

CALIBRACIÓN EQUIPO PARA DOSIMETRÍA INTERNA DE TRABAJADORES OCUPACIONALES DE RADIOFARMACIA

Arciniegas-Alvarez, M.A.¹, Agulles L.², Sanchez, M.²

¹ Instituto Nacional de Cancerología E.S.E.,

² Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

Por medio del presente trabajo se busca establecer una metodología de calibración cruzada usando una fuente de Ba-133 para un detector de NaI(Ta), usado para la medición de captación tiroidea de I-131 en el proceso de dosimetría interna de trabajadores ocupacionalmente expuestos, en el cual la medición de la mínima actividad detectable por el mismo sea acorde al nivel de registro, garantizando que esta medición se encuentre dentro de un rango de certidumbre adecuado. Con tal fin se quiere establecer un protocolo de calibración cruzada antes de la medición con los trabajadores, empleando a su vez un simulador físico certificado por el OIEA para tiroides, así como algunas correcciones pertinentes dados los problemas existentes de retrodispersión, para consolidar y analizar los datos hallados en los trabajadores de una manera adecuada en el registro dosimétrico individual a través de una medición directa. A su vez se estableció un procedimiento que permite seleccionar la ROI donde los espectros de Ba-133 y I-131 tengan la misma eficiencia y la obtención de la mínima actividad detectable adecuada para satisfacer un nivel de registro que conduce a dosis efectivas comprometidas de 2 mSv en tiempos aproximados de conteo de 20 min.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la existencia y conformación de un programa de vigilancia radiológica individual debe existir una normalización de un método de detección de la actividad incorporada; en este caso en particular se opta por un método directo de medición como lo es la espectrometría gamma. Estas medidas deben tener en cuenta una serie de verificaciones que puedan asegurar un método de ensayo apropiado para el propósito establecido y permitir evaluar con un grado de certeza la medición de actividad incorporada que estimará la dosis efectiva comprometida a través de la incorporación en tiroides debido al riesgo de exposición por inhalación tras la manipulación del I-131 [1,2].

Posterior a la toma de las mediciones por medio de un modelo estandarizado, la evaluación de las mismas y la correcta interpretación de los resultados; así mismo, la frecuencia y la precisión del programa de vigilancia radiológica individual deben determinarse de acuerdo a las condiciones fluctuantes en las variadas labores desempeñadas, así como los cambios en las posibles incorporaciones sufridas en el tiempo de medición, teniendo en cuenta las características implícitas de incertidumbre en el equipo empleado y en la medición de los

¹ E-mail: marciniegas@cancer.gov.co

trabajadores. Por lo anterior, es necesario definir paso a paso los procedimientos desarrollados para el cálculo de los límites de detección en los métodos de adquisición de las posibles incorporaciones medidas con el equipo.

Al emplear y establecer un sistema de calibración cruzada para el detector usado en las mediciones directas de las actividades incorporadas sobre tiroides, se debe poder garantizar que la medida de esta se encuentre dentro de un rango adecuado de certidumbre por medio de patrones de medida conocidos y de la implementación de correcciones a la misma. En los casos que usan un detector inorgánico se debe tener en cuenta que la resolución energética es limitada y que inclusive al darle tratamiento a estos espectros complejos por medio de métodos de deconvolución no se puede determinar completamente que la medida sea completamente fiable [3].

En este trabajo se presenta la descripción del equipo y la metodología para realizar la calibración con el fin de cuantificar la cantidad de actividad incorporada de I-131 para trabajadores de la radiofarmacia del Instituto Nacional de Cancerología E.S.E.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS USADOS

Para realizar cuantificación de incorporación de actividad de I-131, El Instituto Nacional de Cancerología E.S.E. cuenta con un equipo “Gamma-Sonda” Captus 3000, del fabricante Capintec Inc., la cual cuenta con las especificaciones técnicas presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificación técnica del equipo usado para cuantificación de incorporaciones de actividad de I-131

Componente	Tamaño
Serial	900604
Detector	NaI (TI)
Tamaño detector	5.1 x 5.1 cm
Resolución	8%o mejor para Cs-137
Colimador	cumple con estándar ANSI N44.3-1973
Canales de la interfaz	1024 canales
Máxima tasa de conteo	100000 cps

Adicionalmente se cuenta con fuentes tipo lápiz de Cs-137 y Eu-152 con el fin de realizar la calibración del detector en energía, linealidad y constancia. También se cuenta con una fuente de Ba-133 tipo gotero de actividad inicial 244 μ Ci al 01/04/2007 y con un maniquí de captación tiroidea Marca BIODEx el cual es propuesto por el Organismo Internacional de Energía Atómica (ver Figura 1).



Figura 1. Maniquí para calibración de sonda del equipo Captus 3000

3. METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN

En la metodología de calibración del equipo se usan los elementos mencionados en la sección 2.

El cálculo estimado de la dosis incorporada se encuentra sustentado en diferentes modelos biocinéticos propuestos para una estimación de la dosis que puede incorporarse en situaciones de manejo del I-131, con tal finalidad se pretende realizar una vigilancia rutinaria encaminada a tomar mediciones al principal órgano involucrado en la captación de material particulado de I-131 como lo es la glándula tiroidea. Las medidas obtenidas son empleadas para calcular la incorporación de dicho radionúclido que conduce a calcular un estimativo de la dosis efectiva comprometida. El registro dosimétrico de cada uno de los trabajadores medidos se registra en el formato especial y adicionalmente el consolidado de las mediciones mensuales junto con la dosis debida a exposición externa conduce a la estimación de dosis efectiva anual también se consolida por escrito.

Las medidas de los conteos relacionados con la caracterización del fondo y de eficiencia de la fuente de Ba-133, también forman parte de los formatos institucionales como parte del seguimiento a las condiciones variables que se pueden presentar tanto en el área donde se toma la posible actividad manejada en el trabajador, como las condiciones intrínsecas del detector.

El tipo de monitoreo operacional empleado para los trabajadores encargados de la directa manipulación es de tipo semanal, puesto que las operaciones de recepción y encapsulamiento de las dosis se pueden realizar hasta 2 veces por semana en las instalaciones bajo operación en caja de guantes; a su vez para que se satisfaga la condición de que la incertidumbre en el valor de la incorporación [2].

3.1. Calibración en energía

A continuación se mostrarán los pasos seguidos para la calibración del equipo así como para la calibración cruzada usando la fuente de Ba-133

1. Ubique la fuente tipo lápiz de Cs-137 (actividad de 1.007 μ Ci medida el 1 de Marzo de 2011) dentro de la sonda del equipo Captus 3000 que se ha posicionado verticalmente (ver Figura 2) de tal forma que la parte activa (parte negra) quede en contacto con la superficie del detector.
2. Se realizan la configuración del software que permite una autocalibración en energía del detector.



Figura 2. Ubicación de la fuente de calibración de Cs-137 y Eu-152 para la calibración en energía, linealidad y prueba de constancia de la sonda del equipo Captus 3000

3. La medición durará alrededor de 60 segundos. Cuando este proceso se pone en marcha el espectro aparece en cuentas por canal y se extraen los datos del pico de alta y baja energía en su respectivo canal, la ganancia, el umbral (threshold) y el ancho a la mitad de la altura máxima (FWHM).
4. La última línea contiene la FWHM del pico, esta deberá ser menor a 8%, valor que puede incrementarse hasta un 11% dependiendo del tiempo de vida del detector.

3.2. Calibración en linealidad

La prueba de linealidad para la sonda es realizada posterior a la culminación de la prueba de calibración en energía. La fuente de Eu-152 se introduce dentro de la sonda del mismo modo que la fuente para calibración de energía, una vez ubicada la fuente se continúan el proceso

de autocalibración. La medición durará alrededor de 150 segundos. El objetivo de esta prueba es verificar que la respuesta del equipo es lineal y es ajustada a 2 keV/canal.

3.3. Constancia

La prueba de constancia para la sonda es realizada posterior a la culminación de la prueba de linealidad, para lo cual se ubica la fuente de Cs-137 tipo lápiz usada en la prueba de calibración de energía dentro de la sonda del equipo Captus 3000, de manera idéntica a como se realizó en la prueba de calibración de energía. La prueba de constancia compara la actividad medida con la actividad calculada por decaimiento, cuya discrepancia debe ser de $\pm 10\%$.

3.4. Medición del factor de calibración para I-131 con Ba-133 para la geometría en dosimetría interna

En el software se configura para el registro de cuentas en el rango del espectro (0 a 2048 keV) usando el analizador multicanal. Se selecciona una región de interés (ROI) en el rango de 242 keV a 435 keV. Se realiza la medición del fondo en esta ROI durante 60 s.

Luego se ubica el maniquí BIODEx (Ver Figura 1) a una distancia de 1 cm del extremo de la cubierta del detector (ver Figura 3), con el fin de reproducir las condiciones geométricas de medida, ubicando previamente la fuente de Ba-133 dentro del maniquí a la cual se debe retirar la tapa para un ajuste adecuado. Dentro de la ROI seleccionada se encuentran 4 picos de energía del Ba-133, el de 276 keV con una emisividad de 0.0716; el de 302.8 keV con una emisividad de 0.1834; el de 356 keV con una emisividad de 0.6205 y la de 383.8 keV con una emisividad de 0.0894 [3].



Figura 3. Esquema de ubicación del maniquí de cuello para medición de eficiencia

Con el fin de considerar la contribución de retrodispersión en el espectro, se aplica el método de las tres ventanas [4], el cual pretende realizar la corrección a la región de interés considerada. Para ello se escogen dos ventanas, una inferior y una superior a la ROI de un ancho en energía equivalente a la mitad del de la ROI (Ver Figura 4). En este caso, la ventana inferior tendría un intervalo de 96 keV por debajo de los 242 keV y de 96 keV por encima de los 435 keV. Estas ventanas deben ser configuradas en la herramienta MCA.

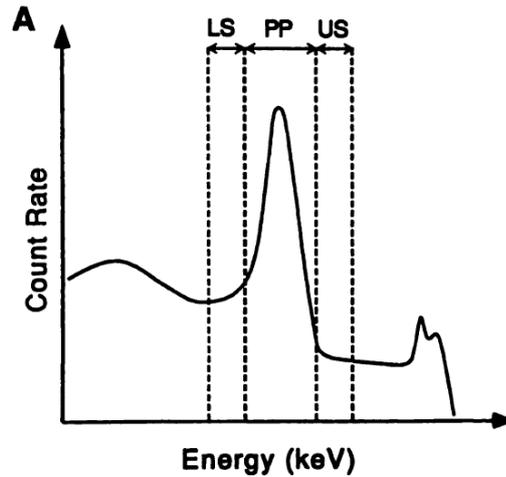


Figura 4. Esquema de selección de las ventanas en el método de triple ventana

Se realiza la corrección por retrodispersión para la ROI principal como se indica en la ecuación 1.

$$C_T = C_{ROI} - C_{VI} - C_{VS} \quad [1]$$

Donde C_{ROI} son las cuentas netas en la ROI, C_{VI} representa las cuentas netas en la ventana inferior y C_{VS} representa las cuentas netas en la ventana superior.

Se calcula la eficiencia del detector de NaI(Tl) para las emisiones en los picos de energía del Ba-133 como se indica en la ecuación 2.

$$E_{Ba-133} = \frac{C_T}{T(s) \cdot A(Bq) \cdot \sum Y_{Ba-133}} \quad [2]$$

donde T es el tiempo de conteo, A la actividad de la fuente, $\sum Y_{Ba-133}$ es la suma de la proporción de emisiones dentro de los picos considerados en la ROI y C_{neto} son las cuentas netas dentro de la ROI definida para los picos de energía del Ba-133 considerados, en el caso de la ROI de 242 a 435 keV se tiene que $\sum Y_{Ba-133} = 0.9649$.

Se define que la eficiencia equivalente de I-131 es aquella en la cual la tasa de conteo en la ROI es igual para ambos radionucleidos (Ba-133 y I-131), de modo que se cumple la expresión que se muestra en la ecuación 3.

$$E_{eqI-131} = E_{Ba-133} \frac{\sum Y_{I-131}}{\sum Y_{Ba-133}} \quad [3]$$

Siendo $\sum Y_i$ la sumatoria de las emisividades de los fotopicos comprendidos en la ROI del espectro de la fuente i .

La eficiencia equivalente de I-131 es un parámetro que permite determinar la actividad en los casos de conteo de I-131, de forma tal que para una tasa de conteo determinada de I-131 la actividad de I-131 se obtiene a través de la ecuación 5.

$$A_{I-131} = \frac{cps_{T_{I-131}}}{E_{eqI-131}} \quad [5]$$

De esta manera se permite conocer la actividad para I-131 en la ROI descrita anteriormente, en la geometría de calibración recomendada para dosimetría interna de los trabajadores.

3.5. Medición de la Actividad Mínima Detectable (AMD) para dosimetría interna

En el ROI de 242 a 435 keV se realiza la medición de fondo para la sonda. El valor de cuentas de fondo C_f y el tiempo de conteo T en segundos usan para calcular la AMD a través de la ecuación 6 [5] considerando la estadística de Currie.

$$AMD = \frac{4.65\sqrt{C_f} + 2.71}{T \cdot E} \quad [6]$$

En el caso de estudio, la AMD para tiempos de conteo de 20 min fue en promedio de 330 Bq. Esto indica una restricción para el nivel derivado de registro, ya que la dosis efectiva comprometida al que conduce el valor de la AMD obtenida es de 2 mSv.

4. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN EN LOS TRABAJADORES

Al día siguiente de la manipulación de I-131, se le pide a los trabajadores que se despojen del uniforme utilizado en la radiofarmacia y se cubran con otro uniforme que se tenga conocimiento no está contaminado, de la misma manera que se retiren cadenas y gafas, así como en el caso de las mujeres que tengan el cabello recogido y no tengan maquillaje. Son pasados a la sala acondicionada donde se encuentra el equipo (ver Figura 5). En la sala no debe existir un fondo que sea considerable ya que eso afectaría el resultado de las mediciones, ni se deben tener las fuentes que fueron empleadas para la calibración del equipo ya que pueden afectar la respuesta del mismo. Se le informa al trabajador que la medición durara alrededor de 20 min, razón por la cual puede si lo desea recostarse en la silla en lo posible evitando moverse. La información es registrada en formato institucional mostrado en la Figura 6.

rutinarios en la calibración del mismo son de gran relevancia para poder estimar correctamente los resultados de la medida.

Existe una limitación para el sistema de medición presentado en este trabajo con respecto a la actividad mínima detectable, puesto que para llegar a un nivel derivado de registro relacionado a una dosis efectiva comprometida de 1 mSv (nivel de público), los tiempos de conteo resultarían extremadamente largos y generarían incomodidad para la adquisición de los datos del trabajador.

4. REFERENCIAS

1. Organismo Internacional de Energía Atómica., Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos. RGS1.2. Guía de seguridad. STI/PUB/1077 (ISBN:92-0-306704-3) 91 pp.2004
2. Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers, 1997.
3. Recomendaciones para la medición de I-131 en la tiroides humana usando un detector de NaI(Tl). Yepes N, Andrés. P, Rojo. A. VIII Congreso regional de Seguridad Nuclear, congreso latinoamericano del IRPA y el V congreso nacional de protección radiológica. Medellín Colombia 2010.
4. James B. Stubbs Michael G. Stabin Marguerite T. Hays Kenneth F. Koral James S. Robertson Roger W. Howell Barry W. Wessels Darrell R. Fisher David A. Weber Jeffrey A. Siegel, Stephen R. Thomas and A. Bertrand Brill. MIRD pamphlet no.16: Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimates, 1999.
5. Reporte No. 58 National Commission of Radiation Protection (NCRP Report No 58), A Handbook of Radioactivity Measurement Procedures, 1984

