

Intervalos de monitoreo para medir en la glándula tiroides los radionúclidos ^{125}I y ^{129}I

Yoan Yera Simanca, Gladys M. López Bejerano, Dayana Ramos Machado, Nancy Acosta Rodríguez

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)

Calle 20 No. 4113 e/ 41 y 47, Miramar, Playa. La Habana, Cuba

yoan@cphr.edu.cu

Resumen

El trabajo muestra los intervalos de monitoreo que se pueden utilizar en el Laboratorio de Contaminación Interna del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones para medir directamente en la glándula tiroides los radionúclidos ^{125}I y ^{129}I . Se emplearon dos sistemas de medición, uno con un detector de centelleo y otro con un detector Phoswich. Ambos detectores se ubicaron dentro de una cámara de bajo fondo de 2.5 x 2.5 x 2.5 m de dimensión, recubierta con 15 cm de acero, 3 mm de plomo, 1.8 mm de estaño y 1.5 mm de cobre. Se calculó la actividad mínima detectable para cada sistema y en función de esta se determinaron los intervalos de monitoreo aplicables, de forma tal que una incorporación correspondiente al 5 % del límite anual de incorporación se pueda detectar. Se obtuvo que para el ^{125}I , todos los intervalos evaluados (120, 90, 60, 30, 14 y 7 días) se pueden utilizar en el monitoreo con ambos sistemas. En el caso del radionúclido ^{129}I , con la instalación del detector de centelleo solo se pueden aplicar los intervalos de 120, 90, y 60 días y para la instalación con el Phoswich, todos los evaluados.

Palabras clave: yodo, vigilancia, analizadores de tiempo, contadores de centelleo, niveles de actividad

Monitoring intervals for the measurement of the radionuclides ^{125}I and ^{129}I in the thyroid gland

Abstract

This paper shows the monitoring intervals that can be used in the Internal Contamination Laboratory of the Center for Radiation Protection and Hygiene for direct measurement of the radionuclides I-125 and I-129 in the thyroid gland. Two measuring systems were used, one of them with a scintillation detector and the other one with a Phoswich detector. Both detectors were placed inside a low background shielding chamber (2.5 x 2.5 x 2.5 m) coated with 15 cm of steel, 3 mm of lead, 1.8 mm of tin and 1.5 mm of copper. The minimum detectable activity for each system was calculated, and based on this, the applicable monitoring intervals were determined, so that an intake corresponding to 5 % of the Annual Intake Limit can be detected. The results showed that for the radionuclide I-125 all the intervals tested (120, 90, 60, 30, 14 and 7 days) can be used in monitoring both systems. In the case of the radionuclide I-129, only the intervals of 120, 90 and 60 days can be implemented by using the scintillation detector whereas for the Phoswich detector, all the tested intervals can be used.

Key words: iodine, monitoring, time interval analyzers, scintillation counters, activity levels

Introducción

Para el establecimiento de la frecuencia de monitoreo en el desarrollo de un programa individual de vigilancia para la contaminación interna, es preciso tener en cuenta que una incorporación superior al 5 % del límite anual de incorporación (LAI) no se debe perder debido al decaimiento radiactivo y a la eliminación biológica [1]. Si durante el intervalo entre la incorporación y la medición directa de la persona, la fracción de actividad retenida en el cuerpo u órgano específico es menor que la actividad mínima detectable (AMD) del sistema de me-

dición utilizado, no se podrán realizar cuantificaciones de la actividad incorporada para el radionúclido. Si la sensibilidad de la instalación experimental no permite determinar al menos el 10 % del LAI para el período de monitoreo evaluado, no se tendría en cuenta un valor de actividad incorporada correspondiente al nivel de registro, umbral a partir del cual los valores de dosis efectiva comprometida recibida por el trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE) se deben añadir a su registro individual de dosis.

Lo expuesto anteriormente es necesario para medir radionúclidos incorporados, que se tienen que cuanti-

ficar a partir de energías menores que 100 KeV. Esto se debe a las dispersiones Compton generadas en los primeros milímetros del material centellador por los emisores duros presentes en el cuerpo humano, lo cual provoca en esta región energética un aumento en un factor de 2.5 de los valores del fondo [2].

Para los sistemas de medición que utilizan la tecnología centellante en la etapa de detección, los valores de AMD en intervalos de medición razonablemente representables, que se obtienen para algunos radionúclidos, exceden el LAI o una fracción mayor que 0.1 veces el LAI [3]. El hecho compromete la utilización de estos sistemas para medir radionúclidos en las bajas energías, o al menos obliga al laboratorio a realizar una evaluación rigurosa de las capacidades con que cuenta.

El Laboratorio de Contaminación Interna (LCI) del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), durante años ha utilizado un sistema que emplea un detector centellante para monitorear a los TOE, con riesgo de incorporación de ¹²⁵I. En la actualidad se propone extender sus capacidades para que pueda monitorear además, el ¹²⁹I y aprovechar las facilidades de la instalación de un sistema de medición que utiliza un detector Phoswich.

Con estos sistemas se pueden reducir los valores del fondo hasta un 70%, para la región de las bajas energías en comparación con el que se obtiene con un sistema que utilice un detector centellante de igual dimensión.

En el trabajo se muestra el resultado de la adición a las capacidades del contador de radiactividad corporal (cámara blindada con 15 cm de acero (Bq de ⁶⁰Co por kg de acero), 3 mm de plomo, 1.8 mm de estaño, y 1.5 mm de cobre) del LCI de estos sistemas, teniendo en cuenta las posibilidades que ofrecen para monitorear incorporaciones de ¹²⁵I y ¹²⁹I en la glándula tiroides.

Materiales y Métodos

Sistemas de medición

El sistema para las mediciones con el detector Phoswich (cristal fino de NaI (TI) con 3 mm de espesor y 105 cm² de área activa) está compuesto por detector Phoswich, alto voltaje (microNal, Mod. 1023 A), preamplificador (microNal, Mod. 4007 A), amplificador (CANBERRA, Mod. 2012), analizador por forma de pulso (ORTEC, Mod. 458), amplificador de retardo (ORTEC, Mod. 427) y compuerta lineal (ORTEC, Mod. 409).

El sistema que emplea el detector centellante (cristal de NaI (TI), con 7.62 cm de espesor y 45 cm² de área activa, y 6 cm de plomo de blindaje circular) se arregló como detector centellante, alto voltaje (microNal, Mod. 1023 A), preamplificador (microNal, Mod. 4007 A), amplificador (CANBERRA, Mod. 2012).

Simulador

Para calibrar los sistemas se utilizó un simulador antropométrico, con material de tejido equivalente al del cuello, con una abertura anatómica correcta donde se

sitúa el simulador de la glándula tiroides. En la construcción de la tiroides se utilizaron bolsas de nylon (material de tejido equivalente) para contener la solución radiactiva.

El volumen y peso del simulador de tiroides correspondió a la mujer de referencia (MR) [4]. Los lóbulos se llenaron cada uno con 6.20 ml de solución de ¹²⁹I y 2.30 ml de agua destilada. La actividad absoluta en cada lóbulo fue de 1397 Bq.

Procedimientos y análisis de las mediciones

La región de interés (ROI) se obtuvo con una fuente puntual de ¹²⁹I de 15 kBq medida durante un intervalo de tiempo de 15 min a 5 cm de la superficie de los detectores. Para definir el intervalo de integración se consideró la distribución del pico como una gaussiana, y se tomó el 95 % de los canales, atribuibles a la distribución. En el espectro grabado en 1024 canales la región correspondiente al 95 % del pico suma (rayos X del ¹²⁹I con energías 29.46 KeV y 33.56 KeV, en adición del cuanto gamma con energía 39.58 KeV), para el sistema de medición con el detector Phoswich estuvo comprendida entre los canales 76 y 138. En el caso del sistema con el centellador, entre 60 y 122.

La disposición particular entre el simulador de cuello y el detector fue tal, que la recta que une el centro de la cara del detector con el istmo de la tiroides se mantuvo perpendicular al plano de la cara del detector, cambiando solo la longitud del segmento de la recta en las mediciones realizadas para obtener la dependencia de la eficiencia y la AMD con la distancia.

La eficiencia se calculó según:

$$\eta = \frac{CS - CF}{AYT}$$

donde:

CS: conteos del simulador con la tiroides portadora de la solución de ¹²⁹I.

CF: conteos del fondo.

A: actividad de la solución de ¹²⁹I, contenida en el simulador de tiroides.

Y: probabilidad absoluta de emisión.

T: tiempo de medición, común para CS y CF.

Para determinar la AMD se procedió como [5]:

$$AMD = \frac{2.7 + 4.65\sigma}{T\eta Y}$$

donde:

σ : es la incertidumbre (expresada como una desviación estándar) en la región de interés para el espectro de fondo.

η : eficiencia absoluta de la instalación.

Y: probabilidad absoluta de emisión.

T: tiempo de medición.

Para evaluar la respuesta de las instalaciones para el ^{125}I , como su principal energía de emisión está comprendida entre 27 keV y 35 keV, se asumió que la historia de los fotones para la geometría particular es la misma que en el caso del ^{129}I , tomándose la misma eficiencia obtenida para el ^{129}I . La ROI de los conteos del fondo para el ^{125}I se estimó a partir de la relación energía/canal de los sistemas de medición, asumiéndose el mismo ancho que el obtenido en la ROI para el ^{129}I . El tiempo de medición para todas las mediciones implementadas fue de 300 s.

Resultados y Discusión

En la tabla se comparan las capacidades que se obtienen con el sistema Phoswich y el de centelleo, y se evaluaron las facilidades que cada uno ofrece para definir la frecuencia de monitoreo, de forma tal que una incorporación mayor que el 5 % y el 10 % del LAI no se pierda.

Valores mínimos de actividad medida para detectar incorporaciones de 0.05 y 0.1 veces el LAI

Período (días)	0.1 LAI (Bq) ^{129}I	0.1 LAI (Bq) ^{125}I	0.05 LAI (Bq) ^{129}I	0.05 LAI (Bq) ^{125}I
120	614	2146	307	1073
90	490	2123	245	1062
60	360	1849	180	925
30	212	1256	106	628
14	114	742	57	371
7	57	370	29	185

En la tabla se muestran además, para diferentes intervalos de monitoreo, los valores mínimos de conteos por segundo (actividad medida, $M = I \cdot m(T/2)$), que tienen que ser capaces de medir cualquier montaje experimental para detectar incorporaciones (I) correspondientes a: 0.1 y 0.05 veces el LAI.

Estos valores se calcularon utilizando el nivel de registro NR_1 y la fracción de incorporación retenida $m(T/2)$ correspondiente a cada período de monitoreo. El NR_1 se obtuvo dividiendo 0.1LAI por el número de monitoreos anuales [6]. Como se observa, en la medida que es necesario reducir el período de monitoreo, las exigencias a la sensibilidad de la instalación son mayores.

A continuación se presenta el comportamiento con la distancia de la eficiencia y la AMD para el detector Phoswich y el de centelleo. En las Figuras 1 y 2 solo se muestran las representaciones gráficas de los modelos escogidos para ajustar la dependencia. Los ajustes se realizaron con 7 puntos o más (entre 0 y 30 cm). La incertidumbre relativa para los valores de eficiencia en todos los puntos fue aproximadamente de un 10 %, y para la AMD de un 14 %. Los valores de la eficiencia se ajustaron según:

$$\eta = a \left(1 - \frac{\text{dist}}{\sqrt{\text{dist}^2 + b^2}} \right) e^{-c \text{dist}}$$

$$\text{AMD} = \frac{a}{\sqrt{\left(1 - \frac{\text{dist}}{\sqrt{\text{dist}^2 + b^2}} \right)^2} e^{-c \text{dist}}}$$

y los de la AMD como

donde: a, b y c fueron parámetros libres. En todos los casos el coeficiente de determinación del ajuste fue superior a 0.9.

Como se observa en la Figura 1, la eficiencia del sistema con el detector Phoswich para las distancias 5, 15 y 25 cm es 0.029, 0.009 y 0.004, mientras que para el sistema con el detector de centelleo es 0.008, 0.002 y 0.001.

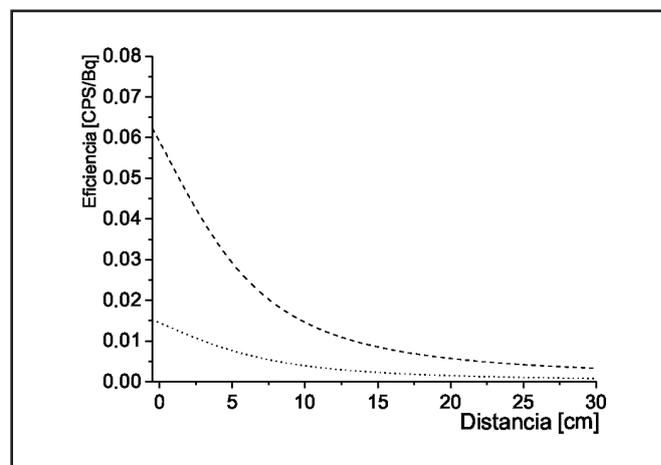


Figura 1. Comportamiento de la η con la distancia. Línea discontinua (Phoswich), línea punteada (centellante)

Este resultado no se puede justificar en las propiedades físicas del material que constituye el volumen activo de los detectores, y sí en la diferencia entre el área frontal del cristal de NaI (TI) del detector Phoswich y del detector de centelleo: área (Phoswich) \sim 2 área (centellante).

Por otra parte, en las Figuras 2a y 2b se muestra la dependencia de la AMD con la distancia para los dos sistemas. Para las distancias de 5, 15 y 25 cm, la AMD para el sistema con el Phoswich en el caso del ^{129}I es 6.32, 19.61, y 41.51 Bq, y para el ^{125}I , 3.38, 10.48 y 22.16 Bq. En tanto, para el sistema que emplea el centellante la AMD para el ^{129}I resultó 32.91, 95.26 y 278.50 Bq, y para el ^{125}I , 17.58, 50.89 y 148.79 Bq respectivamente para cada distancia citada.

De forma general para un mismo material, un aumento en el área activa del detector equivale a un aumento de la eficiencia de la instalación y de los conteos del fondo, lo que no constituye un beneficio neto para el mejoramiento de la AMD. Sin embargo, en el trabajo se demuestra la mejora cualitativa de la sensibilidad al introducir la tecnología Phoswich a pesar de su mayor diámetro sensible. Finalmente, para las distancias 5, 15, y 25 cm los conteos obtenidos para el fondo con el detector de centelleo fueron 138, 123 y 111, mientras que para el Phoswich fueron 79, 59 y 45. Ello significa que la reducción en los valores de la AMD para el sistema que emplea el detector Phoswich, respecto al

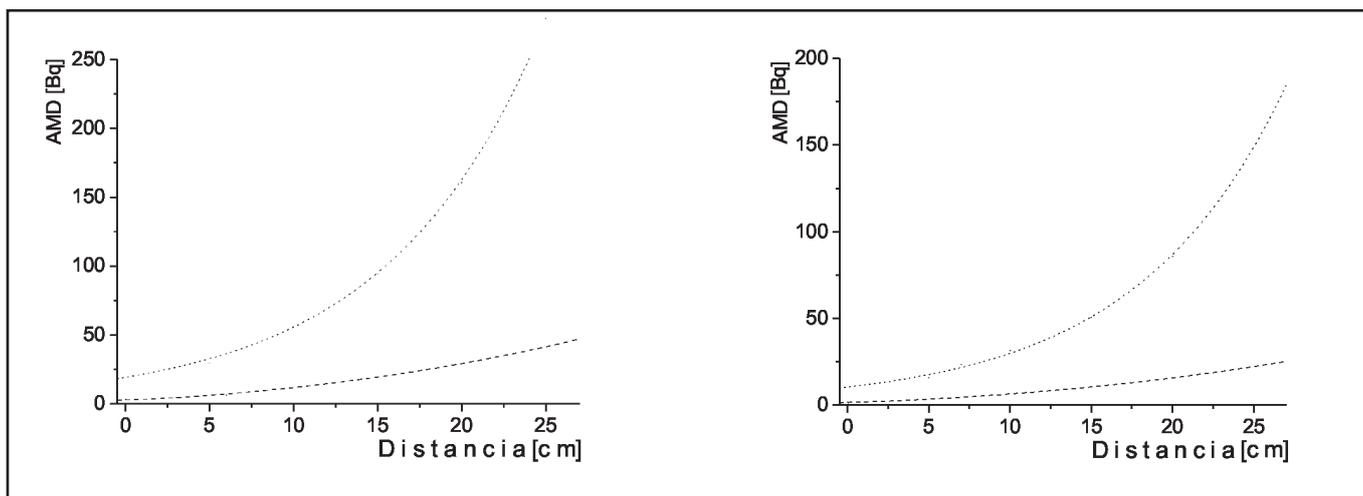


Figura 2a. Comportamiento de la AMD con la distancia. Línea discontinua (Phoswich). Línea punteada (centellante) para el ^{129}I

Figura 2b. Comportamiento de la AMD con la distancia. Línea discontinua (Phoswich). Línea punteada (centellante) para el ^{125}I

sistema con el detector de centelleo, estuvo a expensas del aumento (disminución) combinado de la eficiencia (valores del fondo) y del arreglo experimental construido con el detector Phoswich.

El objetivo de conocer la eficiencia y la sensibilidad, en función de la distancia de los sistemas presentados, reside en la necesidad de realizar mediciones a las personas para la distancia cuello-detector lo menos posible. Para el detector de centelleo, a partir de su utilización en el laboratorio por años, se ha comprobado que la distancia mínima promedio a la cual este se puede posicionar para obtener la actividad en la glándula tiroides es de 15 cm, mientras que para el Phoswich esta distancia es de 5 cm. En uno y otro caso ello sucede, porque al intentar acercamientos mayores se provocan molestias a la persona medida.

Por tanto, el sistema que utiliza el detector de centelleo no es lo suficientemente sensible para detectar los valores de incorporación de ^{129}I correspondientes al NR_1 , para los períodos de monitoreo de 14 y 7 días, y no es capaz de detectar el 5 % del LAI en los períodos de 30, 14 y 7 días. Para el radionúclido ^{125}I , la situación anterior no se presenta, siendo la instalación sensible para detectar incorporaciones correspondientes a 0.05 y 0.1 LAI para todos los períodos de monitoreos presentados en la tabla. En el caso de la instalación con el Phoswich los valores de AMD permiten que se puedan monitorear ambos radionúclidos para cualquier período representado en la tabla.

Conclusiones

Las facilidades que se obtienen con el uso del sistema con el detector Phoswich, permiten que se pueda establecer cualquier frecuencia de monitoreo en la aplicación de un programa individual de vigilancia de la exposición interna de ^{125}I , y ^{129}I . La sensibilidad para el sistema con el detector de centelleo posibilita planificar la frecuencia de monitoreo para el ^{125}I en cualquier período de monitoreo y para el ^{129}I , con una frecuencia de hasta 30 días.

Referencias

- [1]- OIEA. Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección Seguridad No.115. Viena: OIEA, 1997.
- [2]- GENICOT JL. The in vivo detection of low energy photon emitters in radiation protection and in nuclear medicine. A new philosophy for new needs in vivo counting. Radiat Protect Dosim. 2000; 89(3-4): 339-342.
- [3]- International Commission on Radiological Protection (ICRP). Individual monitoring for internal exposure of workers. ICRP Publication 78. Annals of the ICRP. 1997; 27(3-4).
- [4]- International Commission on Radiological Protection (ICRP). Report of the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23. ICRP, 1974.
- [5]- CURRIE LA. Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination: Application to Radiochemistry. Anal Chem. 1968; 40(3), 586-593.
- [6]- International Commission on Radiological Protection (ICRP). Individual monitoring for internal exposure of workers. ICRP Publication 78. Annals of the ICRP. 1997; 27(3-4).

Recibido: 9 de octubre de 2013

Aceptado: 8 de mayo de 2014