

Resultados del ejercicio nacional de intercomparación en dosimetría interna

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

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Calle 20 No 4113 e/ 41 y 47, Playa. La Habana, Cuba
dayana@cphr.edu.cu

Resumen

La manipulación de fuentes no selladas de radiación con fines diagnósticos y terapéuticos en la práctica de medicina nuclear en Cuba supone un riesgo, desde el punto de vista radiológico, para el personal ocupacionalmente expuesto vinculado a esta actividad. Es por esto imprescindible la existencia de un programa de vigilancia que verifique que dicho riesgo se minimice, partiendo del cumplimiento de la normativa nacional existente y de la observancia de las recomendaciones internacionales. La base de este programa es la realización de un monitoreo individual que permita cuantificar la actividad del radionucleido incorporado por el personal expuesto, con el objetivo final de estimar su dosis efectiva comprometida. En el caso de Cuba, el ^{131}I es el radionucleido que mayor riesgo supone desde el punto de vista de la incorporación, por lo cual se le ha dedicado especial atención.

Desde el año 2011 el Laboratorio de Dosimetría Interna del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones ha desarrollado diversos proyectos que incluyen capacitación, calibración de equipamiento en instituciones hospitalarias, evaluación de riesgo de incorporación a nivel nacional y desarrollo de una guía de vigilancia radiológica como base para implementar los programas. La cumbre de todos estos esfuerzos y el modo más eficaz de comprobar su utilidad, fue la realización de un Ejercicio de Intercomparación sobre Actividad Medida en Tiroides y Dosis Efectiva Comprometida debido a la Incorporación de ^{131}I en los Departamentos de Medicina Nuclear del país. En el ejercicio participaron tres de las principales instituciones en las que se emplea el mencionado radionucleido. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, demostrando el avance existente en el tema y señalando las áreas donde es preciso enfocar esfuerzos para corregir deficiencias.

Palabras clave: dosimetría; irradiación interna; evaluaciones comparativas; yodo 131; dosis efectivas de radiación; protección contra las radiaciones; comparaciones interlaboratorios.

Results of the national intercomparison exercise in internal dosimetry

Abstract

The manipulation of unsealed sources of radiation for diagnostic and therapeutic purposes in the practice of nuclear medicine in Cuba represents a risk, from a radiological point of view, for occupationally exposed personnel linked to this activity. For this reason, the existence of a surveillance program that verifies that said risk is minimized, based on compliance with existing national regulations and observance of international recommendations, is essential. The basis of this program is the performance of an individual monitoring that allows to quantify the activity of the radionuclide incorporated by the exposed personnel, with the final objective of estimating its committed effective dose. In the case of Cuba, ^{131}I is the radionuclide that poses the greatest risk from the point of view of incorporation, for which special attention has been devoted to it.

Since 2011, the Internal Dosimetry Laboratory of the Center for Radiation Protection and Hygiene has developed various projects that include training, calibration of equipment in hospital institutions, risk assessment of incorporation at the national level and development of a radiological surveillance guide as basis for implementing the programs. The summit of all these efforts and the most effective way to verify its usefulness was the performance of an Intercomparison Exercise on Measured Thyroid Activity and Committed Effective Dose due to the Incorporation of ^{131}I in the Nuclear Medicine Departments of the country. Three of the main institutions in which the afore-

mentioned radionuclide is used participated in the exercise. The results obtained were satisfactory, demonstrating the existing progress on the subject and pointing out the areas where it is necessary to focus efforts to correct deficiencies.

Key words: *dosimetry; internal irradiation; comparative evaluations; iodine 131; effective radiation doses; radiation protection; interlaboratory comparisons*

Introducción

La manipulación de fuentes no selladas de radiación, en la industria, la investigación y de manera especial en el área médica para fines diagnósticos y terapéuticos, hace imprescindible la existencia de un sistema de vigilancia que evalúe el riesgo, desde el punto de vista radiológico, de los profesionales vinculados a estas actividades, permitiendo la optimización de la dosis que reciben. La implementación de programas de vigilancia radiológica responde además, a requerimientos específicos, expuestos en la normativa nacional vigente [1] y en las recomendaciones internacionales [2], para el empleo de radiaciones ionizantes en cualquiera de las prácticas antes mencionadas.

Dichos programas de vigilancia se complejizan cuando, además de existir una exposición externa de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE), existe un riesgo de incorporación de material radiactivo al organismo. Este es el caso típico de la práctica de Medicina Nuclear, en la que se emplean fuentes no selladas de radiación. Los radionucleidos que con mayor frecuencia se emplean en Cuba son: ^{99m}Tc , ^{125}I y ^{131}I , siendo este último el más complejo y riesgoso debido a sus características físico – químicas y a su frecuente utilización para el diagnóstico y tratamiento de afecciones tiroideas. Es por esto que la Vigilancia Radiológica Individual de la Exposición Interna (VRIEI), ocupa un lugar relevante dentro del Programa de Protección Radiológica requerido para esta práctica en la normativa actual [3].

El Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) es la única institución en el país reconocida por la Dirección de Seguridad Nuclear (DSN), que cuenta con las capacidades necesarias para proveer el servicio de monitoreo individual de la exposición interna. En las instalaciones del Laboratorio de Dosimetría Interna (LDI) el monitoreo se ha llevado a cabo históricamente de dos formas: “in situ” utilizando sus capacidades para los TOE de las instituciones cercanas, como el Centro de Isótopos y fuera de sus instalaciones, a partir de las mediciones que realizan directamente los Servicios de Medicina Nuclear (SMN), con el equipamiento que disponen. Esta última modalidad responde a la imposibilidad de desplazar centenares de kilómetros a los TOE de todo el país, con una frecuencia determinada. Esto significa que los SMN deben ser capaces de utilizar sus medios para medir y estimar la Incorporación de ^{131}I , y deben realizarlo conforme a procedimientos validados y reconocidos, partiendo de la correcta implementación de protocolos de control de calidad, de la aplicación de procedimientos de medición reproducibles, y de la co-

recta estimación y asignación de las correspondientes dosis efectivas comprometidas.

Todo lo anterior demuestra que la implementación de la VRIEI en un SMN es un proceso necesario y complejo, por lo que el LDI ha volcado sus esfuerzos a esta área desde el año 2011 mediante la ejecución de varios proyectos de alcance nacional, entre ellos:

- “Mejora del desempeño y la cobertura nacional de los servicios de dosimetría interna” (2011-2013).
- “Perfeccionamiento de la Vigilancia Radiológica Individual de la Exposición Interna para los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos en la República de Cuba” (2014 - 2016).
- “Guía para la implementación de la Vigilancia Radiológica de la Exposición Interna en los Servicios de Medicina Nuclear de la República de Cuba” (2017-2018).

Estos proyectos posibilitaron realizar, a nivel nacional, la evaluación del riesgo de incorporación y definir el Programa Nacional para la Vigilancia Radiológica Individual de la Exposición Interna, sentaron las bases para la capacitación mediante el diseño de un curso de dosimetría interna con alcance nacional (ejecutado en 2015), permitieron la calibración de equipamiento en instituciones hospitalarias, el desarrollo del software “CDIS-SMN” (herramienta validada para ejecutar el proceso de control de calidad del equipamiento, medición y estimación de dosis “in situ”) y el desarrollo de una guía de vigilancia radiológica como base para el diseño e implementación de los programas.

La cumbre de todos estos esfuerzos y el modo más eficaz de comprobar su utilidad, fue la ejecución en el año 2019, del proyecto “Ejercicio de Intercomparación sobre Actividad Medida en Tiroides y Dosis Efectiva Comprometida debido a la Incorporación de ^{131}I en los DMN del país”. El objetivo perseguido por el proyecto era la verificación de la capacidad de medición “in vivo” de yodo en tiroides y de interpretación de datos de monitoreo.

Desarrollo

Para la realización del ejercicio de intercomparación se notificó la convocatoria a los SMN que tenían implementado un programa de VRIEI. Se elaboró un protocolo con la descripción de las actividades, se envió a las entidades interesadas y se coordinó la realización de las mismas.

El protocolo de intercomparación tuvo en cuenta los criterios vigentes para la evaluación de la exposición interna [4] y los procedimientos establecidos en la región para la calibración y control de calidad del equipamien-

to, así como para la medición de la actividad [5]. En el mismo se presentaban tres actividades:

- Medición de la actividad de ¹³³Ba en un simulador de tiroides proporcionado por el LDI.
- Estimación de la precisión de la medición.
- Determinación de la dosis efectiva comprometida. Actividad que se orientó valorando dos escenarios diferentes:
 - **Escenario 1:** Incorporación repetida de ¹³¹I. Caso que simula las condiciones rutinarias de incorporación para los TOE de los SMN.
 - **Escenario 2:** Incorporación única de ¹³¹I. Caso que simula condiciones no usuales de trabajo, como un incidente radiológico.

Adicionalmente se recomendaba que, previo al inicio del ejercicio de intercomparación, se realizara un control de calidad a fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema de detección.

El protocolo enviado a los SMN contaba con cuatro anexos que debían ser completados con la información general de los participantes (datos generales de las instituciones, del sistema de medición y de la calibración empleada) y con los resultados obtenidos durante la ejecución de las actividades propuestas. Dichos anexos, una vez completados, fueron enviados al coordinador del ejercicio de intercomparación para su posterior evaluación.

Los datos generados en el ejercicio de Intercomparación fueron tratados por el LDI como material confidencial, por lo que los SMN participantes fueron identificados mediante códigos y solamente ellos conocen la referencia asignada a su institución.

Desarrollo

En la intercomparación participaron tres SMN de diferentes provincias del país, que cuentan con sistemas similares de adquisición “DETECT-PC”, diseñados y fabricados en el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN).

En todos los casos, previo a la ejecución de las mediciones, fue necesario realizar la calibración de los sistemas debido a diferentes causas: reparación reciente del equipamiento, nueva adquisición o tiempo prolongado fuera de servicio. Este proceso fue ejecutado por un especialista del LDI del CPHR, empleando el procedimiento PR/LDI/AE/05: Procedimiento de calibración de un captor de yodo para monitorear la incorporación de ¹³¹I. El mencionado procedimiento, así como el servicio de calibración, están reconocidos ante la DSN.

Adicionalmente, en todas las instituciones se realizó una capacitación en temas generales de dosimetría interna, en la que se detalló el alcance e importancia del ejercicio de intercomparación.

Exactitud de la Medición

Cada SMN efectuó la medición del simulador de tiroides en la posición y tiempo utilizados rutinariamente en el programa de monitoreo individual. La figura 1 muestra los sistemas de medición empleados y el posicionamiento del simulador.

El resultado de la medición fue expresado como $(A \pm 2\sigma)$ [Bq], siendo A la actividad medida y 2σ el error estadístico de la medición calculado con un nivel de confianza del 95%. La evaluación de la Exactitud fue realizada a través de la desviación (R) del valor medio reportado respecto al valor real.

La tabla 1 muestra los resultados de cada institución, la figura 2 muestra una comparación entre las actividades reportadas por los SMN participantes y los valores de referencia y la figura 3 esquematiza la desviación R obtenida en comparación con el criterio de aceptación del ANSI: $0,75 < R < 1,5$.



Figura 1. Sistemas de medición y posicionamiento del simulador en los SMN.



Figura 2. Comparación entre las actividades reportadas por los SMN participantes y los valores de referencia.

Tabla 1. Resultados de las mediciones del simulador de tiroides.

Código**	Actividad Reportada [Bq]	Incert. [Bq]	Actividad de Referencia [Bq]	Incert. de Referencia [Bq]	R (SMN/Ref.)
A	3491	0.0007692	2868.0	52	1.22
B	2578	64.9	2850.9	52	0.90
C	3298	275.3	2869.5	52	1.15

**Los SMN participantes fueron identificados mediante códigos y solamente ellos conocen el correspondiente a sus entidades.



Figura 3. Comparación de las desviaciones obtenidas con el criterio de aceptación del ANSI: $0,75 < R < 1,5$.

Todos los participantes presentaron resultados satisfactorios para la medición “*in vivo*” de ¹³¹I en tiroides. Con relación a la estimación de la incertidumbre, independientemente de que se recomendaba una metodología de cálculo, los valores reportados por los participantes presentan una gran variación.

Precisión

La precisión de conteos permite considerar el error que se introduce con la variación de la posición de medición establecida en la calibración y fue determinada a través de una serie de mediciones repetidas del simulador. El mismo fue colocado en la posición establecida para la adquisición y se realizaron 5 mediciones, posicionando el simulador cada vez. El estudio de la precisión se realizó partiendo de la desviación estándar de la muestra. La tabla 2 presenta los resultados obtenidos.

Tabla 2. Precisión de las mediciones del simulador de tiroides

Código	Precisión	Precisión Deseada	Observación
A	9.04	< 5 %	Fuera de rango
B	2.70		Aceptable
C	1.27		Aceptable

El valor obtenido por el SMN A no fue aceptable, sin embargo, la actividad reportada como resultado de la medición de actividad del simulador sí es satisfactoria. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que, las desviaciones en el posicionamiento del simulador respecto a la posición de calibración durante la repetición de las mediciones, influyen negativamente en el resultado de la precisión. De ahí la importancia de prestar especial atención a la geometría de medición.

Estimación de Dosis Efectiva Comprometida

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados obtenidos.

En todos los casos los factores de retención en tiroides (m(t)) fueron correctamente seleccionados de la publicación 78 de la ICRP [6]. En el primer caso para 7 días (mitad del intervalo de monitoreo) y en el segundo caso para 2 días (como parte de un monitoreo especial).

El coeficiente de dosis (e(50)) debió seleccionarse tratando el ¹³¹I como un gas o vapor reactivo, valor que puede localizarse en la publicación 78 de la ICRP [6] y con más detalle en su publicación 68 [7]. La selección incorrecta de dicho parámetro conllevó a una subestimación de la dosis por dos de los SMN participantes.

Tabla 3. Resultados de la estimación de dosis para el escenario 1

Actividad Reportada [Bq]				
Código		A	B	C
Reportado	Actividad Medida [Bq]	3491	2578	3298
	m(t) [Bq/Bq.incorp.]	1.40E-01	1.40E-01	1.40E-01
	e(50) [Sv/Bq]	1.10E-08	1.10E-08	2.00E-08
	E (50) [mSv]	0.27	0.15	0.47
Referencia	m(t) [Bq/Bq.incorp.]		1.40E-01	
	e(50) [Sv/Bq]		2.00E-08	
		0.50	0.37	0.47
Observación		Subestimación de dosis		Aceptable

Tabla 4. Resultados de la estimación de dosis para el escenario 1

Actividad Reportada [Bq]				
Código		A	B	C
Actividad Medida [Bq] (Dato)			2000	
Reportado	m(t) [Bq/Bq.incorp.]	2.20E-01	2.20E-01	2.20E-01
	e(50) [Sv/Bq]	1.10E-08	1.10E-08	2.00E-08
	E (50) [mSv]	0.048	1.0	1.8
Referencia	m(t) [Bq/Bq.incorp.]		2.20E-01	
	e(50) [Sv/Bq]		2.00E-08	
	E (50) [mSv]		1.82	
Observación		Subestimación de dosis		Aceptable

Conclusiones

- Los resultados de “actividad medida” obtenidos por todos los SMN fueron satisfactorios.
- La prueba de Precisión tuvo resultados satisfactorios en dos de los SMN. Es necesario prestar especial atención al posicionamiento de los TOE durante la ejecución de las mediciones.
- En todos los casos fue seleccionado correctamente el factor de retención $m(t)$, para la estimación de la actividad incorporada.
- En dos de los SMN existieron deficiencias en la selección del coeficiente de dosis $e(50)$, lo que conllevó a la subestimación de la dosis efectiva comprometida, demostrando la necesidad de capacitación existente en el país.
- Los resultados obtenidos en la presente intercomparación corroboran que, con un adecuado entrenamiento, los SMN del país tienen la capacidad de ejecutar las mediciones de actividad y las correspondientes estimaciones de dosis efectiva comprometida, requeridas como parte de la implementación de un programa de VRIEI de sus TOE.

Recomendaciones

- Planificar y ejecutar acciones de capacitación en dosimetría interna con alcance nacional.
- Organizar, con mayor frecuencia, ejercicios de intercomparación que permitan verificar la capacidad de los SMN del país para ejecutar las mediciones “*in vivo*” de ^{131}I en tiroides y las correspondientes estimaciones de dosis efectiva comprometida a sus TOE.

Referencias Bibliográficas

- [1]. Resolución Conjunta CITMA-MINSAP. Normas básicas de seguridad radiológica. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2002.
- [2]. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad. STI/PUB/1578. Viena: OIEA, 2016. ISBN 978-92-0-307915-0.
- [3]. CITMA. Guía de seguridad para la práctica de Medicina Nuclear. Resolución Nro. 40/2011 del CITMA. La Habana: CITMA, 2012.
- [4]. CASTELLANI C, MARSH J, et. al. EURADOS-IDEAS Guidelines (version 2) for the estimation of committed doses from incorporation monitoring data. Radiation Protection Dosimetry. 2016; 170(1-4): 17-20.
- [5]. Proyecto ARCAL Procedimiento para determinación in vivo de radionucleidos en el cuerpo humano. Código: PR/ARCAL LXX-VIII/04. 2005.
- [6]. International Commission on Radiological Protection. Individual monitoring for internal exposure of workers. ICRP Publication 78. Annals of the ICRP (1998).
- [7]. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24 (4).

Recibido: 15 de julio de 2021

Aceptado: 24 de septiembre de 2021

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

CRedit / Gestión de proyectos: Dayana Ramos Machado, Yoan Yera Simanca. **Análisis formal:** Dayana Ramos Machado, Yoan Yera Simanca, Gladys M. López Bejerano, Nancy Acosta Rodríguez. **Conceptualización:** Dayana Ramos Machado, Yoan Yera Simanca, Gladys M. López Bejerano. **Conservación de datos:** Dayana Ramos Machado, Nancy Acosta Rodríguez. **Redacción - primera redacción:** Dayana Ramos Machado. **Redacción - revisión y edición:** Dayana Ramos Machado, Gladys M. López Bejerano. **Investigación:** Dayana Ramos Machado, Yoan Yera Simanca. **Metodología:** Dayana Ramos Machado. **Obtención de financiación:** Yoan Yera Simanca, Gladys M. López Bejerano. **Recursos:** Dayana Ramos Machado, Yoan Yera Simanca, Gladys M. López Bejerano. **Software:** Dayana Ramos Machado. **Supervisión:** Dayana Ramos Machado, Gladys M. López Bejerano. **Validación:** Dayana Ramos Machado, Gladys M. López Bejerano. **Visualización:** Dayana Ramos Machado.