UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ODONTOLOGIA

162 -

LOS RAYOS "X" Y SUS EFECTOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

CIRUJANO DENTISTA

P R E S E N T A :

ADALBERTO CARRANZA PORTUGAL

MEXICO, D. F.,

1981

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

I N T R O D U C C I O N

Los capitulos sobre efectos bilógicos y protección radiológica, son los de mayor importancia; sobre todo para aquellos que recientemente terminaron la carrera de Odontologos; hago incapie en esto debido a lo fugaz con que vimos estos temas durante la carrera y lo trascendental que son.

No pretendo afirmar que este trabajo contiene todo lo que se refiere a los efectos biológicos y a la protección radiológica, pero si los puntos de mayor importancia.

A todos los compañeros que deseen ampliar el tema les suplico, por favor, revisen la bibliografía al final de este pequeño trabajo.

I N D I C E

Página

I N T R O D U C C I O N 1

C A P I T U L O I

DEFINICION DE LOS RAYOS X

1). - Definición de los rayos X 2
2). - Origen de los Rayos X 4
3). - Propiedades de los Rayos X 7
4). - Tipos de radiación en odontología 8
5). - Producción de los Rayos X 10

C A P I T U L O II

EFECTOS BIOLOGICOS

1). - Efectos biológicos
a) Cronología del síndrome de irradiación 15
b) Efecto directo e indirecto 16
c) Mecanismo de la radiación ionizante 16
d) Radiosensibilidad celular 17
e) Radiosensibilidad tisular 19
f) Clasificación de Warren 24
g) Clasificación en orden decreciente de la radiosensibilidad en los distintos tipos de células. 25 26

Página

h) Agresión latente en los tejidos y efectos acumulativos 27
i) Efectos generales: Enfermedad por la radiación y Caquexia por irradiación 27
2). - Cambios a nivel molecular y bioquímico 29
3). - Efectos sobre piel 31
4). - Efectos en tracto gastrointestinal 36
5). - Pulmones 37
6). - Tiroides 37
7). - Huesos y Cartílagos 38
8). - Sangre y órganos hematopoyéticos. Tejido linfático 39
9). - Organos reproductores y Reproducción 45
10). - Protección contra los Rayos X 48

B I L I O G R A F I A 58

C A P I T U L O I

DEFINICION DE LOS RAYOS "X"

1).- DEFINICION DE LOS RAYOS "X".

Son ondas de energía electromagnética de onda -- corta que viajan a la velocidad de 300,000 km por segundo. - Esta longitud de onda es entre 0,1 y 100 unidades Å.

DEFINICION DE ALGUNAS UNIDADES EMPLEADAS EN - - RADIOLOGIA.

AMPERE. Es la intensidad de una corriente que - pasando por conductores, delgados, paralelos, rectilíneos, de longitud infinita en el vacío y separados un metro - - ejercen entre si una fuerza de 2×10^{-7} newton por cada metro longitud.

VOLT. Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor tales que al pasar una cantidad de electricidad de un-

joule entre dichos puntos.

COULOMB. Es la cantidad de electricidad que pasa durante un segundo a través de una sección transversal de un conductor por el que circula una corriente constante de un ampere de intensidad.

OHM. Es la resistencia de un conductos tal que cuando pasa por él una corriente de un ampére, la diferencia de potencial entre sus dos extremos es de un volt.

AMPERIMETRO. Son galvanómetros (aparatos para saber si está pasando o nó una corriente) que se emplean para medir la intensidad de las corrientes.

VOLTIMETRO. Son aparatos destinados a medir la diferencia de potencial entre dos cargas electricas.

EFECTO JOULE. Es cuando una corriente que pasa por un conductos eléctrico no consume energía produciendo algún efecto mecánico o químico, ordinariamente dicha energía se manifiesta en forma de carlos, haciendo que se eleve la temperatura del conductor.

EFECTO EDISON. Consiste en que un filamento incandescente colocado en el vacío emite electrones.

ROENTGEN Es la cantidad de radiación "X" o Gamma que produce una unidad electrostática de carga negativa o positiva en 0,001293 gramos de aire seco.

RAD: Corresponde a una absorción de 100 erg/gramo de tejido.

ROENTGEN EQUIVALENTE HOMBRE (abreviado REM) Es la dosis de cualquier radiación ionizante que produce el mismo efecto biológico en el tejido como el originado por un roentgen de radiación. El roentgen frecuentemente se divide en mil partes iguales llamadas miliroentgen lr = 1,000 mr.

DOSIS DE RADIACION. Es la radiación total que entra en un área o volumen especificado, se mide en roentgen por hora o en miliroentgen por hora.

2 - ORIGEN DE LOS RAYOS " X ".

El 8 de noviembre de 1895 Wilhelm Conrad Röentgen, profesor de física de la Universidad de Würzburg, Alemania descubrió una clase de Rayos, a los que llamó Rayos "x".

A continuación describimos el relato de éste acontecimiento histórico, tal como lo relató el 5 de noviembre de 1897 Sylvanus P. Thompson, Físico fundador de la British Röentgen Society.

"El 8 de noviembre será una fecha memorable siempre en la historia de la ciencia. En éste día se observó por primera vez una -- luz que el ojo humano no había visto, ni en la tierra ni en el mar. La -- observó el profesor Wilhelm Conrad Röentgen en el instituto de física de la Universidad de Würzburg Baviera. Lo que vió con sus propios ojos -- fué una iluminación débil y titilante de color verdusco sobre un pedazo-- de cartón cubierto de un preparado químico fluorescente. Sobre la superficie débilmente iluminada se veía una sombra obscura lineal. Todo ésto sucedía en una habitación cuidadosamente obscurecida, de la cuál se había excluido, escrupulosamente toda clase de rayos o luces conocidas. -- En la habitación había un tubo de Crookes estimulado internamente por - las chispas producidas por un carrete de inducción, pero cuidadosamente protegido con cartón negro, impermeable a toda clase de luz conocida, - aún la más intensa. Sin embargo, en ésta obscuridad arreglada exprofesamente para que el ojo pudiera observar fenómenos luminosos, no se-- veía nada hasta que aparecieron los rayos desconocidos, emanando del - tubo de Crookes y penetrando la cubierta de cartón, hasta llegar a la pantalla luminiscentes, revelando en ésta forma su existencia.

"Para el investigador avezado, no fué cuestión más que de unos minutos, observar en la pantalla fluorescente la iluminación producida por los rayos invisibles, y la línea sombreada que atravezaba y darse cuenta, de que inmediatamente que en el tubo de Crookes estaba la -- fuente de Rayos "X". Los rayos invisibles, ya que invisibles eran hasta

que caían sobre la pantalla tratada químicamente, tenían un poder penetrante hasta en aquel momento nunca imaginado. , Penetran cartón, madera, tela, con gran facilidad. Atravezaban incluso una tela gruesa, un libro de 2,000 páginas, iluminando la pantalla colocado al otro lado. -- Ciertos metales por ejemplo, el cobre hierro el plomo, la plata y el -- oro, eran menos penetrados, siendo los más densos practicamente opacos. Lo más sorprendente de todo es que atravezaban la piel humana, - que eran muy transparentes mientras que los huesos eran bastante opacos. Así fué como el descubridor interponiendo sus manos entre la fuente de Rayos "X" y el pedazo de cartón fluorescente vió la silueta de los- huesos de su propia mano en la pantalla.

Las propiedades que Röentgen hizo resaltar fueron:

a) Que todos los cuerpos eran más o menos permeables a- a las nuevas radiaciones, existiendo sin embargo gran-- des diferencias entre ellos en lo referente a la absorción de la energía.

b) Que la intensidad de la radiación disminuye en razón con el cuadrado de la distancia al punto de origen.

c) Que los Rayos "X" producen fluorescencia si inciden sobre substancias fotoluminiscentes.

d) Que enegrecen emulsiones fotográficas que contengan floruro de plata.

e) Que se propagan en línea recta no siendo desviados por-- campos eléctricos ni magnéticos.

Después de 6 meses se editó la primera revista roentgenológica en mayo de 1896; en el año de 1897 se publicaron los primeros resultados del roentgenodiagnóstico y los primeros resultados en la roentgenoterapia.

3). - PROPIEDADES DE LOS RAYOS " X ".

Las propiedades de los Rayos "X" son las siguientes:

1. Se propagan en línea recta con la misma velocidad de la luz.
2. No se desvían por campos eléctricos ni magnéticos.
3. Sufren refracción, difracción, reflexión, y polarización en estructuras cristalinas, y a veces en estructuras amorfas.
4. No se dejan enfocar por medio de una lente.
5. Penetran substancias opacas, y también cuerpos opacos a la luz, siendo absorbidos por ellos mismos en función de su espesor, ya que poseen longitud de onda corta.
6. Impresionan la placa fotográfica por la propiedad química de descomponer el bromuro de plata de que está constituída la placa fotográfica.
7. Que ven luminiscentes por inducción de fluorescencia a- numerosos cuerpos como el platinocianuro de bario, ---

tungsteno de calcio, tungstato de cadmio, dando funda-- mento al método de la radioscopía, ya que de éstas sub- tancias constan las pantallas fluoroscópicas.

8. Los rayos ionizan los gases, convirtiéndolos de malos-- conductores de la electricidad a buenos conductores, lo- grándose mediante ésta propiedad la obtención de la uni- dad r usada en radioterapia.

9. La incidencia de los rayos "X" sobre un cuerpo provoca la aparición de radiación secundaria.

10. Los rayos "X" actúan biológicamente sobre el organismo humano, provocando modificaciones fisicoquímicas celu- lares, intersticiales y plasmáticas.

4). - TIPOS DE RADIACION EN ODONTOLOGIA.

Los tipos de radiaciones Alfa(α), las radiaciones beta (β) - las radiaciones gamma (γ), y los rayos "X".

A excepción de los rayos "X", las demás radiaciones mencionadas están constituídas en el elemento radium. Y los rayos beta --- siempre van acompañados de los rayos "X".

Estas radiaciones se caracterizan por presentar propiedades comunes y particulares; aunque desde el punto de vista biológico --- actúan sobre las células de igual manera, solo difieren una de otras por el poder de penetración.

Propiedades comunes: Estas propiedades se dividen a su -- vez en: Efectos físicos, efectos químicos, y efectos biológicos.

Efecto Físico: Ionizan gases conductores, y excitan la fluorescencia de ciertas substancias.

Efecto químico: Impresionan la placa fotográfica.

Efecto biológico. Ya se mencionó anteriormente que solo-- difieren por el poder de penetración.

Propiedades Particulares:

Rayos Gamma. Tienen longitud de onda corta como los rayos "X". poder de penetración mayor, siendo capaces de producir irradiación bastante uniforme en todo el cuerpo. No se desvían por campos eléctricos y magnéticos. Son de 10 a 100 veces más penetrantes, producen menos ionización que los rayos beta.

Rayos Alfa. Tienen poder de penetración de menos 1/10 de mm en el humano, produciendo lesiones celulares-- circunscritas al sitio de irradiación. Atraviezan -- unos centímetros en el aire. No pueden pasar una- delgada capa de aluminio, ni una hoja de papel ordinario. Pueden ser desviados por campos eléctricos y magnéticos. Su velocidad puede llegar a 2×10^{10} cm/seg. Es agente de ionización potente. Por eso producen mayor ionización en tejido que en aire.

Rayos Beta. Están formados por electrones de alta anergía con carga negativa, pueden ser desviados por acción de campos eléctricos y magnéticos. Tienen una velocidad que difieren muy poco a la de la luz. Son mucho mas penetrantes que las radiaciones alfa. Estos rayos penetran un mm de alumfnio. Van siempre --- acompañados por los Rayos "X". El organismo contiene 150 g de K y en el se encuentra el isótopo radioactivo potasio 40 en proporción de una parte por --- 8,000. El cuerpo recibe de él mas de 400 partículas beta por segundo.

5). - PRODUCCION DE LOS RAYOS " X ".

Los Rayos "X" se producen cuando los electrones (partículas cargadas negativamente inciden con muy alta velocidad sobre la materia y son frenados repentinamente. La radiación "X" así producida -- consiste en mucha y variadas longitudes de onda que, juntas, forman un espectro continuo. La composición de éste espectro está determinada - principalmente por la velocidad de los electrones que inciden en el blanco (es decir por el potencial aplicado al tubo), pero depende también del material de que está hecho el blanco que es de tugnsteno.

La manera mas eficaz de producirlas es con un tubo de --- Rayos "X". Este es un dispositivo electrónico considerablemente mayor,

pero en realidad menos intrincado que los tubos electrónicos de un aparato de radio. Dentro del tubo los Rayos "X" se producen dirigiendo una corriente de electrones a gran velocidad contra un blanco de metal. Al chocar contra los átomos del blanco, los electrones se detienen bruscamente, transformándose la mayor parte de su energía en calor (efecto Joule), pero una pequeña proporción (1 % aproximadamente) es transformada en Rayos "X".

El tubo de Rayos "X" más simple consiste en una ampolla de vidrio al vacío, y contiene dos partes principales: el ánodo y el cátodo. El ánodo generalmente es de cobre y se extiende desde uno de los extremos del tubo hasta el centro. En la cara anterior del ánodo, que queda en el centro del tubo, hay un bloque de tungsteno de 3, 2cm^2 más o menos, que se denomina blanco.

El blanco es de tugnsteno por las razones siguientes:

1. Tiene un punto de fusión muy alto que le permite resistir el calor extraordinario a que se le somete. 2. Su número atómico es también muy alto, lo cual hace que se produzca radiaciones X mucho más eficazmente que substancias de menor número atómico. La pequeña zona en el blanco donde chocan los electrones se llama punto focal, y es en realidad la fuente de los Rayos X.

Hay dos clases de ánodo: Fijo y Giratorio.

En el cátodo hay un alambre de tungsteno (filamento) enrollado en forma de espiral y aproximadamente de 1, 27 cm de longitud y

0. 32 cm de diámetro.

Está colocado en un retenedor en forma de copa (llamado - copa enfocadora o copa focalizadora) situado aproximadamente a 2. 5 cm del ánodo. El soporte de la copa enfocadora se extiende fuera del tubo- donde se hacen las conexiones eléctricas apropiadas.

El filamento del cátodo se calienta y se pone incandescente, lo mismo que el filamento de una bombilla eléctrica ordinaria.

Sin embargo, el filamento no se calienta para producir luz sino electrones, los cuales son emitidos por el alambre caliente (efecto- Edison). El cátodo está diseñado y colocado dentro del tubo en tal forma que los electrones forman un haz correctamente dirigido y del tamaño y forma exactos para producir el punto focal deseado en el blanco del ánodo.

Cuando se aplica un voltaje muy alto al cátodo y al ánodo, - los electrones son atraídos hacia el ánodo y chocan contra el punto focal con una fuerza tremenda. Cuanto más alto es el voltaje, mayor es la -- velocidad de éstos electrones. Así se producen los Rayos "X" de longitud de onda más corta y de mayor intensidad y poder penetrante.

El efecto que el tamaño del punto focal ejerce sobre la calidad de los Rayos "X" es muy importante. Cuanto más pequeño es el - punto focal,. mejor es el detalle de la imagen; pero como el punto focal- grande tolera más el calor que el punto focal pequeño, hubo que buscar-

un método por medio del cual se pudiese obtener un punto focal de tamaño práctico y que al mismo tiempo produjera una buena imagen. Estos métodos son: la utilización del foco lineal, y el ánodo giratorio.

El principio del foco lineal se refiere al hecho de que la corriente de electrones se enfoca en forma de rectángulo muy estrecho sobre el blanco del ánodo. La superficie anterior del blanco se coloca a un ángulo de 20° aproximadamente con respecto al cátodo.

Cuando el punto focal rectangular se ve desde abajo, en la posición de la película, se proyecta como un cuadrado pequeño. La zona efectiva del punto focal es solamente una fracción de su zona verdadera.

Usando los rayos "X" que emergen de éste ángulo, se mejora la definición radiográfica mientras que se aumenta la resistencia del ánodo al calor, porque la corriente de electrones se esparce sobre una área mayor. Hasta aquí hemos descrito los tubos de ánodo fijo.

Para aumentar todavía la resistencia del ánodo al calor, se ideó el ánodo giratorio Como su nombre indica, el ánodo en forma de disco gira durante el funcionamiento sobre un eje colocado en el centro del tubo. El filamento se dispone de manera que dirija la corriente de electrones contra el borde del bisel del disco de tungsteno. Así pues, la posición del punto focal (es decir, la zona del blanco donde

golpean los electrones) permanece fija en el espacio mientras el ánodo - circular gira rápidamente durante la exposición, proporcionando continuamente una superficie mas fría para recibir la corriente de electrones.

De ésta manera el calor se distribuye sobre una área circular ancha y para las mismas condiciones de exposición, la zona del punto focal puede disminuirse en más de un sexto de tamaño requerido en - los tubos del ánodo fijo.

C A P I T U L O II

EFECTOS BIOLOGICOS.

1). - EFECTOS BIOLOGICOS.

Para iniciar sobre los efectos biológicos es necesario determinar dos términos importantes que son: El de Radiación, y el de Irradiación. La radiación se refiere a la energía radiante misma; y el término de irradiación para indicar la aplicación de los rayos a un objeto.

Es importante señalar algunos términos o principios generales que gobiernan los efectos biológicos.

Las lesiones por radiación no tienen caracteres patognomónicos que las distingan absolutamente de las otras lesiones, pero por las experiencias se pueden reconocer un conjunto de cambios que las hacen distintas.

A). - CRONOLOGIA DEL SINDROME DE IRRADIACION.

En el esquema 1 (pág. 21) se resume el conjunto de fenómenos biológicos soltados por una irradiación en el caso del hombre o de otros organismos superiores.

Se informa que los fenómenos físicos o biológicos de los cuales dependen todas las modificaciones subsecuentes no duras que una fracción de segundo.

B). - EFECTO DIRECTO E INDIRECTO.

Dos teorías explican la modificaciones bioquímicas primarias debidas a la irradiación. En el caso del efecto directo (teoría de la Cible) se considera que las lesiones moleculares son directamente provocadas por el efecto destructor de las ionizaciones sobre las moléculas importantes desde el punto de vista biológico. En éste caso ninguna radioprotección química es posible. Al contrario si las lesiones moleculares son debidas a los efectos indirectos; aquello visto dice que la mayor parte de las modificaciones primarias portan sobre las moléculas de agua, que no olvidamos que constituyen el 70 % de nuestro organismo. Hay particularmente formación de agua oxigenada y radicales libres, substancias muy reaccionables que podrán enseguida atacar las estructuras esenciales de las células. En éste caso sin embargo el golpe de las moléculas importante son indirectos y a veces ratarda una cierta protección química desviándola posiblemente.

Las dos teorías el efecto indirecto y directo no son contra-

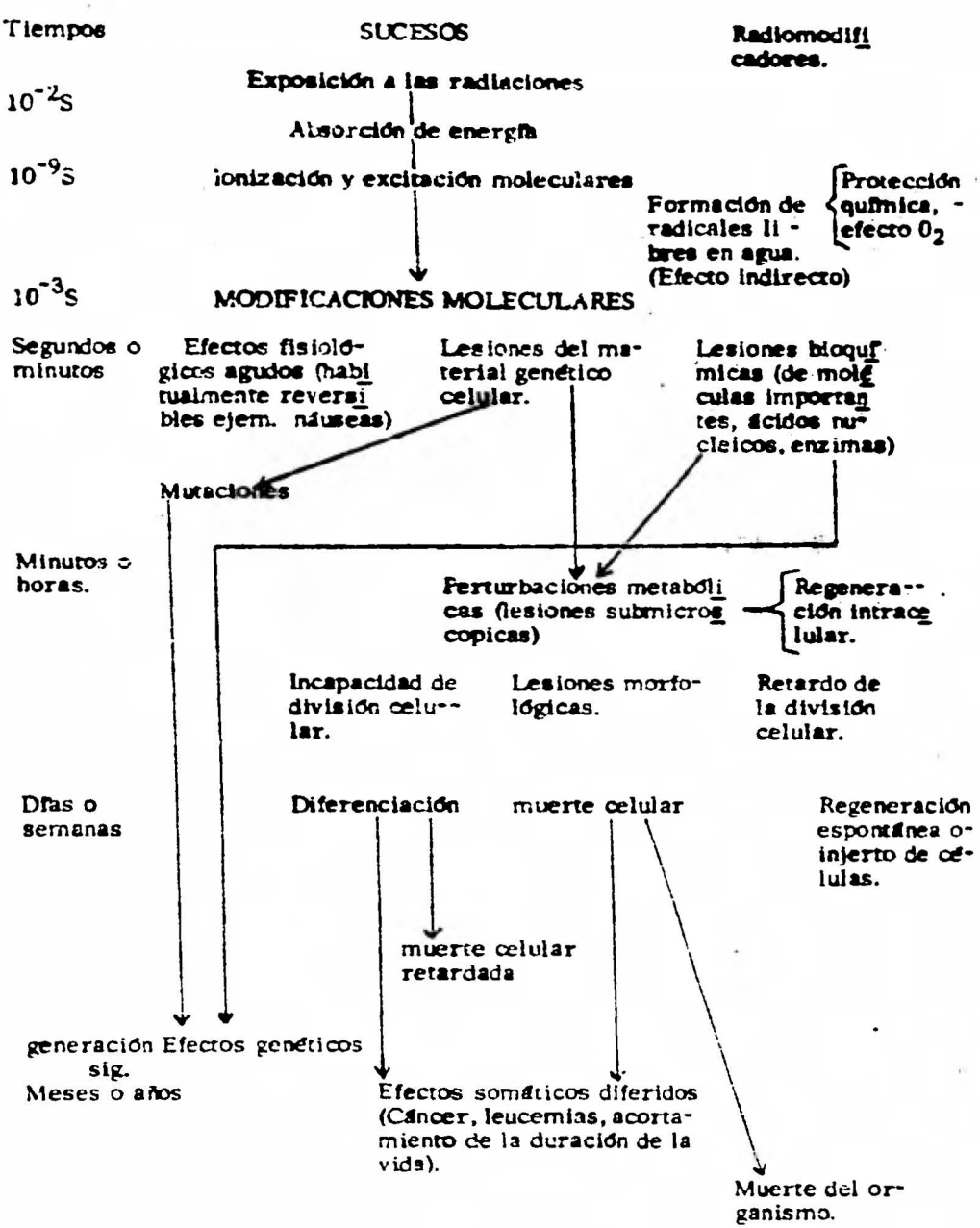
dictorias y los 2 fenómenos se producen entonces de la misma irradiación; en el caso de la exposición a organismos superiores se admite sin embargo ahora que el efecto indirecto juega un papel principal.

C). - MECANISMO DE ACCION DE LA RADIACION IONIZANTE.

La ionización se puede ver como pérdida de un electrón de un átomo en un momento para formar un par iónico, seguido por la -- inversión del proceso rápidamente y vuelta al estado estable. La radiación ionizante produce sus efectos biológicos casi igual por el mecanismo de la ionización. Por eso la energía liberada en la absorción de los Rayos "X" se reduce a una forma efectiva biológica, y las modificaciones tisulares son casi igual.

Los efectos desvastadores se explican por el hecho de que la energía no es absorbida difusa y pareja como todo tejido, sino en forma diseminada. De ésta manera pueden aplicarse altas energías a pe-- queños volúmenes en el interior de los tejidos y causar lesiones localizadas dentro de la unidad celular. La distribución de éstas lesiones focales intracelulares es accidental y pueda causar la muerte de la célula o cambios leves reversibles.

El concepto de lesiones localizadas dentro de una célula -- puede ser en cierto modo difícil de entender, a menos que se recuerde que una célula está constituída por algunos cientos de millones de moléculas y que una sola ionización puede afectar a una única molécula o átomo, dejando a las moléculas vecinas sin modificación.


Tiempos
SUCESOS
Radiomodificadores.
Exposición a las radiaciones
10^{-2}s
Absorción de energía
10^{-9}s
ionización y excitación moleculares
Formación de radicales libres en agua. (Efecto indirecto)
Protección química, - efecto O_2
10^{-3}s
MODIFICACIONES MOLECULARES
Segundos o minutos
Efectos fisiológicos agudos (habitualmente reversibles ejem. náuseas)
Lesiones del material genético celular.
Lesiones bioquímicas (de moléculas importantes, ácidos nucleicos, enzimas)
Mutaciones
Minutos o horas.
Perturbaciones metabólicas (lesiones submicroscopicas)
Regeneración intracelular.
Incapacidad de división celular.
Lesiones morfológicas.
Retardo de la división celular.
Días o semanas
Diferenciación
muerte celular
Regeneración espontánea o injerto de células.
muerte celular retardada
generación sig.
Efectos genéticos
Meses o años
Efectos somáticos diferidos (Cáncer, leucemias, acortamiento de la duración de la vida).
Muerte del organismo.

E s q u e m a 1.

D). - RADIOSENSIBILIDAD CELULAR.

Hemos venido viendo que la sensibilidad celular a la irradiación condiciona la sensibilidad de todo el organismo y, por consiguiente, las manifestaciones clínicas del síndrome de irradiación.

Las leyes de la radiosensibilidad han sido determinadas por Bergonie y Tribundeau desde 1906, sea algunos años después del principio de utilización médica de las radiaciones aunque el término de radiobiología, no había sido creado. Como todas las leyes biológicas, éstas, sufren algunas excepciones y su formulación parece ahora bastante aproximativa, pero después de 60 años ellas quedan válidas en su conjunto.

He aquí el texto exacto:

Los rayos "X" actúan con tanto más intensidad sobre las - células:

1. Cuando la actividad reproductora de las células es muy grande.
2. Cuando su cambio cariocinético es muy grande, (largo).
3. Cuando su morfología y sus funciones son definitivamente menos fijadas.

De la primera proposición de ésta ley se puede deducir, - que la radiosensibilidad es grande en las células que se dividen frecuentemente, ella pasa por un máximo al momento de la mitosis.

De la segunda proposición se deriva que las células que es-

tán a la cabeza de una larga línea mitótica tienen una sensibilidad más-- grande. Esto así, en efecto de las espermatogonias o de los ovogenes - que se multiplican sin interrupción antes de hacerse de los gametos; así de las células cancerosas cuyo poder de división es considerable.

De la tercera proposición de la ley se halla ésta idea de -- una lenta disminución de la radiosensibilidad de la célula al paso que -- ellas alcanzan, por las divisiones sucesivas, un estado especialización- avanzado. Es así, que en los organismos genitales, se ve las Células-- de Sertoli del testículo, y las células intersticiales de las dos glándulas genitales se especializan en un papel secretorio y vuelven poco sensibles a los Rayos "X". Es mismo de los espermatozoides adultos cuya morfología es difinitiva y la sensibilidad muy débil.

Aplicaciones de ésta ley para la radioprotección y radiote- rapia:

1) Papel de la actividad reproductora celular. Primera pro posición: La radiosensibilidad está en función de la acti- vidad reproductora.

Por ejemplo las células del sistema nervioso central que en el caso del adulto se reproducen más, serán poco radiosensibles.

Las células sanguíneas son producidas en la médula ósea y una vez en la sangre circulante no se reproducen más, ellas tienen entre tanto una duración de vida promedio muy variable dispuesta de 16 horas

por ciertos leucocitos, a 40 días o más por los hematíes. Bien que las-
células tronco serán todas muy sensibles, la caída del tipo de los glóbu-
los blancos será después de una fuerte dosis de irradiación mucho más-
precoz y más importante que la del tejido de los glóbulos rojos; por el -
contrario la recuperación aparente será también mucho más rápida por-
los leucocitos. Esto traduce una diferencia en el metabolismo normal -
de las células mucho más que en su radiosensibilidad.

Una consecuencia práctica de éste comportamiento es que-
la fórmula sanguínea no es como se había imaginado un buen criterio pa
ra apreciar la exposición de un individuo a las radiaciones. Se hace una
dósis integral elevada (aguda se acumula sobre un tiempo más o menos-
largo) para provocar las modificaciones hematológicas significativas, de
todas maneras ésta no se manifiesta que a posteriori cuando el mal está
hecho.

Las células de la mucosa del intestino delgado tienen un ci
clo vital de cerca de 3 días: las células tronco de las criptas de Lieberkün
están frecuentemente en mitosis y serán radiosensibles. Si el abdómen
recibe una fuerte dósis habrá una descamación de la mucosa, provocan-
do a la vez una disminución de la absorción de los alimentos y una parte
de líquido, de electrolitos y mismo de gruesas moléculas por transuda-
ción. Al nivel del intestino, descamación y transudación se combinan -
para provocar una diarrea, que si ésta se prolonga puede arrasar desnu
trición importante; en radioterapia las lesiones intestinales serán el prin

cipal factor limitante, la dosis que se puede dar al paciente al nivel del abdomen. En el momento de una dosis de irradiación aguda accidental, una dosis de 2,00 rads al nivel del abdomen provoca casi de golpe seguro, la muerte por destrucción de la mucosa intestinal; por el contrario si la dosis es muy débil y que el paciente sobreviva la recuperación de la mucosa intestinal es prácticamente completa después de una semana.

Si la dosis absorbida sobre-pasa la dosis letal mínima, el tiempo de sobrevida disminuye por partes. Esto permite individualizar por lo menos 3 síndromes debidos a una dosis letal, los Síndromes Hematopoyéticos, el Intestinal, y Nervioso. En efecto después de 12.5 días la muerte es debida a las lesiones de el sistema hematopoyético, después de 3.5 días ella es debida a las lesiones intestinales, y después de algunas horas ella es consecutiva a las lesiones del sistema nervioso central. Como se vé cada uno de éstos síndromes traduce la sensibilidad de una línea celular determinada.

2) Influencia del porvenir mitótico. Segunda proposición: La radiosensibilidad está en función del porvenir mitótico celular.

Una consecuencia importante de éste principio es que el niño, el bebé, es más radiosensible que el adulto. El feto es aún más sensible, y ésto tanto más que la preñez es menos avanzado. Si las conclusiones de los trabajos de Rugh sobre las ratas son aplicadas al hombre, es probable que durante las primeras semanas después de la

concepción, una dosis de algunos rads sean suficientes para producir las mal formaciones. No hacer por consiguiente la aplicación de irradiación en el abdomen en el caso de la mujer encinta hasta no ser posible determinar el período de la preñez.

Una regla importante es: Si uno debe exponer a las radiaciones a la región del bajo vientre en caso de una mujer durante su período de actividad menstrual, y si no hay urgencia las radiografías o radioscopías deberán ser hechas durante la siguiente semana al fin de las reglas, período durante el cuál el riesgo de preñez es mínimo.

3) Influencia de la morfología y de la especialización celular. Tercera proposición: La radiosensibilidad es más grande si la morfología y la especialización celular son menos definitivamente fijados.

Por ejemplo las células indiferenciadas del tejido conjuntivo son grandes potenciales evolutivos que se pueden manifestar a la serie de un envenenamiento excepcional. Una quemadura o un traumatismo por ejemplo: son ellas muy radiosensibles en caso del niño, pués su función no es aún fijada. No se hará por consiguiente irradiaciones de las regiones sobre el miembro inferior, que con miramiento en caso de un niño joven, pues se arriesga un retardo de crecimiento, óseo que se traducirá una vez terminada el crecimiento por un acortamiento de la membrana.

Se ha demostrado que las células del parénquima hepático - son de grandes potenciales evolutivos, sin embargo su morfología y su función serán definitivamente fijados, ellas serán poco radiosensibles.

E). - RADIOSENSIBILIDAD TISULAR.

La radiosensibilidad de los tejidos y de los órganos depende de las células que la componen.

De los sistemas normales los más radiosensibles son la - médula ósea y la mucosa del intestino delgado; ésta radiosensibilidad - externa, limita la dosis que se deben usar o pueden usar en radioterapia a las regiones del organismo, contando de la médula ósea y de los - órganos de la cavidad abdominal, so pena de crear una anemia o de los desordenes intestinales, pudiendo ir hasta la perforación.

Las células de la línea espermática son también muy sen-- sibles. Recientes estudios han demostrado que 15 roentgen son suficientes para producir una depresión de la espermatogénesis, pudiendo du-- rar un año (las dosis producen una esterilidad definitiva serán entre-- tanto mucho más elevadas del orden de 600 a 1, 000 r para el testículo como para el ovario).

Las células óseas no son particularmente sensibles en caso del adulto; en el caso del niño en la región de los cartílagos de conjunción de los huesos largos, ellos responden a los tres criterios de ---

la ley de Bergonie y Tribondeau; en caso del niño joven a la irradiación de las zonas de crecimiento ósea pueden provocar acortamiento y deformaciones particularmente incómodas de -- los miembros inferiores.

F).- CLASIFICACION DE WARREN.

Warren ha sugerido una clasificación en la cuál- los humores pueden clasificarse como: Radiosensibles, Radio- reactivos, y Radioresistentes.

RADIOSENSIBLES: con 2,500 r o menos lesiona o destruye:

Linfocitos, Linfoblastos. Médula ósea (cédulas - mieloblásticas y eritroblásticas), epitelio del intestino y- del estómago. Células germinativas ovulos y espermatozoides.

RADIOREACTIVOS: con 5,000 r lesiona o destruye:

Epitelio de la piel y anexos cutáneos. Endotelio de los vasos sanguíneos.

Glándulas salivales. Huesos y cartílagos en de-- sarrollo; conjuntiva, córnea y vítreo del ojo, Tejido colá-- geno y elástico.

RADIORESISTENTES: 5,000 r o más lesiona o destruye:

Riñón, Hígado, Tiroides, Páncreas, Hipófisis, -- Suprarenales, Paratiroides, Huesos y Cartílagos, Todos los - músculos, Tejido Nervioso, Cerebro.

G). - CLASIFICACION EN ORDEN DECRECIENTE DE LA RADIOSENSIBILIDAD DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CELULAS.

1). - Linfocitos y granulocitos.

2). - Células de las gónadas, de la médula ósea y la piel.

3). - Células pulmonares.

4). - Células de los conductos biliares y renales.

5). - Células endoteliales que cubren cavidades cerradas del cuerpo, como corazón, intestino, arterias y venas.

6). - Células del tejido conjuntivo.

7). - Células musculares, incluyendo corazón.

8). - Células del hueso maduro sin incluir centros de crecimiento.

9). - Células nerviosas incluyendo cerebro.

EN RELACION CON LOS ORGANOS EN CONJUNTO LOS MAS AFECTADOS POR LA RADIACION:

1). - Nódulos adrenales.

2). - Tubo Digestivo.

3). - Sangre y Médula Osea.

4). - Ojos.

5). - Hígado y Bazo.

6). - Pulmones.

7). - Organos de Reproducción.

8). - Piel y Folículos Pilosos.

9). - Tejido Linfático.

10). - Glándula Tiroides.

11). - Tracto Urinario.

H). - AGRESION LATENTE EN LOS TEJIDOS Y EFECTOS ACUMULATIVOS.

La lesión latente en los tejidos se refiere a la lesión residual tisular que queda después que ha cesado la reacción a la radiación inicial. Las reacciones moderadas a la radiación se calman en pocos meses y los tejidos reasumen un aspecto macro y microscópicamente normal. Aún cuando no se halla lesión residual perceptible por ninguno de los medios ordinarios, éste tejido retendrá durante años una susceptibilidad aumentada a la lesión, si es otra vez irradiado. Exposiciones repetidas a muy pequeñas dosis ninguna de las cuales sea suficiente como para despertar una reacción perceptible puede producir lesiones latentes o volverse activas serias.

I). - EFECTOS GENERALES.

Si se irradia una parte del organismo, las modificaciones tisulares estarán confinadas al volumen del tejido que está dentro del campo de exposición.

Puede también aparecer ciertas perturbaciones generales o sistemáticas o sistémicas. Cuando se expone a la radiación intensa una masa considerable de tejido una extremidad por ejemplo, pueden producirse efectos generales sistémicos cosiderables, pero que, indudablemente, se manifiestan con mayor intensidad cuando se trata del

abdomen y en particular la porción superior. Las tres formas más comunes de trastornos sistémicos o generales son: La enfermedad de la Radiación Caquexia por irradiación, y las Modificaciones sanguíneas.

ENFERMEDAD DE LA RADIACION.

Se caracteriza por náuseas, vómitos, depresión psíquica aguda, se instalan rápidamente a cabo de pocas horas después de la exposición y rara vez después de 48 hs. Su patogénia es poco comprendida pero hay razón para creer que el producto de desintegración de los tejidos alcanza la circulación sanguínea y allí desempeña un papel importante. Debe esperarse una recuperación sin trastornos, pero los síntomas son capaces de reaparecer con radiaciones ulteriores. Síntomas generales de origen psíquico, pueden desarrollarse en pacientes sugestionables o aprensibles pero la enfermedad real de la irradiación es, fuera de duda, un trastorno orgánico.

CAQUEXIA POR IRRADIACION.

Es un estado de apatía lentamente progresivo, acompañado por poco apetito, pérdida de peso, depresión y debilidad muscular. Aparece en forma incidiosa, varias semanas o meses después de las exposiciones masivas y a menudo está asociado a la anemia y la leucopenia.

No es un trastorno autolimitado como la enfermedad de la radiación. En algunos pacientes la recuperación es satisfactoria; en

otros, el trastorno se estabiliza a nivel de una enfermedad crónica, pero más a menudo los síntomas se hacen progresivamente más intensos y la muerte se produce en poco meses.

Es probable que no halla un factor responsable de la caquexia por irradiación, sino que los síntomas reflejan una suma de lesiones que afectan varios órganos del sistema.

La leucopenia puede producirse con facilidad y dosis masivas pueden provocar anemia grave. Los efectos pueden ser atribuibles casi enteramente a la agresión directa e indirecta de los órganos hematopoyéticos, más que a la destrucción masiva de las células que ya están en circulación.

2 - CAMBIOS A NIVEL MOLECULAR Y BIOQUIMICO.

Estudios comprueban que la primera lesión primaria es molecular, seguida por una bioquímica. Parte de la energía de la radiación absorbida produce cambios químicos debidos a la liberación de energía ionizada dentro de la o las moléculas o directamente a la acción sobre las moléculas de los radicales libres neoformados. Las moléculas están ordenadas especialmente de una manera muy precisa y cualquier desarreglo en ésta ecología molecular es crítica para la producción de daños morfológicos y bioquímicos. Para que las reacciones enzimáticas procedan hasta su fin se necesita imprescindiblemente ésta distribución precisa, por lo que solo cuando la célula sigue

funcionando activamente, se podrá ver la lesión.

Lo importante desde el punto de vista bioquímico es que él daño inmediato no es un fenómeno único y específico; es decir, no hay selectividad por un determinado compuesto o estructura en la irradiación. La radiación afecta a un número diferente de sistemas bioquímicos en forma simultánea, haciendo muy difícil el pronóstico de la interacción de éstos sistemas. Se ha deducido que aplicando cierta dosis de roentgen se producirá aproximadamente 1,000 reacciones químicas en volumen de 3 cm^3.

Por lo tanto para producirse una lesión primaria, necesitará alterarse gravemente una parte esencial de la célula. El material genético ADN es un candidato obvio para la lesión química primaria, ya que los datos biológicos indican que cada molécula del mismo tiene una función única. Los experimentos in vitro demuestran las profundas alteraciones que sufre el ADN bajo la acción de la radiación. Sin embargo la lesión química primaria no se produce solamente por la inactivación de un compuesto vital para la célula habiendose adelantado la posibilidad de la ruptura de barrera dentro de la misma, dando origen a la desorganización con salida de enzimas.

Las determinaciones bioquímicas enzimáticas hechas en irradiaciones totales de diversos animales, demuestran la actividad aumentada de la ATP asa y de la ADN asa y aumento de glucógeno he-

pático después de 24 hs. de una exposición baja. Este aumento del glucógeno se debe aparentemente al aumento de la degradación de las proteínas tisulares bajo la acción de la radiación. El aumento de los lípidos séricos se hace a expensas en orden decreciente de grasas neutras, fosfolípidos y colesterol. La mayor parte de los trabajos muestra una disminución de las albúminas y de la globulina gamma con aumento de la globulina alfa beta. La disminución se relaciona con el daño del tejido linfático; el aumento de la globulina alfa y beta se relaciona al daño metabólico hepático.

Después de la exposición a las radiaciones ionizantes hay una baja en el contenido de ácidos nucleicos en los tejidos, siendo afectado principalmente el ADN, lo cuál ha sido demostrado por la disminución de la incorporación de isótopos precursores del mismo.

Otro caso es que cuando se considera al ARN, la distinción entre los tejidos sensibles y no sensibles pudiera estar relacionada con la incorporación de los isótopos precursores de ARN, inclusive en algunos casos hay aumento; en cambio en el bazo, el apéndice, el timo, y la médula ósea hay una disminución.

La inhibición de la síntesis de ADN debido al aumento de la actividad de la ADN asa (pH óptimo 5, 6) interfiere con la mitosis.

3. - EFECTOS SOBRE PIEL.

Lo primero que se lesiona al ser irradiada una región del organismo es la piel, ya que es por donde primero pasa la radiación externa que también pasa a los demás tejidos. Podemos observar que después de 6 a 48 hs de exposición un ligero enrojecimiento (eritema primario) puede observarse en la zona tratada, pero es muy inconstante y rara vez se nota.

Al final del período latente, habitualmente de 6 a 14 días se desarrolla un eritema sostenido. Macroscópica y microscópicamente la reacción se parece a una quemadura del sol común. La intensidad y duración de la reacción son más considerables con dosis mayores y, de la misma manera que la quemadura de sol o la quemadura térmica puede se clasificada de primer grado si queda limitado a un eritema transitorio, de segundo si el epitelio está sumamente lesionado y si se forman descamaciones, y de tercer grado si hay destrucción extensa de la epidérmis y de la dérmis; la clasificación es de valor limitado, porque el aspecto inicial de la superficie no refleja las lesiones más importantes, más profundas de la dérmis, del colágeno subcutáneo y de los vasos sanguíneos.

Al principio el eritema es rojo brillante, pero el cabo de pocos días toma un color rojo obscuro o púrpureo. Un edema más o menos extenso se desarrolla al mismo tiempo, y, en la piel fuertemente irradiada, puede persistir durante semanas o meses, mucho después que el eritema ha cedido.

El exceso de fluido puede ser fijado más firmemente que en las formas ordinarias de edema agudo y mucho de él queda incorporado en el colágeno y en el tejido elástico degenerado y tumefacto, en tanto que la parte del fluido queda dentro de las células tumefactas. La pérdida de pelo (alopesia) y la pérdida de la función de las glándulas sudoríparas y sebaceas sigue a la exposición de dosis aún menores que la dosis de eritema. Todas éstas modificaciones pueden ser reversibles o irreversibles y ésto depende de la intensidad de la dosis.

Macroscópicamente pocas modificaciones son visibles durante el período latente pero inmediatamente antes de que el eritema se produzca aparece una tumefacción endotelial y las fibras de colágeno y las fibrillas de tejido elástico en la dérmis y las paredes de los vasos sanguíneos empiezan a inflamarse. Se desarrolla fibrilación longitudinal de los haces de colágeno y las fibrillas a menudo se rompen transversalmente en distintos puntos y se separan unas de las otras. Los haces de colágeno pronto pierden su aspecto normal claro, rosado, cuando son teñidos con la eosina, y toman un aspecto granular, rojo ladrillo, sucicimo. Las fibras de tejido elástico, tumefactas inflamadas, hasta adquirir varias veces su diámetro original se rompen transversalmente. Los extremos rotos se retraen y las fibrillas forman arcos y espirales irregurales. Las fibrillas tumefactas lesionadas pueden tomar un color rojo púrpura obscuro, irregular con la hematoxilina, dando la falsa impresión de que ha habido proliferación de tejido elástico nuevo.

El edema es visible, no solo en la tumefacción de las estructuras preexistentes sino por el aumento de tamaño de los espacios tisulares. En las fases iniciales de la reacción, el líquido de edema libre, raramente contiene bastante proteínas como para coagular durante la fijación, pero más tarde los espacios tisulares, en vez de aparecer vacíos, están llenos con un coágulo de proteína debidamente teñidos con color rosado. Pronto aparecen células inflamatorias diseminadas, después de la primera evidencia de modificación degenerativa y edema, dependiendo su número más del grado de la degeneración que el volumen del edema. Primero aparecen leucocitos, neutrofilos polimorfonucleares, solamente un pequeño número, y pronto son reemplazadas por macrófagos diseminados, eosinófilos, y pequeñas células que se tiñen en color obscuro pareciendose a los linfocitos y a la plasmazallen. El infiltrado celular está esparcido y no muestra la localización perivascular definida tan común en otras formas de dermitis.

Cantidades considerables de fibrina están presentes solo en las reacciones intensas. La degeneración, la tumefacción del colágeno y de los músculos lisos en las paredes de los pequeños vasos sanguíneos, junto con la tumefacción de las células endoteliales, puede estrechar o cerrar la luz de los vasos y formar, ocacionalmente trombos en su interior.

Hay una notable falta de uniformidad en las modificaciones vasculares; los vasos seriamente lesionados y los vasos normales

a menudo aparecen uno junto a otro.

Si la dosis de radiación ha sido moderada, la reacción aguda es seguida por una reparación lenta del epitelio supercial y de los anexos cutáneos y por un retorno de las estructuras térmicas hacia la normalidad. Al cabo de pocos meses toda la evidencia histológica de la injuria de la radiación puede haber desaparecido y ninguna modificación quedará para sugerir la idea de una modificación o lesión tisular latente. Sin embargo si la misma región está otra vez expuesta a una dosis de radiación que una piel normal tolerarfa fácilmente, se desarrollará una reacción de mucha gravedad.

Cuando la piel es expuesta a dosis excesivas se producen lesiones permanentes macro y microscópicas. A medida que la reacción inicial regresa, puede instalarse y progresar durante meses o años unas series de modificaciones lentas. La tumefacción aguda de la dermis evoluciona hacia edema crónico flemoso o leñoso a medida que las gruesas bandas de colágeno son gradualmente depositadas. Estas se hialinizan poco a poco y pueden fusionarse unas con las otras o con los haces de colágeno preexistentes. Pocos o raros fibroblástos gigantes o de forma irregular persisten en el tejido cicatrizal resultante.

Los vasos sanguíneos no muestran una reacción uniforme; algunos se atrofian y desaparecen.

El éxito de la reparación del epitelio superficial de la piel y de los anexos cutáneos depende íntimamente de la recuperación del corion y de sus vasos sanguíneos. Dentro del mismo campo de irradiación el corion puede mostrar diversos grados de cicatrización densa, la cara reticular es aplanada y las células epiteliales de los anexos cutáneos desaparecen enteramente o persisten solo como pequeñas proyecciones hacia abajo como nidos aislados de epitelio escamoso simple.

El epitelio de la superficie queda reducido a pocas capas de células escamosas aplanadas, y la capa de la membrana basal desaparece. Esas regiones curan precariamente después de trauma accidental o quirúrgico. Tienen poca resistencia contra la infección bacteriana y pueden afectarse de manera espontánea para formar úlceras crónicas o recidivantes.

Macroscópicamente la piel está tensa, brillante, seca y atrófica con regiones irregulares pigmentadas y sin pigmentación y con ramificación de vasos teleangiectásicos. Zonas focales de hiperqueratosis aparecen a menudo y el carcinoma se puede desarrollar en ella en cualquier momento, de 2 a 3 años o más, después de la exposición a la radiación.

4. - EFECTOS EN TRACTO GASTROINTESTINAL.

El tracto gastrointestinal es radiosensible, pero las lesiones en la práctica radiológica no son frecuentes.

A grandes dosis (las primeras modificaciones producidas por la radiación en el tracto gastrointestinal son el edema, la degeneración y necrosis epiteliales de la mucosa y edema submucoso. Estas aparecen al cabo de pocas horas y pueden ser responsables como decíamos en incisos anteriores de la enfermedad de la radiación.

5. - PULMONES.

Cuando los pulmones son intensamente irradiados a raíz del tratamiento del carcinoma de la mama o esófago, a veces, pero, no siempre, muestran una reacción característica conocida como neumonites de la radiación. Macroscópicamente una fibrosis difusa.

También en grandes dosis puede aparecer congestión y una gran secresión.

Los cambios retardados son de mayor importancia: Fibrosis y Cáncer.

6. - TIROIDES.

Un efecto temprano y persistente es la disminución de la actividad secretoria que se utiliza como base de la terapéutica, con yodo radioactivo del hipertiroidismo.

En los adultos no se han registrado efectos locales retardados de gravedad a causa de la radiación sufrida por la glándula tiroides, aunque a veces se ha presentado la leucemia después del tratamiento fuerte con yodo radioactivo.

Sin embargo una pequeña porción de niños a los que se les aplicó Rayos "X" en la porción superior del cuerpo, posteriormente sufrieron cáncer de la tiroides, lo cuál sugiere una sensibilidad particularmente alta en la tiroides de los niños.

7. - HUESOS Y CARTILAGOS.

El hueso maduro es muy resistente a la radiación, pero el crecimiento endocondral de hueso en los niños puede ser perturbado aún con exposiciones moderadas.

Después de la irradiación en las epifisis en crecimiento de los animales de experimentación se observan modificaciones histológicas profundas, y es probable que las modificaciones similares se produzcan en los seres vivos.

Las columnas ordenadas paralelas de las células epifisiarias cartilaginosas se desordenan inicialmente en la reacción. Las células cartilaginosas se hinchan y las matrices intercolumnares del cartílago toman aspecto fibrilar.

La degeneración normal de las células cartilaginosas en los extremos metafisiarios de la columna está perturbada y los capilares no invaden las lagunas del cartílago. Las modificaciones en los procesos normales de crecimiento de cartílago maduración y disolución parecen ser más importantes en la detención del crecimiento, que la lesión directa de los osteoblástos. En efecto, la actividad continuada de los osteoblastos puede producir esparcimiento de las trabéculas óseas en la región metafisiaria cuando el crecimiento longitudinal ha sido detenido por la lesión del cartílago. Después de lesiones menos importantes la actividad de crecimiento puede restablecerse a un ritmo normal, pero las lesiones más graves producen retardo sostenido o una detención definitiva del crecimiento.

El hueso maduro presenta una buena radioresistencia y rara vez es lesionado excepto en las personas sometidas a intensa radioterapia, o en las que son portadoras de depósitos radioactivos en los huesos.

Los huesos sometidos a una intensa irradiación son por lo tanto mayor susceptibles a la infección bacteriana.

8. - SANGRE Y ORGANOS HEMATOPOYETICOS. TEJIDO LINFATICO.

La exposoción a grandes dosis de Rayos "X", elemento radium y otras substancias radioactivas, a la exposición de grandes zonas del cuerpo a dosis más pequeñas produce a menudo una lesión —

grave..de los órganos hematopoyéticos y las modificaciones en la circulación sanguínea. En los casos extremos la muerte puede deberse a agranulositosis , anemia o púrpura.

Investigadores como Jacobson y colaboradores observaron que la lesión de los órganos hematopoyéticos disminuye y la recuperación de la médula ósea y de los elementos sanguíneos circulantes se acelera, protegiendo el bazo los animales con una copa de plomo durante la irradiación intensa y total del cuerpo.

También existe evidencia de que la administración parenteral de las células normales del vaso o de la médula en un animal puede apresurar la recuperación del sistema hematopoyético.

Los glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas circulantes son resistentes a la lesión por radiación y las modificaciones en el número de elementos circulantes, debe ser atribuídas, en gran parte a la lesión ocasionada en los órganos hematopoyéticos. Hay sin embargo, algún aumento en la destrucción de los glóbulos rojos como la muestra la rápida aparición de los nódulos linfáticos. debido a los depósitos de hemosiderina en los gánglios, vaso y médula ósea, y por excresión aumentada de urobilígeno fecal y de bilirrubina urinaria.

Si tenemos en cuenta que el promedio de vida de los linfocitos circulantes es de pocas horas, d e los granulocitos de pocos días y de los glóbulos rojos de 6 semanas o más, decidimos que la detención

simultánea en laproducción de todos los elementos sanguíneos se-reflejará en la sangre circulante, primero por una caida de los-linfocitos, después en los granulocitos y más tarde en los eri--trocitos. Esto se ve en los enfermos inyensamente irradiados. Al cabo de pocas horas después de una exposición el recuento de linfocitos empieza a caer y disminuye a los 3 días. Los granulocitos después de un ascenso preliminar breve, comienzan a descender y alcanzan su más bajo nivel al canp de 6 días. Si los glóbulos-rojos están afectados, rara vez nuestra modificaciones significativas durante varias semanas. Las células lesionadas más fácil--mente son las que muestran primero la más completa recuperación.

En la linfopenia por radiación, no complicada, el recuento de los linfocitos habitualmente se restablece a límites - normales al cabo de pocas semanas; la granulopenia, a menudo - - persiste durante muchos meses, y las anemias por radiación se -- recuperan lentamente y a menudo en forma incompleta.

Después de repetidas lesiones a los órganos hemato--poyéticos puede haber hiperplasia compensadora con aumento en -- los linfocitos, granulicitos y eritrocitos, circulantes a nive--les ligeramente por encima de los demás. Aún cuando éstas reac--cciones son excepcionales y por lo general de intensidad media,-pueden ser importantes como indicadoras de protección inadecuada en las personas sometidas a irradiación, ya, sea por razones de-profesión o de trabajo.

Los recuentos de glóbulos rojos de rutina revelarán modificaciones solo después que se halla producido una sobre exposición.

Los niveles pocos seguros de radiación pueden ser fácilmente descubiertos por detectores y deben ser corregidos antes de que aparezcan modificaciones en los elementos sanguíneos. Ningún trabajo hasta la fecha ha tenido éxito en su propósito de establecer alguna modificación constante en el agua, sodio, cloro, calcio, fosforo, colesterol, nitrógeno, o concentración del ión hidrógeno en el plasma, como resultado de la irradiación terapéutica en los seres humanos.

En muchos enfermos existe acortamiento transitorio del tiempo de coagulación, junto con una breve caída de la presión sanguínea. Después de exposiciones intensas la lesión del tejido reticuloendotelial puede producir una perturbación en la capacidad de formar anticuerpos y la bacteremia es común.

Los estudios sobre animales de laboratorio sugieren que las manifestaciones hemorrágicas profundas producidas por exposiciones agudas, masivas se deben no solamente a una disminución del número de plaquetas sino también, en parte a la liberación de una substancia anticoagulante en la sangre circulante.

No hay caracteres patognomónicos de las modificaciones por radiación en la sangre y es necesaria una historia de posible exposición para sostener tal diagnóstico. Las modificaciones morfológicas

en los gánglios linfáticos pueden ser percibidos al cabo de una hora por radiación intensa. Además de la rápida disminución, en el número de figuras mitóticas, los linfocitos diseminados muestran pignosis y fragmentación de núcleos. Estas modificaciones son progresivas con el tiempo y dos a 3 semanas después el gánglio linfático puede estar reducido a un retículo de tejido fibroso conteniendo depósitos de hemosiderina y solo escasos linfocitos, células reticulares y plasmazellen. El endotelio de los vasos sanguíneos muestra tumefacción y degeneración de las células, similar a lo visto en cualquier órgano irradiado, pero la destrucción de los linfocitos parece ser efecto directo de la irradiación más que a una consecuencia de la circulación perturbada.

Aún cuando el estroma original del gánglio linfático aparece más notoria debido a la pérdida de los linfocitos, hay poca formación de tejido fibroso. La regeneración comienza a menudo cuando todavía las modificaciones destructivas se siguen produciendo. La regeneración puede ser perfecta después de una lesión leve pero las graves nunca se reparan completamente.

Muchos profesionales sostienen que la irradiación de los gánglios linfáticos logrará cerrarlos y demorará las metástasis de los tumores malignos, pero son pocas las investigaciones al respecto que demuestren que el flujo de la linfa a través de un gánglio linfático sea afectado por irradiación.

La médula ósea muestra evidencia de lesión por radiación poco tiempo después de los gánglios linfáticos, pero los cambios son similares. Al comienzo algunas células degeneran, y al cabo de pocos días casi todo el tejido hematopoyético de una región fuertemente irradiada es destruido.

Hay poca evidencia de radiosensibilidad diferente entre las células de las series mieloblástica y eritroblástica en las primeras --- reacciones. El contenido de el espacio medular puede estar reducido al principio a un retículo conteniendo células degeneradas sinusoides sanguíneos dilatados y a veces franca hemorragia.

Muy pronto los sinusoides desaparecen y se produce una ligera fibrosis junto con intento de regeneración medular, la regenera-- ción puede fracasar y la médula queda entonces como un retículo de tejido fibroso conteniendo depósitos de hemosiderina y células teñidas en obscuro pequeñas, diseminadas plasmacelen, eosinófilos y algún megacariocito. Ocasionalmente se encuentra regeneración compensadora excesiva.

En la médula hay profusión de mielobl-astos y eritroblástos inmaduros que parecen no alcanzar la circulación. En cada caso la sangre periférica muestra leucopenia, trombocitopenia, y empobrecimiento característico de la anemia aplásica.

Las exposiciones de los órganos hematopoyéticos a la radiación produce leucemia.

9. - ORGANOS REPRODUCTORES Y REPRODUCCION.

Los ovarios y los testículos son los más sensibles a los daños por cualquier forma de radiación ionizante y la esterilidad se produce en cualquier sexo por una sola exposición o por los efectos acumulados de pequeñas exposiciones repetidas. Una sola dosis de 500 r irradiada a los ovarios es suficiente para provocar esterilidad permanente en la mayoría de las mujeres; en tanto que dosis más pequeñas producen supresión temporaria de la ovulación, menstruación.

Algunos investigadores afirman que la dosis esterilizante para el hombre es mucho menor que para la mujer.

Podemos decir que generalmente el hombre vigoroso soporta dosis mayores que el individuo más viejo o debilitado, pero no hay medios para predecir como responderá una persona determinada a una dosis mínima esterilizante. Es necesaria varias veces ésta dosis para asegurar una esterilidad permanente de todos los individuos.

Las modificaciones histológicas en el ovario irradiado aparecen al cabo de pocas horas después de la exposición. La degeneración de las células granulomatosas de los folículos maduros es la primera evidencia de lesión, seguida muy pronto por degeneración y desaparición gradual de los óvulos, de los folículos maduros y de la mayo-

ría de los folículos primordiales.

El cuerpo lúteo es poco afectado por grandes dosis, pero las células del estroma muestran una lesión gradual progresiva y el peso del ovario disminuye notablemente. Unos pocos folículos primordiales con sus óvulos intactos persistirán por muchos meses en las mujeres que son funcionalmente esteriles y són éstos los folículos sobrevivientes los que explican el retorno de la ovulación en algunas de ella. La esterilidad temporaria evidenciada por la supresión de la menstruación pueden durar más de un año; pero si la recuperación tiene lugar por lo general se produce entre los primeros dos u ocho meses después de la exposición.

Los síntomas de esterilización por radiación en las mujeres se parece a los de castracción quirurgica, o de la menopausia natural. Como la maduración de los folículos, la ovulación, y la formación del cuerpo lúteo cesan, el ciclo menstrual desaparece, y el endometrio asume un estado permanente de hipoplasia. Algunas mujeres experimentan olas de calor, depresión psíquica y otras manifestaciones comunes de la menopausia.

En los testículos el elemento mas radiosensible es el epitelio germinativo. Las células germinales en estado intermedio de espermatogénesis parecen ser más fácilmente destruídas que las espermatogónias o que los espermatozoos maduros. De ésta manera el hom-

bre que ha sido expuesto a una dosis esterilizante temporaria puede continuar dando esperma vivo durante las primeras semanas, pero después de éstas muy pocas o ningún espermatozoide se forma y su recuento espermático gradualmente cae por debajo del nivel de fertilidad.

Después de un período variable de esterilidad relativa o absoluta, las espermatogonias sobrevivientes resumen el proceso de espermatogénesis y el recuento espermático sube.

La recuperación rara vez es completa, pero la fertilidad puede ser restaurada aumentada de espermatozoides muertos y anormales. Dosis mayores de radiación producen un cese completo y permanente de la espermatogénesis, y el eyaculado muy pronto está privado de espermatozoides son más radioresistentes que los espermatocitos, pueden ser lesionados o destruidos por dosis relativamente pequeñas.

Las células de Sertoli de los testículos sobreviven a dosis de radiación que destruyen el epitelio germinal. Las células intersticiales son aún más resistentes mostrando poco cambio en el número, aspecto, o función aparente, aún cuando las células germinales y la mayoría de las células de Sertoli hayan sido destruidos.

Como se cree que las células intersticiales radioresistentes producen la mayoría de las hormonas testiculares masculinas, el hombre esterilizado por radiación no sufre ningún trastorno endocrino serio. Los testículos se hacen más pequeños y más blandos, pero la po

tencia y la eyaculación rara vez están perjudicadas.

No hay cambios en el comportamiento social del sujeto, o en su barba, voz, pelos pubianos y otras características secundarias. - De ésta manera el hombre puede ser esterilizado efectivamente sin darse cuenta.

La irradiación intensa del útero humano grávido, puede - producir aborto o desarrollo anormal del feto, en particular si la exposición se produce en los primeros meses del embarazo. Una dosis de 1,200 r o más irradiada al útero durante los primeros cuatro meses - del embarazo produce generalmente la muerte del feto y el aborto. A pequeñas dosis de exposición durante los últimos meses del embarazo no son permisibles.

Ahora bien dosis de radiación que permite sobrevivir a la madre, pueden causar graves deformaciones. Estas deformaciones no se perpetúan genéticamente, y sería resultado de la radiación durante la gestación.

10. - METODO DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SUS FACTORES.

La higiene de la radiación es el arte y, la ciencia de proteger a los seres contra los daños de la radiación. Puesto que cualquier- cantidad es perjudicial en cierto grado, el objetivo ideal es impedir -- que alguna persona sea expuesta a la radiación si no lo exige definitivamente

te el diagnóstico. Es evidentemente imposible usar el equipo de Rayos "X" en la práctica de la clínica: sin que queden expuestas las personas que manejan las fuentes de radiación.

Por consiguiente los métodos y diseños para la protección contra radiación deben ser tales que nos acerquemos al límite permisible aceptado internacionalmente o sea: 0. 1 roentgen por semana (100 mr por 40 hs de una semana hábil)

Visto que los efectos de la radiación ionizante son acumulativos, deben evitarse las exposiciones aún lícitas siempre y cuando ello sea posible .. .

La debida protección deberá llevarse a cabo ante todo, por la cautela y el interés que demuestre el dentista o roentgenólogo en éste problema. El conocimiento de los peligros de la radiación deberá ser inculcado en la mente y los actos de lo operadores por advertencias verbales y estrecha observación del trabajo técnico.

Es de la responsabilidad del dentista o delroentgenólogo de indoctrinar a sus alumnos conservando su atención constantemente enfocada sobre éstos peligros. Los métodos de protección más importante que un dentista debe esforzarse de alcanzar en su práctica son la perfección en sus procedimientos roentgenográficos y la protección física.

REGLAS PRACTICAS PARA MEJOR PROTECCION.

Los peligros de la radiación son corrientes en un consultorio dental; a saber: la radiación primaria emitida por el cono de Rayos "X": el escape (radiación) que sale por los lados, la tapa el fondo o dorso de la cabeza del tubo; y la radiación secundaria dispersa proyectada en todas direcciones por la cabeza del paciente y la cabecera del sillón. Empleando precauciones sencillas y prácticos auxiliares físicos, estos azahares pueden reducirse mucho menos de la dosis máxima permitida, de hecho o quedar eliminados por completo.

REVISE SU EQUIPO DENTAL DE RAYOS "X".

Use equipo moderno solamente y bien protejido. El equipo anticuado es más peligroso tanto eléctrica como radiológicamente y debe desecharse, sobre todo el equipo viejo con tubos abiertos. Son preferible los equipos modernos de alto kilovoltaje. El equipo dental de Rayos "X" debe emplearse exclusivamente para radiografía dental.

USE DIAFRAGMAS Y CONOS APROPIADOS.

Inspeccione el aparato para asegurarse de que no hay escapes de radiación apreciables por ninguna otra parte del receptáculo del tubo, o del diafragma, o por los bordes del cono. El diafragma o cono apropiados limitan el haz primario a un círculo de 3 pulgadas de diámetro en la punta del cono. Si por alguna razón especial hay que---

quitar el tubo, para examinar la articulación temporomandibular por ejemplo, es necesario reemplazarlo otra vez antes de otro exámen corriente.

PROTEJA ADECUADAMENTE A SU PERSONAL CONTRA LA RADIACION.

El propósito de todas las medidas protectoras es reducir la dosis que reciban las personas al máximo del nivel permitido y aún menos, e impedir que sean dañados las películas cercanas u objetos sensibles a los roentgen. La dosis recibida por el personal, puede reducirse interponiendo barreras protectoras entre las fuentes de radiación y las personas, trabajando a buena distancia de dicha fuente; colimando el rayo y usando mayor filtración; empleando películas rápidas de alto Kvp de lento revelado al fin de obtener exposiciones más cortas, y por fin permaneciendo por el más corto tiempo posible en la inmediata vecindad de la fuente de radiación. Las barreras primarias se emplean para proteger al operador contra los tres tipos de radiación. Las barreras secundarias, más la debida distancia eliminan la exposición a la radiación difusa protegiendo además, al personal que se encuentra ocupado en las habitaciones adyacentes al cuarto de rayos "X".

Para más absoluta protección del operador, se puede emplear un resguardo o pantalla de plomo como barrera (primordial). Esta pantalla contiene una hoja de plomo de 2mm (aproximadamente 1/16 de pulgada) de espesor y una ventana de (vidrio plomado). La

pantalla debe tener por lo menos 30 pulgadas de ancho y 6 pies de alto, debiendo quedar entre el operador, la cabeza del paciente y la cabeza del tubo de radiación. El aparato regulador debe estar situado de tal modo que el operador quede de pie directamente detrás de la pantalla al afectuar la exposición. Una pantalla semejante aún quedando a solo 30 pulgadas del paciente permitiría que el operador efectuase aproximadamente 1,500 estudios de Rayos "X" de 14 exposiciones cada uno por semana, sin salir de la dosificación actualmente recomendada de 100 mr semanarios para el personal de la radiación.

Aún con el resguardo disponible, éste no deberá situarse de tal modo que el operador permanesca en el hemisferio de la radioactividad primaria. Es importante que la irradiación emana de un punto en el tubo de radiación para esparcirse en todas las direcciones. A pesar de que algunas cabezas de tubos están debidamente protegidas, sin embargo la radiación es emitida desde una base en forma de cono, siendo el punto focal; su ápice y la apertura en la cabeza del tubo formando la base en ese punto. Como la radiación viaja más allá de la cabeza del tubo, el haz en forma de cono aumenta conforme crece la distancia de modo que a una distancia de 6 pies, el diámetro del haz puede alcanzar 36 pulgadas. Por consiguiente, el operador sin experiencia, o aquel que cree que las pequeñas unidades de Rayos "X" para dentistas son perfectamente seguras, suele exponerse, por inadvertencia a demasiada radiación, aún así permanece a un lado del aparato de rayos "X".

El operador nunca debe sostener la película en la boca del paciente, ni permitir que lo haga su ayudante. Una vez adquirida ésta costumbre se puede repetir por inadvertencia hasta volverse rutina que conduce a la línea de peligro antes de que se note sus efectos.

Si no se utiliza una pantalla de plomo, el operador debe permanecer lo más alejado posible del paciente.

Los cables de los aparatos reguladores deben ser más largos, suficientemente largos para que el operador pueda salir del cuarto y pararse detrás de una pared.

El aumento de distancia representa una ayuda definitiva para evitar los rayos difusos emitidos por el paciente, así como el escape que proviene de la cabeza del tubo.

La intensidad de la radiación sigue la ley del cuadrado invertido que establece, lo siguiente: Al aumentar la distancia de la fuente de radiación, la intensidad decrece en proporción del cuadrado de la distancia.

El hecho que la intendidad de la radiación vaya efectivamente reduciendose conforme aumenta la distancia puede aprovecharse con beneficio, para construir barreras secundarias y para reducir la dosis cutánea administrada al paciente. Con 6 pies o más de distancia entre la fuente de la radiación y las paredes existentes, el resguardo de plo-

mo, no necesita tener mas de 0. 8 mm de grueso. Si las paredes existentes son de concreto de 3. 1/2 pulgadas o más de grueso, no es necesario agregar mayor protección.

USE PELICULAS RAPIDAS Y BUENAS TECNICAS DE EXPOSICION Y REVELADO.

La radiación del paciente y del personal puede reducirse mucho empleando kilovoltajes altos, filtros adecuados y las rápidas películas modernas. También debe emplearse la mayor distancia ánodo-película que sea posible. Hay que determinar cuidadosamente los tiempor de exposición óptimos para éstos factores y usarlos regularmente. El revelado debe hacerse siempre con un dominio exacto de tiempo y temperatura usando soluciones frescas. Si se siguen éstos consejos se obtendrán radiografías de la mejor calidad y será innecesaria la repetición de exámenes, con exposición adicional a la radiación.

PROTEJA LAS GONADAS DEL PACIENTE.

Siempre que sea posible, dirija el haz primario de manera que esté alejado de la región de las gónadas.

Esto puede lograrse casi siempre inclinando simplemente la cabeza del enfermo. También puede reducirse un tanto la radiación primaria y la dispersa protegiendo la región de la gónadas con un delantal o una lámina de caucho plomado. Esto es particularmente útil cuando -

hay que hacer múltiples exposiciones o en casos especiales como en los niños o mujeres embarazadas, o cuando ésta zona se incluye en el paso del haz primario.

CONSIDERE BIEN LAS INDICACIONES PARA CADA EXPLORACION.

Es aconsejable hacer primero una exploración limitada. Este exámen preliminar proporciona a menudo toda la información necesaria. Así se puede decidir si es necesario hacer exposiciones adicionales. Siempre que sea posible hay que evitar los exámenes externos de "rutina " y las exploraciones repetidas con demasiada frecuencia.

TENGA ESPECIAL CUIDADO CON LOS NIÑOS Y LAS MUJERES EMBARAZADAS.

El número de exposiciones debe restringirse en los niños a un mínimo absoluto tanto por consideraciones somáticas como genéticas. El peligro adicional de exposición en la mujeres embarazadas requiere que se posponga los procedimientos completos o elaborados tanto como sea posible durante ese período.

Finalmente es recomendable el estudio sanguíneo periódico a cualquier persona que trabaje un equipo dental de Rayos "X". A las personas que tengan una cuenta de glóbulos blancos menos a 4,000 no se les debe permitir hacer roetgenografía.

Con el aumento de uso de la radiación en la práctica dental es de recomendarse a la profesión dental precaución y restricción en el uso de radiaciones "X" con propósitos de diagnóstico. También es aconsejable revisar los métodos de trabajo periodicamente para ver si se puede obtener igual resultado con menor radiación.

Los dentistas que usan procedimientos roentgenográficos deben tener una amplia comprensión de los principios básicos, físicos y biológicos para su seguridad la de sus ayudantes y pacientes.

Este cuadro corresponde a conclusiones establecidas por la Academia Americana de Roentgenología, auspiciada a su vez el Council on Dental Research de la Asociación Dental Americana.

REQUERIMIENTOS DE PROTECCION DEL DENTISTA Y PERSONAL AUXILIAR CONTRA EL HAZ DE LA MAQUINA DE RAYOS X DENTAL.

ESPESOR DE LA LAMINA DE PLOMO COLOCADA COMO BARRERA DE PROTECCION DESDE LA FUENTE EMISORA A LA ZONA OCUPADA.

Potencial del tubo kvp.	Carga ma. seg/día	3 pies mm	4 pies mm	5 pies mm	6 pies mm	8 pies mm	10 ps. mm	20ps. mm
65	9600	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4
	2400	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3
	600	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.1
	150	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.
	3840	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	0.7
	960	1.4	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7	0.4
	240	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2
	60	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.

Report Prepared by The Comitte on Radiaton Protection of American Academy of oral Roentgenology.

* pie= 30.48 cm.

** ma. seg/día = millamperaje segundo entre día.

B I B L I O G R A F I A

PATOLOGIA DE WILLIAN ANDERSON: Pág. 199 a 212 y 218.
Introducción: efectos biológicos
Mecanismo de acción de la radiación ionizante.
Agresión latente de los tejidos.
Efectos generales.
Efectos sobre piel.
Huesos y cartílagos.
Sangre órganos hematopoyéticos y tejido linfático.
Organos reproductores y reproducción.

EFECTOS BIOLOGICOS DE LA RADIACION ATOMICA DE LA NATIONAL ACADEMY OF CIENCE: Págs. : 172, 173, 174.
Tracto gastrointestinal.
Pulmones.
Tiroides.

PATOLOGIA DE HOWARD HOPPS: Pág. 100
Clasificación de Warren.

MANUEL DE RADIOBIOLOGIE ET DE RADIOPROTECCION: Págs. 61 a 73.
Efets biologiques des radiations.
Chronologie du syndrome d'irradiation.

Effet. Direct et indirect.
Radiosensibilite cellulaire.
Radiosensibilite Tissulaire.

PATOLOGIA DE PELAYO. ARIAS, RUY PEREZ, LUIS CARBONELL: Págs. 549, 550, 551.
Cambios a nivel molecular y bioquímico.
Tipos de radiación.

COMPENDIO DE RADIOLOGIA Y FISIOTERAPIA DE AGUIRRE: Págs. 68, 458, 459.
Tipos de radiaciones.
Propiedades de los Rayos "X".

ELEMENTOS DE RADIOGRAFIA DE LA KODAK MEXICANA Ed. 71 Págs. 4, 7, y 9.
Definición de Rayos "X".
Origen de los Rayos "X".
Propiedades de los Rayos "X".

ROENTGENODIAGNOSTICO ESTOMATOLOGICO DE P. COCCHE: Pag. 3
Origen de los Rayos "X".

RADIODONCIA DE DELGADO MORALES Y ALFONSO DELGADO FERNANDEZ: Pág. 21
Propiedades de los Rayos "X".

DEL TEXTO DE FISICA GENERAL CURSO COMPLETO DE MOSQUEIRA: Págs. 545, 427, 437, 440, 495.
Ampére Volt Coulomb Ohm Amperímetro Voltímetro.
Efecto joule Efecto Edison.

DEL TEXTO DE FISICA UNIVERSITARIA DE WHITE: Pág. 710.
Roentgen Rad. Roentgen equivalente hombre.
Dosis de Radiación.

DEL DICCIONARIO ENCICLOPEDICO UTEHA:
Definición de Radiología.

RADIATION PROTECTION IN DENTAL PRACTICE DE SCHEIZ MONATASCHR ZAHNHEILKD
Protección contra los Rayos "X".

MANUAL PRACTICO SOBRE EL USO DE LOS RAYOS " X " EN MEDICINA Y ODONTOLOGIA, DE RICHARD H. CHAMBERLAIN M. D.
Protección contra los Rayos "X".

LA TECNICA MEDICA DE LOS RAYOS "X" DE VAN DER PLAATS.
Producción de los Rayos "X".

FISICA NUCLEAR DE KAPLAN Págs. 32, 33, 34, 35.
Tipos de Radiación.

RADIACIONES IONIZANTES DE J. S. STRETAN Págs. 88, 94, 95, 100, 101.
Tipos de radiación.