbiana; curas con suero glucosado hipertónico; curas con azul de metileno al 1%, etc.

En presencia de una radionecrosis de los tegumentos y de los tejidos blandos subyacentes, la escisión amplia de toda la zona irradiada, da resultados favorables. Pero es necesario llegar a tejido sano; de lo contrario, el traumatismo operatorio expone a aumentar la ulceración.

La aplicación de rayos infrarojos tiene, sin duda, un poder cicatrizante y calmante del dolor. ( 11 )

## B) TRACTO GASTROINTESTINAL

El aparato digestivo, es la puerta por la cual entran al organismo las sustancias nutritivas. Las proteínas, grasas y carbohidratos son demolidos hasta unidades absorbibles ( digeridas ) principalmente en el intestino delgado.

Los productos de la digestión, vitaminas, minerales y líquidos -- atraviesan la mucosa del estómago y del intestino y entran a la linfa o a la sangre ( absorción ). ( 10 )

La radioterapia, siendo un auxiliar estupendo en el tratamiento de lesiones malignas, se ha reportado también como factor predisponente al desarrollo del carcinoma. ( 14 )

Aún cuando el estómago y los intestinos son muy radiosensibles, las lesiones no son muy frecuentes en la práctica radiológica ordinaria. Las paredes del organismo ofrecen cierta protección al tracto gastrointestinal y los radiólogos son conservadores cuando administran radiaciones en abdomen debido al peligro de reacciones adversas.

El duodeno y el intestino delgado, parecen ser más vulnerables a la lesión que el estómago. El colon es más resistente y el recto, la mayo-

rfa de las veces está expuesto en el tratamiento radiológico de rutina. (15)

Sin embargo, los daños al colon y al recto pueden ser secuelas de una radioterapia. En el grado agudo hay edema e inflamación en la mucosa rectal, algunas veces con friabilidad asociada. Histológicamente, los cambios ocurren en la cripta del epitelio la cual puede tener una marcada atipia celular y puede confundirse con carcinoma superficial. Estos cambios agudos pueden progresar a una ulceración franca, pero usualmente sana espontáneamente. (14)

Es sabido ya que uno de los síntomas más frecuentes de enfermedad, subsiguiente a largas dosis de radiación, es la diarrea. Esta, generalmente aparece de dos a tres días después del tratamiento; el mecanismo -- causante de que esto ocurra, no es conocido. Lo que sí es verdad, es que hay algunos reportes que indican la posibilidad de una atrofia de la permeabilidad de las células epiteliales de los intestinos. (16)

Esto nos hace pensar en la propiedad de la radiación, para producir reacciones metabólicas y al mismo tiempo disturbio en la absorción -- de glucosa. Esta última fué estudiada después de exposiciones de 50, 100, 200 y hasta 500 r. Según se incrementaba la dosis, se observaba una disminución progresiva de la absorción (16). Ahora bien, poco después de una irradiación, se observan cambios no muy grandes en la absorción de gluco-



sa por el intestino. Esta absorción solo se transforma en más lenta, durante las 24 horas que siguen a la irradiación.

Por ejemplo, la mucosa intestinal de un animal irradiado en cuerpo entero, aplicándole una dosis de 600 r, presenta una oxidación de glucosa o fructuosa más rápida ( 3 a 4 veces ) que la mucosa normal. Y esto se va a observar solo de 3-96 horas, después de la irradiación. ( 13 )

En las lesiones más intensas se producen daños vasculares. La degeneración de colágeno es mayor y el edema aparece en todas las capas - de la pared intestinal, pero principalmente en la submucosa y subserosa se desarrolla una atrofia extensa de la mucosa glandular que puede persistir - durante meses. La regeneración aparece en un intervalo variable de sema-nas o de meses. ( 15 )

Las ulceraciones mucosas superficiales pueden aparecer al cabo - de pocas semanas, pero casi todas son pequeñas y curan pronto.

Las lesiones crónicas del intestino por radiación, se desarrollan - característicamente de seis meses a treinta años después de la exposición. Por lo general son dolorosas y responden poco al tratamiento. Los pacien--tes pueden presentar proctocolitis crónica con diarrea, mucosidad, sangre y síntomas de dolor y costipación secundaria a la estenosis. También puede - ocurrir una fistulización en la vejiga o bien en la vagina. ( 14 )

Las lesiones más comunes son las úlceras crónicas que pueden -- quedar confinadas a la mucosa y submucosa o penetrar profundamente en la musculatura. En general, los bordes de la úlcera son bien definidos y sus paredes cortadas a pico. Una reacción inflamatoria no específica de intensidad variable rodea a la úlcera.

Igual que las úlceras de piel por radiación, la base y los lados de las úlceras intestinales, están formados por tejidos conectivo pobremente vascularizado y las lesiones curan con lentitud. La serosa subyacente es a menudo blanca y macroscópicamente aparece espesada y atravesada por venas telangiectásicas. (11) (14)

En 1958, una mujer de 36 años, fué atendida por un carcinoma en el cérvix, con la histerectomía total. En 1966, la paciente presentó un tumor recurrente en la parte final de la vagina, y fué tratada con una cantidad indeterminada de radioterapia. Después de esa vez, la paciente - presentó cuadros de diarrea intermitente, acompañada de sangre y moco.

La paciente fué controlada sintomáticamente con Lomotil (R), ene mas de esteroide y prednisona intermitente.

En abril de 1975, la paciente presentó un episodio de sangrado-rectal. El sigmoidoscopio reveló un pólipo de 4 mm. a 13 cm., al cual le fué hecha la biopsia que reveló la presencia de carcinoma.

El área fue localmente fulgurada con electrocauterio. En los 18 meses siguientes, la paciente fué vigilada practicándosele cuatro sigmoidoscopías, con biopsia y radiación persistente, observándose cambios, pero sin evidencia de carcinoma recurrente. ( 14 )

Casos como éste se presentan como secuelas de irradiaciones practicadas hasta varios años antes de la aparición del carcinoma.

En 1957, Southwick y Slaughter, describieron dos casos de adenocarcinoma del colon siguiente a la irradiación. Smith en 1962, añadió tres casos adicionales. Black y Ackerman reportaron otro paciente con esta complicación tardía de radioterapia, que ocurrió 18 años después de una irradiación por carcinoma al cérvix.

Castro, Rosen y Quan revisaron sus experiencias con 26 pacientes que desarrollaron carcinoma del colon y del recto siguientes a la irradiación de cáncer cervical y uterino. ( 14 )

Ahora bien, mientras no haya una prueba definitiva, de que el carcinoma del colon, es un resultado de la radiación pélvica, se seguirá asociando y bien documentadamente, a la radiación con otros tipos de neoplasias.

### C) HUESOS Y CARTILAGOS

El estudio de la acción de las radiaciones sobre cartílagos jóve-

nes, ha enseñado que las radiaciones pueden provocar una detención de -- crecimiento, habiéndose observado a consecuencia de radiaciones en suje-- tos jóvenes, el acortamiento de un miembro, efecto de las lesiones de los cartílagos en conjunción. ( 11 )

El tejido óseo joven es también sensible a las radiaciones, que -- son capaces de perturbar el proceso de osificación. ( 11 ) En niños, el -- crecimiento endocondreal de hueso puede ser afectado con dosis moderadas. ( 15 )

El hueso maduro es muy resistente a la lesión, lo mismo el cartí-- lago. Es dañado por altas dosis de radiación penetrante, esto es, en un ac-- cidente radiológico, o bien un radioterapia. ( 11 )

Por ejemplo: en un experimento en que se dirigió el haz de ra-- yos hacia la mano, con una exposición de 1 500 rads de rayos x de alta -- energía, se observó que una porción del haz de rayos era detenida por el contenido de calcio en el hueso, y la radiación restante, era desviada al tejido suave adyacente. ( 15 )

Los conductos de Havers y la médula ósea son de particular im-- portancia. Las lesiones en hueso son de naturaleza de necrosis avascular.-- Detrás de la administración de grandes dosis de radiación, se observa la a-- parición de osteoradionecrosis. En ese momento hay muy poca inflamación--

y los cambios son similares, en muchos aspectos, a la necrosis estéril de los huesos. Este fenómeno se ha observado principalmente a nivel de maxilar - ( 15 ). Esto lo veremos un poco más adelante.

El hueso, cargado de cuerpos de peso atómico relativamente elevado, es sitio de una emisión secundaria intensa y "se quema a sí mismo". Esta radionecrosis es precoz cuando el hueso está en comunicación con el exterior ( cáncer de las encías, cáncer de la cara con el hueso al descubierto, por ejemplo ). ( 11 )

La fractura del cuello del fémur, es una complicación de la irradiación de la zona pélvica, dentro de radioterapia. Ocurre nueve meses o hasta un año después de la irradiación. ( 15 )

Pero la fractura espontánea puede ocurrir en cualquier hueso en que exista suficiente cantidad de radio almacenado, y los procesos destructivos y sitios de depósito se manifiestan a través de osteoporosis y quistes, así como a través de sarcoma de hueso, que es también otra secuela. (15)

Un estudio en ratas, usando semillas de radón como fuente de radiación, demostró la ausencia de osteoblastos, debilidad en la formación del hueso y un pequeño número de osteoclastos. Con esto se demuestra que después de una radiación, la actividad osteoblástica es suprimida. La actividad osteoclástica prosigue, y aún puede ser incrementada por un período

corto, esto es sólo en casos eventuales. ( 17 )

La fragilidad del hueso muy irradiado nos da una idea de su cambio de estructura; observándose cierta fibrilación y desorganización de la sustancia matriz. ( 15 )

Los huesos sometidos a una intensa radiación son por lo tanto, altamente susceptibles a la infección bacteriana. La osteomielitis resultante es progresiva y no responde muy bien al tratamiento conservador. ( 15 )

La lesión extensa del hueso por la irradiación, a menudo pasa inadvertida; las lesiones son a veces muy dolorosas, pero la mayoría son asintomáticas, a menos que se compliquen con fracturas o infección. ( 15 )

Cluzet, a su vez ( 1911 ), observó también que las radiaciones son capaces de impedir o retardar la formación del callo en las fracturas. ( 11 )

Ahora bien, la radiación en cabeza y cuello en los casos de -- cáncer oral, induce a cambios en el hueso mandibular que crean problemas y riesgos en el manejo de los problemas orales.

Beumen en 1972, revisó ochoserias de reportes en osteonecrosis posterior a la radiación en cabeza y cuello, y añadió a esta cifra, sus propios casos en 278 pacientes. Llegando a la conclusión de que los riesgos de la necrosis clínica, es relativamente pequeña y que es proporcional a --

la agresividad de la terapia.

Podemos encontrar una literatura muy abundante de los efectos - histológicos de la radiación interna, especialmente de radioisótopos en la - exploración de hueso. No sucede así con la información de los efectos de la radiación externa en la terapéutica de la estructura del hueso. Una diferencia mayor en las consecuencias de los dos tipos de radiación resulta - del hecho de que en la mayoría de los radioisótopos para la exploración - de hueso, se concentran en forma de focos en el hueso irradiado aquellos - puntos que no fueron tocados por los radioisótopos.

Eventualmente las displasias óseas, osteosarcomas y desórdenes - hematopoyéticos se pueden desarrollar. En contraste, la radiación terapéuti - ca de fuentes externas, es distribuida más uniformemente a través de un -- campo en una medida controlable, dividiendo la dosis, sobre un período lí - mite de tiempo. Así esta radiación penetrante y de alta energía puede ac - tivar el calcio del hueso haciendo que se emita una radiación de energía - más alta, la cual es absorbida por los tejidos vivos adyacentes al hueso. -

(17)

En el Departamento de Biología Oral de la Escuela de Odontolo - gía de la Universidad de California, en San Francisco, se reporta un estu - dio para ver los efectos de la radioterapia en la microestructura de la man -

díbula humana. ( 17 )

El hueso mandibular de ocho pacientes que habían recibido radioterapia ( 6 000 - 7 200 rads ) por cáncer intraoral, se obtuvo por cirugía ( un mes a nueve años después de la irradiación ) y se comparó histológicamente con hueso no irradiado de cinco sujetos. Las mediciones se hicieron en el proceso de remodelación interna de hueso cortical incluyendo una extensión a la superficie interna y a la fracción que indicaba resorción, y la proporción de osteocitos, los cuales estaban incompletos ( menos de tres cuartas partes del contenido ). Las observaciones demostraron que un cese prematuro de osteogénesis, y de alguna manera el cese posterior de reabsorción. La apariencia histológica de los osteoblastos, osteoclastos y osteocitos estaba de acuerdo. Las microfracturas encontradas en el hueso irradiado no se veía que hubiesen sanado.

Este estudio de los efectos de la radiación en mandíbulas humanas es un intento inicial para medir los cambios biológicos del hueso expuesto a radiación externa en los niveles de la terapéutica. Pero hay que contar siempre con la diferencia de sensibilidad, la cual va a determinar el grado en que la radiación prolonga la reabsorción de hueso.

#### D) ORGANOS REPRODUCTORES Y REPRODUCCION

Los testículos y ovario son tejidos muy radiosensibles. Cambios -



temporales en la fertilidad pueden ser causados por una sola exposición del orden de 30 r. (15)

Efectos retardados de irradiación practicada en niños, en el tratamiento de tumores malignos, se observan en el desarrollo y función de los diferentes órganos internos, incluyendo las gónadas.

Una evaluación de la secuela del tratamiento, y en especial de los órganos reproductores, ha tomado una importancia bastante práctica. (19)

En el hombre, puede ocurrir una depresión temporal de espermas. Dosis únicas del orden de 300 r. o más a los ovarios son suficientes para causar amenorrea y esterilidad, llegando a afectar hasta permanentemente. Pequeñas dosis causan irregularidades en la menstruación y supresión de la ovulación. (15)

En el hombre, tres meses después de una irradiación a dosis suficiente, la espermatogénesis es completa; solo las células de Sertoli persisten sin alteración en los tubos seminíferos. Algunos experimentos han demostrado que no es la célula de Sertoli, sino el espermatogonio, la verdadera célula matriz de la serie espermática. (11)

La regeneración de los tubos tras destrucción por los rayos x, solo es posible cuando esta destrucción ha sido incompleta, esto es, cuando

no ha destruido los espermatozonios.

El estudio de los rayos x sobre la serie seminal, ha permitido -- igualmente precisar la diferencia de sensibilidad de las diferentes células -- de esta serie. Se ha notado así mismo que los espermatozonios son poco sensibles, relativamente; que los espermatozonios lo son más y que los espermatozonios lo son en alto grado. De la extrema sensibilidad de los espermatozonios a los rayos x, deriva la esterilización inmediata y definitiva del epitelio seminal.

Así, las células de la descendencia seminal representan una serie de etapas celulares, tanto más sensibles cuanto mayor es su actividad reproductora ( espermatozonios ) y tanto menos sensibles cuanto son más diferenciadas ( espermatozoides ). ( 11 )

Existe una ley que dice: "un elemento celular, cualquiera que sea, desde el momento en que entra en actividad reproductora, se convierte por este hecho, en menos resistente a las radiaciones".

Esta ley se ha deducido de las observaciones realizadas en el -- ovario y el testículo irradiado: destrucción muy rápida de las diversas células del epitelio seminal y de la capa granulosa y óvulos en maduración; débil acción de estos rayos sobre las células de Sertoli y las células intersticiales del ovario; acción muy débil sobre los espermátides; acción destruc-

tora intensa de las radiaciones sobre los espermatogonios y espermatoцитos; - también acción débil sobre los espermatozoides, células conjuntivas del testículo, elementos del estroma y epitelio superficial del ovario según la edad. ( 11 )

El desarrollo normal del ovario durante la infancia, es caracterizado por el crecimiento folicular, y atresia. En todas las edades los folículos empiezan a crecer, alcanzan varios tamaños y después se degeneran. - Un período de quietud o reposo no es visto como normal en este órgano. - Aún así, existen ciertas enfermedades capaces de interferir en el desarrollo normal, como por ejemplo: los tumores abdominales. ( 19 )

En la mujer los fenómenos observados tras una irradiación única son los siguientes:

Una irradiación única, a dosis media, provoca fenómenos de destrucción celular que ya son visibles al microscopio a las pocas horas. Estas lesiones interesan particularmente los folículos que están más cerca de la madurez. Quince días después de la irradiación se observa la desaparición de todos los folículos lesionados. Esta desaparición acarrea una disminución considerable en el volumen del ovario, disminución que continúa en los meses siguientes como resultado de la regresión de la glándula intersticial; ésta no es radiosensible, ciertamente, pero como es sabido se haya constituir

da por células que se renuevan constantemente a expensas de folículos en atresia fisiológica.

Ahora bien, la destrucción de los folículos impide que las células se repongan en su manantial habitual, y como resultado, al cabo de tres meses el ovario queda reducido a dimensiones ínfimas. ( 11 )

Si la dosis de radiación ha sido suficiente, y quedaron destruidos todos los folículos, los que resistieron vuelven a evolucionar tras un período de inhibición que dura de tres a seis meses. La glándula intersticial se forma entonces a expensas de los folículos. ( 11 )

Reportes clínicos indican que la función ovárica puede ser severamente disturbada por dosis terapéuticas de radiación. Mujeres premenopáusicas quienes recibieron 500 rad a la región ovárica, mostraron amenorrea, esterilidad permanente y una disminución en la excreción de estrógenos. — ( 15 ) ( 19 )

Fenómenos iguales se observan en terapéutica cuando se tratan fibromas por los rayos x. Se tienen dos casos reportados por David M. Farrell y George A. Hahn ( del Jefferson Medical College ) de reacciones terciarias. Una ocurrió diez años después de la terapia radial inicial y la otra, un año y medio después de la terapia primaria. ( 18 )

La irradiación con rayos roentgen, no debe repetirse indiscrimina-

damente en el tratamiento de cáncer al cervix. Reacciones vaginales recurrentes pueden ocasionar un cambio en los tejidos; e irradiación adicional puede ser causa de daño serio en la vagina.

Deberá hacerse la biopsia de las áreas circundantes al cérvix o bóveda vaginal, para excluir carcinomas recurrentes, antes de administrar radiación adicional. Daños causados por la radiación, como hemos visto, pueden ocurrir hasta doce años después del tratamiento inicial. ( 18 )

Los oocitos humanos han sido llamados, uno de los más radioresistentes de los que se conocen. Este juicio ha sido basado en una irradiación en vivo de 100 a 7000 rad, en ovarios obtenidos de ratas y ratones en edad prepubertal, en monos maduros y en fetos humanos. ( 19 )

En 1977, en Copenhague, se reporta la investigación realizada por tres médicos: Himmelstein-Braw, Peters y Faber, sobre los efectos de la irradiación en doce niñas que presentaban tumores abdominales.

Los ovarios se obtuvieron en la autopsia. Todas murieron por efecto del tumor ( ocho de neuroblastoma abdominal y cuatro de nefroblastoma ). La edad oscilaba entre cinco meses y siete años. A la mayoría se les había practicado la cirugía como parte del tratamiento. Los casos fueron divididos en cuatro grupos, según el tipo de tratamiento que se les administró en vida:

- A) Laparotomía ( incisión de la pared abdominal en cualquier tiempo de muchas operaciones sobre órganos abdominales ).
- B) Quimioterapia.
- C) Radiación.
- D) Radiación y Quimioterapia.

El grupo C estaba compuesto por dos casos: ambas niñas tenían Tumor de Wilms ( embrioma del riñón ) y se les había administrado 2 500-rads en un curso completo de radioterapia durante un período de treinta días; el grupo D lo formaban cinco casos en los que se empleó la radiación y además una quimioterapia. La irradiación abdominal en este grupo ( 2000-3000 rads ) fué administrada durante un período de 21 a 30 días. El período entre la irradiación y la muerte, en todos los casos, variaba entre una semana y un año.

Para control se tomaron veinticinco ovarios de niñas fallecidas en accidentes o después de enfermedades cortas y fulminantes. Todos estos ovarios se observaban con un crecimiento bastante activo hasta el momento del deceso; con un contenido de folículos antrales y preantrales sin crecer y de diferentes tamaños, así como cicatrices y folículos colapsados.

En contraste con éstos, los ovarios de las niñas con tumores abdominales, presentaban metástasis, contenían solo folículos sin crecimiento;

cicatrices de folículos y ovarios pasivos. No se observaban folículos colapsados o en crecimiento. ( 19 )

Estas son las alteraciones que se producen en ovarios jóvenes. Como podemos ver son algunas, sin embargo, como hemos mencionado, el daño es mayor cuando se trata de ovarios maduros. Y, desde luego, estamos hablando de grandes dosis de radiación.

Durante la última década, ha habido un aumento considerable en el grado de curaciones, y más cantidad de niños así tratados podrán llegar a la madurez.

Portman y McCullagh ( 1953 ) reportaron falta de desarrollo sexual y trastornos en los ciclos menstruales, en una muchacha de diecisiete años que había recibido 1 300 rads a los ovarios, a la edad de quince meses. ( 19 )

En tres sextas partes de muchachas que fueron tratadas por tumores abdominales, aplicándoles en radioterapia 2 500 rad, se observó la presencia de amenorrea primaria. ( 19 )

Shalet ( 1976 ), reporta un aumento de gonadotropinas y una baja en los niveles de estradiol, en dieciocho pacientes tratados con 2 000 - a 3 000 rad por tumores abdominales durante la infancia.

Tales cambios en los niveles hormonales indican un daño a los -

ovarios. La patología ovárica en los niños que han recibido radiación abdominal en los casos presentados, nos lleva a confirmar esto. ( 19 )

Ahora, respecto a exámenes radiológicos a mujeres embarazadas, deben evitarse hasta donde sea posible. En caso de tratarse de una urgencia y sean indispensables los exámenes radiológicos, se proporcionará toda clase de protección contra la radiación al producto fetal para evitar una dosis no mayor de un rem, en especial durante los dos primeros meses del embarazo.

Según Fritz-Niggli la fase de preimplantación, es decir, del séptimo al treinta y seis días de embarazo, es cuando más sensibilidad existe. La sensibilidad decrece a medida que el embarazo progresa. El rango de dosis en las que se puede tener la seguridad de no producir un mal en el feto - en el primer mes, es de 40 a 60 r; en el segundo, de 90 a 150 r; en el quinto, de 250 a 450 r. ( 20 )

Ahora bien, ¿cuál es la dosis de radiación que afecta al feto - cuando se toman las radiografías? Suponiendo que para un examen se toman como máximo dos radiografías con un kilovoltaje mayor de 100 y un miliamperaje relativamente bajo, el rango del valor de la dosis caerá dentro de los 50 a los 500 mr, dependiendo de la clase de radiografía, de la persona misma que se examina y de la forma de medición. Lo más seguro -



es, sin embargo, que independientemente de la técnica que se siga, nunca se sobrepase la dosis de 1 rem, arriba mencionada. ( 20 )

No se sabe con seguridad si tan pequeña dosis tenga realmente - un efecto nocivo, pero se han hecho muchas investigaciones, entre ellas la efectuada por Stewart y sus colaboradores, en la que comprobaron que de 1 700 niños que murieron durante sus primeros diez años de vida, de leucemia, el 10% de ellos habían sido examinados con rayos x, durante su vida intrauterina. Como podemos ver, es un número bastante pequeño, sin embargo queda la interrogante de si el 90% restante pudo haber enfermado también de leucemia o cualquier otra afección en su vida posterior, si hubieran sobrevivido. ( 20 )

Por otra parte, en otra investigación que se hizo, de 525 pacientes embarazadas que fueron radiadas, 523 tuvieron niños sanos. Uno murió durante el período del embarazo y otro durante el parto. A todas las pacientes se les tomaron por lo menos dos radiografías del abdomen. Algunas de las pacientes tuvieron hasta dos embarazos posteriores y fueron normales. De los niños, cuatro murieron después de diferentes edades y todos de causas ajenas a los efectos de la radiación ( accidentes, shock, etc. ).(20)

Los anteriores son resultados comunes y corrientes. Las investigaciones prosiguen, pero se cree que el número de casos sigue siendo relati-

vamente pequeño.

A pesar de todo es importantísimo seguir los lineamientos principales en el examen radiológico de mujeres embarazadas?

1) No hacer ningún examen radiológico en el área abdominal - antes de los cinco primeros meses del embarazo.

2) El examen radiológico debe ser el último recurso dentro de la cadena de exámenes clínicos. ( 20 )

Ahora bien, hasta ahora hemos visto el efecto de la radiación limitado al daño causado en el cuerpo del individuo. Pero también existe un segundo efecto: esto es, el que actúa sobre los genes y células reproductoras; el efecto genético. ( 2 )

Si es verdad que los efectos de la radiación sobre las células y glándulas reproductoras es tan malo, podemos entonces preguntar: ¿qué tan malo? Un cálculo aproximado es que de cada 100 000 000 de nacimientos, habrá 40 000 mutantes en la primera generación. ( 2 )

Debido a la naturaleza progresiva de estos cambios, las personas dedicadas al estudio de la genética, se hayan muy preocupadas por el efecto de las radiaciones en la estructura gonadal; y han adoptado la filosofía de que cualquier tipo de radiación, es radiación mala.

Una conclusión que parece ser más evidente es que las mutacio-

nes son producidas solo cuando las glándulas reproductoras o las gónadas -- son radiadas directamente. ( 2 )

Eso tiene importantes implicaciones prácticas. Es posible prevenir tal exposición de las gonadas y continuar tanto con los exámenes médicos- como radiológicos, colocando protectores locales, sobre las gónadas durante la exposición radiológica. ( 2 )

## CAPITULO 4

### PROTECCION RADIOLOGICA

La raza humana ha estado siempre expuesta a la radiación ionizante de origen cósmico y de fuentes naturales que se encuentran en el ambiente y dentro del cuerpo humano. ( 21 )

La radiación proveniente de rayos cósmicos, minerales radioactivos, etc., se considera radiación "de fondo". Esta radiación es considerada del orden de 100 mr/m. ( 22 )

Hoy en día, la radiación natural representa solo una de las muchas fuentes a que el hombre está expuesto; las máquinas productoras de radiación y los materiales radioactivos que están presentes en casi todas las fases del ambiente, constituyen las principales fuentes de radiación. ( 21 )

Además de que, como hemos visto, la radiación es capaz de producir daños biológicos, existen ciertos factores en relación con ellos los cuales determinan el camino a seguir para la protección contra la radiación. ( 21 )

Con el descubrimiento de los rayos x, se despertó también la in

quietud por descubrir nuevas formas de protección en los casos en que las dosis de radiación eran excesivas y representaban un peligro, algunas veces para el paciente y las más, para el operador. ( 2 )

Las precauciones son tomadas universalmente y aceptadas como parte importantísima en la aplicación de los rayos x. Los sentidos normales de la vista, el tacto, el oído, olfato y gusto no responden, sin embargo, a la presencia de los rayos x o gamma. ( 8 )

Hemos visto los daños que una dosis excesiva de radiación puede causar tanto en órganos como tejidos del cuerpo humano, incluyendo una alteración en el número de glóbulos blancos ( leucemia ). ( 5 )

Se dice generalmente que la dosis de radiación es acumulativa. Esto no es rigurosamente cierto, en realidad lo que se acumula es el efecto. ( 5 ) Algunos cálculos muestran que el promedio de exposición ( exclusivamente radiación de respaldo ) en la población general es de 5 r a la edad de 30 años. ( 22 )

Internacionalmente se ha aceptado que la dosis de exposición -- máxima permitida, de cualquier parte del cuerpo de una persona que esté expuesta continua o intermitentemente, no debe ser mayor de 0.1 r por semana. En los últimos años, la revisión de las dosis de tolerancia, y consecuentemente el espesor de las barreras de protección, han estado bajo con\_

sideración. ( 5 )

La más reciente recomendación del Comité Nacional de Protección Radiográfica, es como sigue:

La dosis máxima total, a la que debe estar espuesta cualquier parte del cuerpo, continua o intermitentemente, deberá ser: 0.300 r por semana. En la base de 48 horas por semana de exposición uniforme, las dosis permitidas son:

- A) 0.00625 r por hora ( 6.25 mr. por minuto )
- B)  $1.04 \times 10^{-4}$  r por minuto ( 0.104 mr. por minuto )
- C)  $1.74 \times 10^{-6}$  r por segundo ( 0.00174 mr. por segundo ).

Por lo tanto, es necesario reducir la cantidad de radiación ( primaria y secundaria ), en el espacio ocupado por el personal ( 8 ). La radiación suave, del tipo usado para difracción, es la más fácilmente absorbida por los tejidos del cuerpo, y consecuentemente, fuente de grave peligro para el operador. ( 6 )

Dos métodos básicos reducen la intensidad de la radiación a un valor de seguridad:

1) Tanto los rayos x como los rayos gamma, pierden intensidad de acuerdo con la ley de la inversa al cuadrado de la distancia. De ahí que la distancia que se use para establecer condiciones para operaciones -

de seguridad, sea un factor muy importante.

2) Las propiedades de absorción de los materiales, pueden ser usadas para reducir el haz primario a un valor de seguridad, ya que se emplean como barreras. Tales barreras son usualmente de plomo, concreto, aluminio, tierra u otros materiales convenientes. ( 8 )

Es demasiado pronto para asegurar que la dosis aceptada como permisible y segura es efectivamente inofensiva. ( 5 ) La protección contra los rayos x y rayos gamma han sido el tema de investigaciones extensas y datos en diferentes publicaciones. ( 8 )

Debemos reconocer que vivimos en un mundo radioactivo, un mundo que ha sido radioactivo desde su origen y que continuará así por siempre. Nosotros no incrementamos o reducimos los riesgos al reconocerlos. Debemos presentar información calculada no para ocultarla, sino para informar a la gente acerca de ella. ( 2 )

El control de las dosis de exposición se realiza por medio de instrumentos especiales llamadas Dosímetros, que el personal que trabaja o tiene que ver de algún modo con las áreas de radiación, debe traer consigo siempre. ( 5 )

Los dosímetros pueden ser desde una pequeña porción de película virgen de una envoltura especial, que se coloca sobre la solapa, hasta ins

trumentos de mucha precisión, no mayores que una pluma fuente, colocados sobre el bolsillo de la persona. ( 5 )

En el caso de la película, al ser ésta expuesta a la radiación - ( y consecuentemente la persona ), sufre un ennegrecimiento, que al comparar con patrones especiales, da la dosis de exposición. ( 5 )

Los dosímetros del tipo de Cámara de Ionización constan de un recipiente con volumen de aire o gas susceptible de ionizarse al ser irradiado. La formación de iones origina unidades de carga que están en razón directa con la intensidad de la radiación. Para conocer la cantidad de ella, el dosímetro se conecta a un electrómetro, que al descargarlo, da exactamente la lectura en unidades de radiación. ( 5 ) ( 22 )

Igualmente para la detección de radiaciones existen otros aparatos llamados Contadores, de los cuales el más usado es el de Geiger Muller, que da directamente la intensidad en sus correspondientes unidades. ( 22 ) ( 5 )

Las áreas de irradiación y de trabajo deben delimitarse perfectamente, ya sea por medio de vallas, rejas o anuncios perfectamente visibles. Las salas de rayos x deben estar provistas de barreras de protección, calculadas de acuerdo con el equipo con que se cuente. ( 5 )

El uso apropiado y cuidadoso de los equipos radiográficos puede



moderar el efecto adverso de las radiaciones, a través de tres principios de protección:

1) El primero de estas es la defensa, interponiendo entre el personal y la fuente de radiación una cantidad adecuada de sustancia, la cual bloquea la radiación. En un diagnóstico radiográfico, protección significa concretamente plomo. Contra otras formas de radioactividad, significa agua o alguna otra sustancia que absorba la radiación antes que haya alcanzado al personal.

2) El segundo principio es la distancia, desde la fuente de radiación para aminorar el efecto.

El tercer principio es el tiempo. La cantidad pasada en el sitio de la radiación crea una cantidad proporcional de radiación. (2)

La era de la radioactividad se encuentra todavía en su primera infancia. Lo que nosotros ahora percibimos es apenas el resplandor del amanecer en un nuevo período que puede organizarse en derredor del átomo y la radioactividad. (2)

Muchas razones tenemos para pensar que los beneficios de la radioactividad son mayores que los riesgos que representa trabajar con ella. —

(5)

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES

1. La magnitud de los efectos de la radiación va a depender de la dosis total acumulada.
2. Se observa una variación en la sensibilidad de las diferentes células, siendo más sensibles aquellas que se encuentran en un período de reproducción más activo.
3. De lo anterior se deduce la radiosensibilidad de las células jóvenes y los fetos.
4. Existe un período antes que los efectos de la radiación se hagan presentes, el cual puede variar desde unas horas, hasta décadas y aún generaciones.
5. Según el tiempo de aparición dichos efectos se clasifican en: agudos ( si se presentan precozmente ), o tardíos.
6. Se consideran efectos agudos los que se presentan en un período de días o semanas después de la exposición.
7. Los efectos agudos son dañinos, pero hay recuperación, no sucede así

con el daño producido por efectos tardíos.

8. Se observa que uno de los efectos tardíos es la producción de cáncer, aunque la naturaleza de este efecto no es conocida. Se incluye, desde luego, la leucemia.
9. El grado de sensibilidad a la radiación, va a variar según la constitución del tejido u órgano afectado, así como de la dosis que le sea aplicada.
10. El hueso, por su contenido en calcio algunas veces resulta más resistente.
11. Los cocitos humanos, también han llegado a considerarse uno de los más radioresistentes.
12. Independientemente de la producción de cáncer o cualquier otra enfermedad, la exposición excesiva de radiación puede producir un acortamiento de vida no especificado.
13. En el caso de exposición hacia áreas reproductoras, se ha comprobado que únicamente radiaciones dirigidas hacia el área pueden ser causa de alteraciones.
14. En el hombre se considera el espermatozoonio, como célula más radiosensible.
15. En la mujer, se dan casos en que por dosis únicas se presentan cuadros

de amenorrea y hasta esterilidad, a veces permanente.

16. En casos de embarazo, se reporta que después del quinto mes, dando la dosis conveniente, pueden efectuarse exámenes radiográficos, si éstos son indispensables para el tratamiento médico.
17. En caso de no ser muy necesarios se recomienda evitar al máximo los exámenes radiográficos, utilizándolos sólo como último recurso, en el tratamiento de mujeres embarazadas.
18. La exposición a radiaciones va a incrementar así mismo la rapidez — normal de mutaciones genéticas.
19. Es necesario presentar información calculada, en materia de protección, y proporcionarla a la gente que es propensa a ser afectada por la radiación.
20. Se estima que únicamente por radiaciones provenientes de la tierra o cósmicas, el hombre en sus primeros treinta años de vida recibe aproximadamente cinco r, además de la recibida por exámenes médicos y dentales.
21. Se recomienda el uso de dosímetros para controlar la cantidad de radiación a la que se está expuesto.

## BIBLIOGRAFIA

1. Physics for Science and Engineering.  
Robert L. Weber. Marsh W. White. Kenneth V. Manning  
McGraw-Hill Book Co. Inc. 1957.  
págs. 445-447.  
449,453,575,576.
2. The Story of X Rays from Roentgen to Isotopes.  
Alan Ralph Bleich.  
Dover Publications, Inc. New York. 1960.  
Págs. 3-4; 9-13; 14-15;19-20.
3. Introducción al Estudio de la Radiografía.  
John Eggert.  
3a. Edición Berlín, 1928.  
Págs. 10-13.
4. Radiología Dental.  
Arthur H. Wuehrmann.  
Salvat Editores, S.A.  
2a. Edición, 1971.  
Págs. 2-4;10-11.
5. Los Rayos X en la Industria.  
Ing. Luis Rodríguez Terán.  
Revista Técnica IEM.  
Vol. XXVI Núm. 62 Mayo 1969.  
Págs. 18-26.
6. Structure of Metals.  
( Crystallographic Methods, Principles and Data ).  
Charles S. Barrett. Ph. D.  
Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1a. Edición 1943.  
Págs. 54, 59, 61.

7. Apuntes tomados en la cátedra de Radiología.  
Dr. Salvador Tercero. 1976.
8. Metals Engineering Design.  
ASME Handbooks.  
Editado por: Oscar J. Fierger.  
McGraw-Hill Book Co. Inc.  
1a. Edición 1953.  
Pág. 251.
9. Industrial Radiography  
Geavert Photo-Producten N.V.  
Belgium.  
Pág. 8.
10. Manual de Fisiología Médica.  
Dr. William F. Ganong.  
Ed. El Manual Moderno, S.A.  
4a. Edición. 1974.  
Págs. 1,3,243.
11. Tratado de Patología Médica y Terapéutica Aplicada.  
Vol. II Radiología.  
Emilio Sargent.  
Ed. Pubul. Barcelona  
2a. Edición 1936.  
Págs. 218-220; 222-225.
12. Diccionario Terminológico de Ciencias Médicas.  
E. Capdevila Casas.  
Salvat Editores, S.A.  
3a. Edición 1950.
13. Fundamentals of Radiobiology.  
Z.M. Bacq  
Pergamon Press 2a. Edición 1966.  
Págs. 314, 339, 354.

14. Cancer of the Colon as a late sequel of Pelvis Irradiation.  
Richard Greenwald M.D.  
American Journal of Gastroenterology  
Vol. 69 Núm. 2 págs. 196-198.  
Febrero 1978.
15. Radiation and Health  
Katherine Williams  
Ed. Longmans. London.  
2a. Edición 1962.  
Págs.
16. Biological Effects of external X and Gamma Radiation.  
Part I.  
Editada por: Raymond E. Zirkle.  
1a. Edición, 1954.  
Mc Graw-Hill Book Co. Inc.  
Págs. 430, 432-433.
17. Effects of Therapeutic Radiation on Microstructure of the Human Mandible.  
Irene Savostin-Ashing and Sol Silverman Jr.  
American Journal of Anatomy.  
Vol. 151 Núm. 2 Págs. 295-305.
18. 1944 Yearbook of Radiology.  
Charles A. Waters.  
Ira I. Kaplan  
The Yearbook Publishers Inc.  
Chicago 1944.
19. "Influence of Irradiation and Chemotherapy on the Ovaries of Children with Abdominal Tumours".  
Himelstein-Braw, Peters, and Faber.  
British Journal of Cancer.  
Vol. 36 Núm. 2 págs. 269-275.  
August, 1977.

20. "Zur Roentgendiagnostik wahrend der Schwangerschaft".  
K. Forchem.  
Wiener Klinische Wochenschrift,  
Vol. 87 Núm. 20 págs. 699-701.  
31 Oktober. 1975.
  
21. Principios básicos sobre Protección Radiológica a Trabajadores profesionalmente expuestos.  
U.S. Department of Health, Education and Welfare.  
En una publicación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear.  
México, 1967. págs. 2-4.
  
22. The Physics of Medical Radiography.  
Arthur Ridgway-Walter Thumm.  
Addison-Wesley Publishing Co. Inc.  
1968. Págs. 383; 401-404.