

## EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Durante toda nuestra vida nos encontramos sometidos a radiaciones de bajo nivel debidas a fuentes naturales, a las que tenemos que añadir las producidas por el hombre, sobre todo en la exploración clínica. Analizaremos las radiaciones ionizantes que son las producidas por las partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y los rayos X.

Cuando estas radiaciones penetran en los tejidos que contienen células vivas, liberan su energía a través de colisiones e interacciones aleatorias con los átomos y moléculas que encuentran a su paso. Entonces se producen iones y radicales libres que son muy reactivos, rompiendo los enlaces entre las moléculas y produciendo la oxidación del ADN, de modo que podrían jugar un papel muy importante en las mutaciones que preceden al desarrollo de tumores.

La distribución de las ionizaciones a lo largo de su trayectoria en la materia viva depende de la energía, masa y carga eléctrica de la radiación, influyendo en menor grado la densidad del tejido absorbente de la misma. En general los rayos  $\gamma$  y X, cuya naturaleza es puramente electromagnética careciendo de carga y masa, generan pocos iones, pero penetran más profundamente en la materia, fig.12.21, que las partículas  $\alpha$  y  $\beta$ , sin embargo, estas últimas al estar dotadas de carga eléctrica, producen una mayor tasa de iones en menor recorrido, fig.12.22 y más transferencia de energía. La capacidad de producir lesiones está relacionada con la mayor capacidad de liberación de energía en el menor volumen. Así que las radiaciones  $\alpha$  y  $\beta$ , van a producir en general más daño que las  $\gamma$  y X.

De entre todas las moléculas afectadas por las radiaciones ionizantes la del ADN (que es el material genético que lleva la información para la replicación de las células) es la más importante debido al número reducido de copias de la información genética que lleva inscrita. En el caso de radiaciones con poca transferencia de energía, la lesión producida puede ser la ruptura de las dos cadenas que configuran la doble hélice y dado que en el organismo suele reparar las lesiones más sencillas mediante las enzimas celulares, la magnitud del daño dependerá de la eficacia del proceso reparador y del tamaño de la lesión, fig.12.23. Sin embargo aquí hay un peligro, los efectos de una lesión no reparada o mal reparada en una molécula de ADN, puede multiplicarse a lo largo de la división celular, de modo que produciría la transmisión de anomalías a innumerables células hijas.

Las modificaciones del ADN suponen una agresión para los cromosomas y los genes y constituyen unos de los efectos más estudiados de las radiaciones ionizantes, pues pueden conducir a mutaciones y anomalías cromosómicas. Las radiaciones también inducen tumores, el cáncer es la replicación de células, en las que hubo un error de transcripción de la información del ADN y desde luego no es la radiactividad la única causa.

La cuestión es saber el grado de peligrosidad que inducen las radiaciones ionizantes de bajo nivel, debidas a la radiactividad natural y a las fuentes artificiales, a las que un ciudadano en condiciones normales puede estar sometido. La respuesta basada en estudios serios es que no debe constituir un motivo de preocupación para la población, ahora bien se pueden realizar varias preguntas: a) ¿Es siempre acumulativo el efecto de la radiación ionizante a bajo nivel?. b) ¿Perjudica solamente cuando sobrepasa una tasa conocida como valor umbral?.

Está demostrado que para algunas radiaciones y ciertos efectos, el impacto que produce la radiación es acumulativo, pues el efecto producido en un

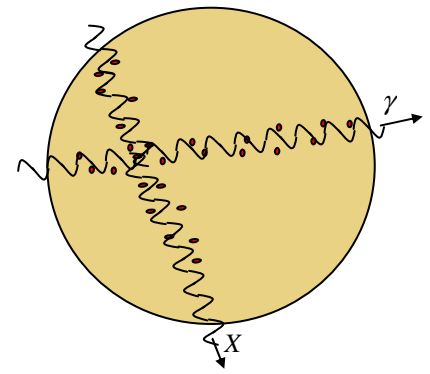


Fig.12.21. Los círculos representan las densidades de iones y radicales libres producidos en la célula, al ser atravesada por la radiación electromagnética de rayos X y  $\gamma$ .

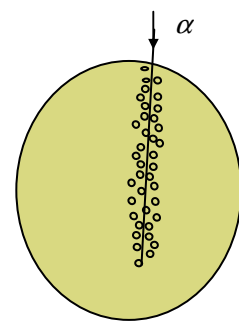


Fig.12.22. Las partículas  $\alpha$  y  $\beta$ , para dosis iguales de radiación, producen más densidad de ionización y disipación de energía que las radiaciones electromagnéticas.

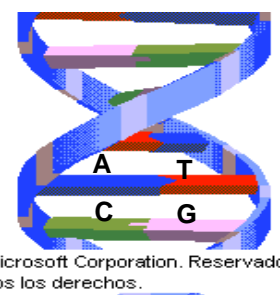


Fig.12.23. La estructura del ADN es una doble hélice, a modo de una escalera de cuerda retorcida en espiral, en el que los peldaños son dos bases distintas: una adenina y timina, la otra, citosina y guanina. Cuando se rompen los enlaces entre las bases, el organismo trata de repararlas, pero algunas pueden quedar como radicales libres, o cometerse errores en la reparación, cruzándose enlaces de peldaños distintos. Estas anomalías se transmiten a las células hijas al multiplicarse, produciendo modificaciones en algunos genes.

sujeto irradiado, es tanto mayor cuanto más grande es la dosis recibida. Para otras radiaciones, la probabilidad parece inclinarse por la existencia de un valor umbral, a partir del cual se desata el efecto, pero para valores inferiores no se produce, así por ejemplo, para valores superiores a 3 Sv se desata la pérdida del cabello. En términos generales la gravedad de una lesión va depender del tipo de radiación, de la dosis absorbida, de la rapidez de la absorción y del tipo de radiación. En este punto se debe considerar que además de las radiaciones antes citadas, deben englobarse dentro de las radiaciones ionizantes, las debidas a las partículas: electrones, protones y neutrones.

Las cantidades y dosis de radiaciones ionizantes se miden en el Sistema Internacional en las siguientes unidades:

Para expresar la dosis absorbida por los tejidos, se emplea el gray (Gy) que equivale a la absorción de un julio, por cada kilogramo de tejido irradiado.

$$1 \text{ Gy} = 1\text{J}/1\text{kg}$$

Para una cierta dosis, las radiaciones de partículas pueden producir más daños que el provocado por los rayos X o  $\gamma$ , por lo que es necesario introducir una nueva unidad para caracterizar la dosis radiactiva, en función de sus efectos biológicos. Sin importar el origen de la radiación, se define el sievert (Sv), como la cantidad de radiación que produce el mismo efecto biológico que un gray de radiación  $\gamma$ .

La unidad empleada para expresar dosis colectivas es el Sv-persona. Se obtiene de multiplicar la dosis media absorbida por cada persona por el número de personas. Así si una población de 1000 personas ha recibido una dosis media por persona de 0,01 Sv, la dosis acumulada será de 10 Sv.

En el medio natural existe radiactividad debida a varias fuentes: a) Los rayos cósmicos. b) Las emisiones procedentes de la corteza terrestre, debidas a las desintegraciones de uranio, torio, radio y demás elementos producidos en las series radiactivas, en especial el gas radón. c) Emisiones de potasio 40, carbono 14 y otros elementos radiactivos que se encuentran en nuestro organismo. La fracción más importante debida a las fuentes artificiales es la constituida por el diagnóstico médico y el uso de rayos X y de los trazadores radiactivos –véanse aplicaciones clínicas de la energía nuclear-. Otras fuentes son los minerales radiactivos presentes en materiales de construcción, granito, abonos fosfatados, antenas de televisión, detectores de humos y centrales nucleares.

#### FUENTES DE RADIACIÓN

Causa		Pr omedio dosis absorbida persona y año
Radiactividad natural		2 mSv
Aplicaciones médicas	Radiodiagnóstico	0,5 mSv
	R. M. Nuclear	
	Radioterapia	0,01 mSv
Centrales nucleares		0,002 mSv
Usos industriales		0,007 mSv

#### Algunos efectos de las radiaciones

Dosis	Efecto
Radiactividad natural y actividades humanas 2,5 mSv	Mutaciones genéticas naturales. Del 0,1 al 2% de las enfermedades hereditarias.
Personal profesionalmente expuesto 5 mSv	3 muertes/10000 personas en 50 años.
Límite legal para el personal profesionalmente expuesto 50 mSv	3 muertes/10000 personas en 50 años.
Dosis local 3 – 4 Sv	Caída del pelo
Dosis local 3 – 6 Sv	Eritema ( enrojecimiento persistente de la piel y de las mucosas)
Dosis local 3 – 9 Sv	Opacidad del cristalino
Dosis del cuerpo completo 2,5 – 3 Sv	Mortalidad 50% en menos de 60 días
Dosis del cuerpo completo 10 Sv	Mortalidad 100% en menos de 10 días

**Cabe señalar, que en la tabla también se dan dosis radiactivas de muy alta actividad, que en ningún caso se reciben en las condiciones de vida habituales. Los valores más extremos, solo serían posibles en un accidente nuclear a gran escala.**