

EMPLEO TERAPEUTICO DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Arturo Valencia Serna, M. D.*

El uso de la radioactividad iniciado a fines del siglo pasado, ha continuado en aumento constante en diversas actividades y su importancia ha llegado a tal punto especialmente en los últimos años a raíz de la desintegración del átomo, que ha dividido el tiempo en anterior y posterior a la era atómica. Muy poco tiempo después de su descubrimiento, se comenzó a emplear en medicina y hoy constituye el principal de los usos pacíficos que se le dan contribuyendo poderosamente a su progreso en el campo de la investigación, diagnóstico y terapia. Es lógico por lo tanto que todos los médicos tengan interés en el conocimiento de las radiaciones y no sólo los especialistas que trabajan con ellas.

HISTORIA

Los acontecimientos fundamentales en su conocimiento pueden sintetizarse así:

En 1895 Roentgen descubre en Alemania los rayos X. Un año más tarde Henry Becquerel en Francia descubre algunos materiales radiactivos entre ellos el Uranio. Los esposos Curie se dedican a trabajar con esta sustancia y aislan el Polonio y el Radio. En 1919 Rutherford al producir por primera vez la desintegración partiendo del Nitrógeno, da estímulo a numerosos experimentos que condujeron a la producción en 1934 de compuestos radioactivos artificiales cuando los esposos Joliot-Curie consiguen un isótopo radioactivo del fósforo a partir de bombardeos del aluminio con partículas alfa.

En 1942 el italiano Enrico Fermi trabajando en un reactor nuclear en Chicago, logra producir la primera reacción nuclear en cadena es decir lograr que al desintegrarse los átomos, las partículas de ellos hagan reaccionar y desintegrar a otros átomos. En 1945 se produce la explosión de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki por medio de una reacción en cadena no controlada. En 1946 se dispone de algunos isótopos radioactivos artificiales para uso médico producidos en el laboratorio en Oak Ridge.

En 1951 comienza a funcionar en Canadá la primera Unidad de teleterapia que usa como fuente un isótopo radioactivo: el 60 Cobalto.

RADIOACTIVIDAD NATURAL Y ARTIFICIAL

El núcleo de la mayoría de los elementos de la naturaleza,

*Jefe, Departamento de Radioterapia Hospital Universitario del Valle, Universidad del Valle, Cali.

es estable y en éstos se nota que las partículas que lo forman es decir los protones y los neutrones, están o en proporción igual o hay sólo ligero aumento del número de unos sobre los otros. En los cuerpos que se desintegran naturalmente, se observa que esta proporción se ha roto generalmente a favor de los neutrones. Parece ser que este desequilibrio haga inestable al núcleo el cual busca su estabilidad emitiendo partículas llamadas alfa y beta y emitiendo al mismo tiempo otro tipo de radiación llamada gamma. Al emitir partículas, la especificidad de cada elemento la cual está dada por el número de protones, cambia viniendo a constituir otro elemento con menor número de partículas. En esta forma un metal como el Radio se va desintegrando pasando en este proceso por la formación de varios compuestos radioactivos hasta llegar al final a formar un elemento estable que es el Plomo.

Media Vida

En este proceso de la desintegración el cual no puede ser detenido por ninguna fuerza natural o artificial, una cantidad constante de átomos se desintegran en un tiempo dado. Esta constante es distinta para cada elemento radioactivo. Para los cálculos se emplea la llamada media vida o sea el tiempo necesario para que la mitad de los átomos de determinada sustancia sufran transmutación. La media vida de los distintos elementos radioactivos sean naturales o artificiales, va desde segundos a miles de años. Así el 131 yodo la tiene de 8,1 días y el 226 Radio de 1620 años. En la práctica aunque no sea exactamente matemática, se considera que la desintegración completa de un determinado material radioactivo, es el equivalente a 10 medias vidas. En esta forma el 131 yodo se transmutará totalmente en 81 días y en cambio el Radio necesitará 16.200 años para hacerlo. Sin usar fórmulas complicadas, en esta forma podemos conocer el tiempo en que se termina la radioactividad de un compuesto determinado.

Los elementos radioactivos naturales, generalmente tienen un peso atómico superior a 209 o un número atómico mayor a 83.

Los elementos radioactivos artificiales, son producidos a partir de los estables introduciendo en el núcleo de ellos una cantidad adicional de neutrones por medio de bombardeo con neutrones producidos por desintegración de

otros átomos en un reactor nuclear.

Isótopos Radioactivos

Ya sabemos que el núcleo de los átomos está compuesto por protones y neutrones los cuales pesan aproximadamente lo mismo. El número de protones determina el número atómico y la suma de los protones y neutrones el peso atómico.

Para cada elemento, el número de protones es constante y le da la especificidad a éste. En cambio el número de neutrones puede ser variable. Se llama isótopos a átomos que el mismo número de protones pero diferente número de neutrones.

Los isótopos radioactivos son además inestables porque se ha desequilibrado del núcleo con la introducción de uno o varios neutrones.

TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES

Aunque hay otros tipos de radiaciones usados en medicina, las más importantes de conocer son 5 tipos a saber: alfa, beta, neutrones, gamma y rayos x. Como se verá más adelante, unas son partículas materiales y otras ondas electromagnéticas.

Rayos Alfa

Están compuestos por 2 protones y 2 neutrones. Tienen un peso grande por sus 4 partículas y una carga eléctrica positiva debida a los protones. Son de muy poco uso en medicina ya que su capacidad de penetración es muy escaso siendo determinadas en las capas más externas de la piel. Se emiten en la desintegración de elementos radioactivos especialmente el Radio y el Polonio.

Rayos Beta

Están compuestos también de una partícula mucho más pequeña que la de los rayos alfa ya que es un electrón cargado negativamente. Se produce en la desintegración atómica. Hay que tener en cuenta que es un electrón que no viene de la órbita del átomo sino del núcleo por un tipo especial de desintegración en que un neutrón se convierte en un protón y un rayo beta. Son de mucho uso en medicina como veremos más adelante. Tienen una energía variable pero como promedio son capaces de penetrar medio centímetro en los tejidos.

Neutrones

Son partículas neutras que se encuentran en el núcleo y que se liberan cuando hay fisión nuclear. No se producen en la desintegración natural de los elementos sino en los

reactores nucleares. Se ha empezado a usar experimentalmente en terapia del cáncer. Son de gran poder de penetración al núcleo de los átomos, pueden llegar a formar radioisótopos en el organismo a partir de los elementos naturales que se encuentran en éste. Debido a esta cualidad, se busca utilizarla en forma práctica.

Rayos Gamma

Son ondas electromagnéticas lo mismo que los rayos X. Se diferencian sólo en el origen ya que los gamma son producidos en la desintegración de elementos radioactivos naturales o artificiales. La energía de ellos es variable y se mide electrón voltios (eV). La misma medida se usa para los rayos X. Esta medida se explica así: si un electrón fuera acelerado por la diferencia de potencial de 1 voltio, se tendría 1 eV. En esta forma podemos comparar las distintas energías de los rayos X y de los rayos gamma. Ejemplo: un equipo de rayos X corriente produce radiaciones entre 100.000 y 250.000 eV aproximadamente. La energía de la gamma producida por el 137 Cesium es de 663.000 eV. El 60 Cobalto emite dos tipos de radiaciones que en promedio dan 1.250.000 eV. La energía de la gamma emitida por el Radio similar a la del 60 Cobalto.

Rayos X

Son como los anteriores, ondas electromagnéticas. Para una mejor comprensión en la producción de ellos se debe tener en cuenta que estos son como todas las ondas electromagnéticas una manifestación de energía (energía radiante).

Cuando una corriente de electrones a gran velocidad golpea una sustancia, se producen rayos X. Es una transformación de energía mecánica en energía radiante. Un ejemplo claro de una transformación similar, lo tenemos cuando golpeamos con una piedra un muro: la energía mecánica que lleva la piedra, se transforma en ondas sonoras (también electromagnéticas) y oímos el ruido.

La producción se hace en un tubo de vidrio al vacío para que los electrones no tengan roce y puedan adquirir gran velocidad. Estos se producen por calentamiento de un filamento de tungsteno en el cátodo (polo negativo) y son lanzados contra el ánodo (polo positivo) por una diferencia de potencial que puede ser variable. Al golpear el metal del ánodo, la energía cinética que llevan los electrones, se transforma en energía radiante y energía calórica. El mecanismo íntimo de esta transformación, es tema para especialistas.

La energía de un haz de rayos X depende en gran parte del voltaje que se le aplica al tubo siendo los más usados entre 100.000 y 250.000 voltios. Dentro de este margen fluctúan la mayoría de los usados en tratamiento de cáncer.

Sin embargo hay un tipo de equipos como el acelerador lineal y el betatrón que dan un tipo de energía muy alta. El costo de ellos lo mismo las instalaciones es tan alto que sólo funcionan en unos pocos sitios.

EMPLEO DE LAS RADIACIONES EN DIAGNOSTICO Y TERAPIA.

Su uso en diagnóstico es demasiado conocido y está basado en el principio que tienen los rayos X de sensibilizar una pantalla fluorescente para hacer fluoroscopia o material fotográfico para hacer radiografías.

Uso de Radioisótopos Tomados o Inyectados

Se usan especialmente en el diagnóstico de algunas enfermedades lo mismo que para averiguar el estado de funcionamiento de algunos sistemas como el circulatorio. Además en el tratamiento de varias enfermedades. Las radiaciones beta que emiten, son útiles en el tratamiento y en cambio las radiaciones gamma lo son en el diagnóstico. Esto se explica por el poco poder de penetración de los rayos beta ya que por lo tanto tienen que actuar a corta distancia (poder de penetración de 0,5 cm). De allí que la mayoría de los radioisótopos usados por estas vías son grandes emisores beta. Para el diagnóstico, los rayos emitidos dentro del organismo tienen que salir a impresionar los artefactos usados con este fin y por lo tanto tienen que ser gamma por su gran poder de penetración. Esta radiación es absorbida por el cristal especial que produce luz visible o centelleo el cual por diversos mecanismos se transforma en pulsos eléctricos que pueden ser contados o impresionar placas fotográficas para ver la forma y el tamaño de los órganos (gammagrafía). Algunos ejemplos explican bien su empleo.

En Tiroides

Se emplea especialmente el 131 Yodo. Como este órgano metaboliza específicamente el yodo, se va a marcar una gran cantidad de moléculas de tiroxina producidas por él. Con un detector puesto sobre el tiroides, se mide la cantidad absorbida por el órgano y en esta forma se deduce si hay una hiper o hipofunción o si está normal. Al mismo tiempo se puede tomar una gammagrafía o sea una especie de radiografía que muestra bien el tamaño, demarcación y distribución del material dentro del órgano.

En casos de diagnóstico las cantidades usadas son muy pequeñas. Cuando hay necesidad de hacer tratamientos ya sea en hipertiroidismo o en cáncer de tiroides, las cantidades necesarias son grandes.

Determinación del Volumen Sanguíneo

Un volumen de líquido determinado en que está diluida la

sustancia radioactiva, se inyecta en la sangre. Después de un rato se saca otra muestra y se mide la radioactividad de ella. De la comparación entre la radioactividad de la muestra inyectada y de la que se extrae después de haberse diluido en la sangre de todo el organismo, se calcula el volumen de sangre de la persona examinada.

Velocidad Circulatoria

Se inyecta en un miembro el elemento radioactivo. Se pone antes un detector de radiación en el corazón. Se cuenta el tiempo transcurrido para llegar a éste. La radiación utilizada en este caso como es lógico debe ser gamma ya que se necesita atravesar el organismo para poder ser medida.

APLICACIONES EN RADIOTERAPIA

Aunque hay muy pocas enfermedades benignas que se tratan con radioterapia, la utilidad fundamental de las radiaciones en este campo es el cáncer. Se utilizan hoy en día especialmente las radiaciones Beta, Gamma y Rayos X.

Se puede hacer la radiación al paciente teniendo la fuente productora a distancia (teleterapia); en contacto con la piel (moldes); dentro de una cavidad natural (aplicación intracavitaria); introducida en los tejidos (implante).

Utilización de los Rayos Beta

El material más usado es el 90 Estroncio que tiene una vida media de 28 años. Este va dentro de un recipiente cerrado y por el extremo en donde se pone en contacto con el paciente, tiene una lámina muy delgada de metal inoxidable generalmente de oro. La emisión de Beta es de 98% y 2% corresponde a gamma. Se utiliza para el tratamiento de la enfermedad de Bowen o en carcinomas muy superficiales de la conjuntiva. Sin embargo su más grande utilidad está en el tratamiento postoperatorio del Pterigio y también vascularizaciones de la conjuntiva o de la córnea. Al no irradiar sino superficialmente por su poco poder de penetración, no se lesionan los tejidos profundos. Antes de su aplicación se usaban rayos X de poca penetración los cuales daban complicaciones frecuentes especialmente catarata.

Moldes

Se utilizaron mucho hace varios años. Se hace un molde de la piel o mucosa en donde está la lesión y dentro de este molde se ponen materiales radioactivos generalmente agujas o cápsulas de radium las cuales se pueden poner por el tiempo total o algunas horas al día.

Hoy generalmente se trata con teleterapia este tipo de lesiones.

Implantes

Se hacen con agujas o semillas. Las agujas están compues-

tas de una lámina externa muy delgada de platino o de oro dentro de la cual va completamente aislado el material radioactivo. El material radioactivo más usado es Radio, 137 Cesium ó 60 Cobalto. Todos ellos emisores de radiación gamma.

El metal filtra las radiaciones alfa y beta. Las semillas son esferas redondas muy pequeñas de acero inoxidable dentro de las cuales va sellado el material radioactivo.

En general las semillas se dejan permanentemente y cuando esto se va a hacer, hay que calcular que todo el material radioactivo se haya transmutado al dar dosis deseada. Las agujas se extraen después de dar la dosis que se desee. Las semillas se introducen dentro de los tejidos con pistolas a las cuales se puede graduar la potencia para que penetre a la profundidad deseada. También se pueden extraer las semillas cuando se colocan en conductores plásticos huecos.

El implante es el tratamiento ideal de lesiones cancerosas pero sólo puede ser usado en lesiones pequeñas donde no haya todavía invasión linfática abundante. Además en lesiones que después de tratadas con teleterapia, se hayan reducido considerablemente de tamaño.

Como es lógico, los implantes con semillas cuando se van a dejar permanentemente, necesitan un material radioactivo de vida muy corta por lo cual es difícil de aplicar cuando se está lejos de centros productores de radioisótopos.

Aplicaciones Intracavitarias

Las más usadas son en cáncer de cervix pero se usan también en: nasofaringe, fosas nasales, órbita después de exanteraciones. En cáncer de cervix se pone un aplicador en la cavidad uterina después de dilatar el cervix y otro en la vagina. El material más usado es el Radio, el 137 Cesium y el 60 Cobalto.

El material va en cápsulas similares a las agujas. El oro o el platino que recubre el material, tiene un espesor generalmente de 1 mm. Como en los implantes, la ventaja es que pueden darse grandes dosis a sitios pequeños. Generalmente se usa como complemento es decir primero se da radioterapia externa y luego se complementa la radiación con una aplicación.

TELETERAPIA O RADIOTERAPIA EXTERNA

En este caso las radiaciones van hacia el paciente desde afuera a distancias variables. Comentaremos aquí las más usadas que son los rayos X y las radiaciones gamma emitidas por el 60 Cobalto y el 137 Cesium. En algunos departamentos de radioterapia, se usan como vimos ya, neutrones pero sólo en forma experimental y con costos exorbitantes

que lo hacen impracticable en la mayoría de los departamentos y que por lo tanto no llegaría a generalizarse. El empleo de electrones en este tipo de terapia (tele) también se hace en algunos departamentos. Está limitado sólo a lesiones de piel y a un costo muy grande.

Teleterapia con Rayos X

Hay que tener en cuenta que el haz de los rayos X no es homogéneo ya que en él van rayos de distintas longitudes de onda. Los de ondas más cortas son más energéticos y por lo tanto penetran más en los tejidos. También hay que tener en cuenta que a mayor voltaje mayor energía de los rayos.

Generalmente se usan en rayos X voltajes entre los 100.000 y 250.000 voltios. Si queremos usarlos para tratamientos en piel o a poca profundidad, ponemos voltajes bajos y si queremos tratar lesiones situadas profundamente, ponemos voltajes más altos. Al mismo tiempo nos valemos de los filtros. Cuando la lesión está en profundidad, ponemos láminas de distintos metales y distinto espesor para que lo atraviese el haz de radiación. Así las radiaciones que sólo van a penetrar a corta distancia, son indeseables en tratamiento de lesiones profundas y las filtramos. En cambio las lesiones superficiales interesan este tipo de radiación más que las más penetrantes y no se pone filtro o se usa uno de poco espesor.

Teleterapia con 60 Cobalto o 137 Cesium

Estos emiten radiación gamma que se puede considerar homogénea ya que sólo tienen un tipo de radiación o dos que son similares. Por ser muy energéticas, sólo se emplean para lesiones profundas y no hay necesidad de usar filtros.

COMPARACION ENTRE TELE RAYOS X Y COBALTO

A. Penetración

Por la mayor energía de la gamma del cobalto, la penetración es más eficaz y por lo tanto da un mejor rendimiento en profundidad. Así para un campo de 10 x 10 cm por debajo de la piel, tendremos un rendimiento con cobalto de 50% si la distancia fuente piel es de 50 cm. o sea que la mitad de las radiaciones llegan a donde está el tumor y la otra mitad se ha absorbido en los tejidos.

En las mismas circunstancias y con mejor radiación que podemos obtener en un equipo de rayos X, sólo tendremos un 37% de rendimiento.

B. Protección de Piel

También por la mayor energía del Cobalto, las radia-

ciones atraviesan más fácilmente la piel encontrándose con éste la dosis mayor a 0.5 cm. por debajo de ella. En cambio con rayos X, la dosis máxima siempre está en la piel.

C. Tolerancia General

Para dar una misma dosis en profundidad, hay que dar una dosis menor con el cobalto por el mejor rendimiento. Esta dosis total o dosis integral por lo tanto es menor y las molestias de radiación más pocas.

D. Protección de Hueso

Con cobalto los tejidos blandos como los huesos absorben igual cantidad de radiación. Los rayos X por su menor energía, son absorbidos un 15% más por los huesos que por los tejidos blandos. Hay por este hecho más probabilidades de radionecrosis.

E. Penumbra

Conviene que la fuente productora de rayos sea pequeña. El ideal es que sea un punto ya que si la fuente tiene un diámetro muy grande, el haz de radiación no tiene límites precisos. En cobalto el diámetro de las fuentes fluctúa entre 1.0 y 2.5 cm. de diámetro. En este aspecto los rayos X tienen ventaja sobre el cobalto.

F. Costo

Siendo la media vida de cobalto de 5.2 años, a los 52 años se habrán transmutado todos sus átomos transformándose en níquel. Sin embargo hay que tener en cuenta que a los 5 años dará la mitad de la radiación original y a los 10 la cuarta parte. En general para tener un rendimiento aceptable la fuente se debe cambiar en un término aproximado de 8 años. Este costo de fuentes adicionales, se compensa por el menor costo de sostenimiento ya que los daños que se presentan son muy pocos y de escaso valor.

El otro costo también mayor que en rayos X es en la construcción ya que la protección tiene que ser mayor en el cobalto. En este caso las paredes necesitan un espesor aproximado de 80 cm. de concreto.

COMPARACION ENTRE EL 60 COBALTO Y EL 137 CESIUM.

Se usan para teleterapia también equipos de Cesium. La única ventaja sobre el cobalto es la media vida de 30 años. Sin embargo emite una gamma que aunque es de mucha más energía que los rayos X, es muy inferior a la del cobalto. Sin embargo su principal desventaja es su menor

actividad específica por lo cual las fuentes tienen un mayor diámetro y dan mucha penumbra.

Es necesario explicar lo de la actividad específica para comprenderlo. Esta es la relación entre el número de átomos radioactivos y el número total de átomos de la sustancia considerada.

COMPARACION DEL RADIO CON EL COBALTO Y EL CESIUM.

El radio se comenzó a usar con gran éxito poco después de su descubrimiento en aplicaciones e implantes. En forma muy restringida se usó también en teleterapia debido al enorme costo que ello significa. Este costo mucho mayor si se usa en teleterapia, se puede comprender teniendo en cuenta la ley del cuadrado de la distancia o sea que la radiación varía en relación inversa al cuadrado de la distancia. El radio no salía muy costoso usándolo en contacto con los tejidos pero para que llegue una cantidad grande a una distancia de 50 a 60 cm. se necesita una gran cantidad. Esto fue posible sólo después de conseguir artificialmente el 60 Cobalto y el 137 Cesium que se puede conseguir en un reactor en forma barata y sobre todo que tienen una actividad específica muy superior al Radio.

El Radio va siendo desplazado rápidamente también por el Cesio para implantes y aplicaciones debido a su mayor seguridad en el uso. Como sabemos el Radio es una sal muy activa y para el manejo debe estar aislada en agujas o cápsulas de oro o platino. Por manejo poco cuidadoso pueden lesionarse las láminas de estos metales y quedar el Radio libre que puede contaminar personas, utensilios o edificios. Estos inconvenientes no los tiene el Cesio.

El Cobalto se usa también para este fin sin los peligros de radio pero no es muy apetecido por su vida corta.

BIBLIOGRAFIA

1. Glasser, O., Quimby, E. H., Taylor, L. S., Weatherwax, J. L. and Morgan, R. H.: Physical Foundations of Radiology. 3rd Ed., New York, Paul B. Hoeber Inc., 1961.
2. Paterson, R., The Treatment of Malignant Disease by Radiotherapy. Second Edition., Baltimore., The Williams and Wilkins Company, 1963.
3. Pizzarello, D. J., and Witcofski R. L., Basic Radiation Biology, Philadelphia., Lea and Febiger, 1967.
4. Quimby, E. H., Feitelberg, S., Radioactive Isotopes in Medicine and Biology Basic Physics and Instrumentation. Second Edition, Philadelphia, Lea and Febiger.
5. Schwartz, E. E., The Biological Basis of Radiation Therapy J. B. Lippincott Company, Philadelphia and Toronto.
6. Silver, S., Radioactive Isotopes in Medicine and Biology. Second Edition., Philadelphia, Lea and Febiger.