

Evaluación de parámetros tomográficos de una cámara gamma utilizando método Monte Carlo

Ivón Oramas Polo

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)
Ave. Salvador Allende y Luaces. La Habana, Cuba

ioramas@instec.cu

Resumen

En este trabajo se realizó la evaluación de parámetros tomográficos de la cámara gamma Park Iso-cam II mediante el código Monte Carlo SIMIND. Los parámetros uniformidad, resolución y contraste se evaluaron a través de la simulación del maniquí de Jaszczak. Además, se realizó la evaluación cualitativa del centro de rotación. Los resultados obtenidos en la simulación se evaluaron tomando como referencia las especificaciones del fabricante de la cámara gamma y teniendo en cuenta el Protocolo Nacional de Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear del Centro de Control de Equipos Médicos en Cuba. Se obtuvo un modelo computacional del maniquí de Jaszczak con tres distribuciones diferentes de actividad que se puede usar para realizar estudios con cámaras gamma.

Palabras clave: tomografía de emisión computarizada de fotón único; maniqués (radiología); método de Monte Carlo; cámaras gamma

Evaluation of tomographic ISOCAM Park II gamma camera parameters using Monte Carlo method

Abstract

In this paper the evaluation of tomographic ISOCAM Park II gamma camera parameters was performed using the Monte Carlo code SIMIND. The parameters uniformity, resolution and contrast were evaluated by Jaszczak phantom simulation. In addition the qualitative assessment of the center of rotation was performed. The results of the simulation are compared and evaluated against the specifications of the manufacturer of the gamma camera and taking into account the National Protocol for Quality Control of Nuclear Medicine Instruments of the Cuban Medical Equipment Control Center. A computational Jaszczak phantom model with three different distributions of activity was obtained. They can be used to perform studies with gamma cameras.

Key words: single photon emission computed tomography; phantoms; Monte Carlo method; gamma cameras

Introducción

La tomografía de emisión de fotón único, conocida como SPECT, es la tecnología imagenológica que permite la detección de fotones emitidos por un órgano, evaluarlos como eventos aislados durante la adquisición y reconstruirlos como cortes tomográficos. A través de la SPECT es posible conocer la distribución tridimensional de un radionúclido en el interior del organismo, solucionar parcialmente los problemas que ocasiona la superposición de estructuras en las gammagrafías planares, aumentar el contraste y mejorar la sensibilidad para detectar lesiones [1].

Según [1], para evaluar el funcionamiento de un sistema SPECT se recomienda, como unos de los principales parámetros, que se debe medir a la uniformidad tomográfica y al centro de rotación (COR).

El COR es el punto físico alrededor del cual gira el sistema detector-colimador. Es una de las pruebas más importantes del SPECT, pues si la cámara gamma no mantiene la ortogonalidad de los ejes durante la adquisición, existirá una pérdida de resolución durante la reconstrucción que será mayor a medida que se aleje del centro e impedirá un diagnóstico seguro y fiable [1].

El empleo de maniqués de funcionamiento total es una prueba muy útil para el sistema tomográfico, ya que permite evaluar integralmente un conjunto de parámetros funcionales. Su realización permite detectar anomalías en la uniformidad debido a la presencia de artefactos circulares, del ajuste del COR o de la resolución espacial por la pérdida de lesiones visualizadas, deficiencias del coeficiente de atenuación empleado para la corrección a través de una variación mayor del 10 % en el perfil de uniformidad, etc. Por eso, cualquier degrada-

ción significativa de estos parámetros funcionales, entre las pruebas de referencia y las de rutina, necesita una investigación detallada [1].

El maniquí de Jaszczak proporciona una información que consiste en el rendimiento de cualquier sistema SPECT o PET (Tomografía por emisión de positrones). Muchas de las características de los sistemas SPECT son evaluadas con un simple escaneo de este maniquí. Entre las utilidades que tiene el maniquí para evaluar un sistema SPECT se encuentran: pruebas de aceptación, evaluación del COR, evaluación de atenuación y dispersión, evaluación de filtros de reconstrucción para la resolución espacial, entre otras [2].

La simulación mediante método Monte Carlo se utiliza ampliamente para modelar el funcionamiento de las cámaras gamma, a pesar de sus limitaciones por los prolongados tiempos de cálculo [3-6]. Teniendo en cuenta que la imagenología en medicina nuclear trata con fenómenos aleatorios como la desintegración radiactiva, la emisión de la radiación de la energía mediante fotones y la detección de esos cuantos y partículas en varios materiales; las simulaciones por métodos Monte Carlo se han empleado como una herramienta esencial en este campo, específicamente para la imagenología con SPECT y la PET [6].

La simulación permite además, obtener un modelo computacional del maniquí de Jaszczak, que se puede usar para realizar estudios de cualquier cámara gamma. El modelo también se puede utilizar para la simulación de lesiones en pacientes.

La evaluación de los parámetros de control de calidad en sistemas simulados es importante para la verificación de las cámaras gamma. Existen reportes en la literatura especializada de simulaciones realizadas con el maniquí de Jaszczak. Su utilidad reside en que se puede usar fácilmente para comparar las rutinas de control de calidad de sistemas SPECT con los parámetros que se obtienen de la simulación [7]. En el presente trabajo se muestran tres tipos de simulaciones del maniquí: con actividad en los insertos; con actividad en los insertos y el fondo; y con insertos fríos y actividad en fondo. De esta manera, se amplían las posibilidades para la investigación con este maniquí y el uso de radiofármacos asociados a la medicina nuclear.

El propósito de este trabajo fue realizar la evaluación de los parámetros tomográficos: uniformidad, resolución y contraste mediante la simulación por método Monte Carlo del maniquí de Jaszczak. También se efectuó la evaluación cualitativa del COR. La simulación se realizó a través del código Monte Carlo SIMIND (*Simulating Medical Imaging Nuclear Detectors*) versión 4.9 [8].

Materiales y Métodos

El código Monte Carlo SIMIND reproduce una cámara gamma SPECT y se puede modificar fácilmente para realizar casi todo tipo de cálculos o mediciones en las imágenes gammagráficas que genera, incluyendo imágenes de transmisión. El código SIMIND tiene dos

programas principales, CHANGE y SIMIND. El programa CHANGE permite definir las condiciones de la simulación y generar los datos de los archivos de entrada al sistema. La simulación se lleva a cabo por el programa SIMIND, que lee los archivos de entrada creados por el CHANGE y devuelve los resultados calculados como espectros, imágenes en formato Interfile, mapas de densidad, etc. [9].

En este trabajo, el SIMIND fue configurado para simular la cámara gamma de doble cabezal Park Iso-cam II [10] (figura 1). En el CHANGE se introdujeron los parámetros técnicos de esta cámara como el tamaño (58 cm x 43 cm) y espesor (0.95 cm) del cristal de NaI (TI) (yoduro de sodio activado con talio), el espesor del material retrodispersor (3 cm) y de la cubierta protectora (0.2 cm).



Figura 1. Cámara gamma Park Isocam II.

El maniquí de Jaszczak (figura 2) está hecho de un material acrílico y consiste en 6 esferas frías con diámetros diferentes (9.5, 12.7, 19.1, 15.9, 25.4 y 31.8 mm) y 148 barras frías de (4.8, 6.4, 7.9, 9.5, 11.1 y 12.7 mm) [8]. Las especificaciones para el maniquí se muestran en la tabla 1 [2].

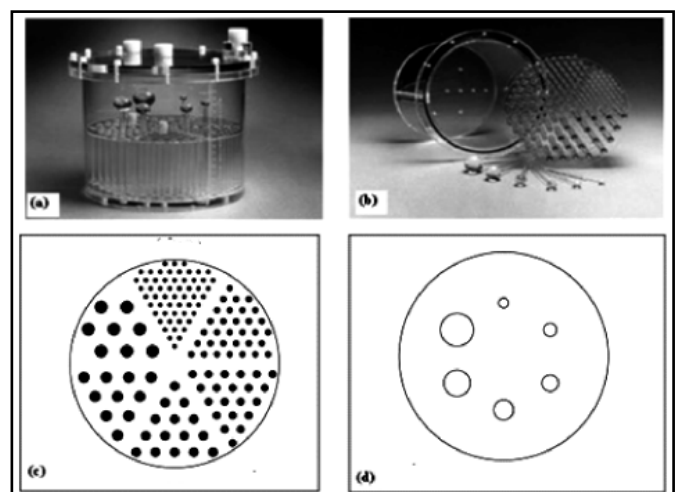


Figura 2. a) Maniquí de Jaszczak modelo ECT/FL-DLX/P; b) Componentes; c) Sección del maniquí mostrando la posición y el diámetro de las 148 barras en 6 sectores (4.8, 6.4, 7.9, 9.5, 11.1, 12.7 mm) y d) 6 esferas sólidas (9.5, 12.7, 15.9, 19.1, 25.4, 31.8 mm).

Tabla 1. Especificaciones del maniquí de Jaszczak

Diámetro del cilindro interior	21.6 cm
Altura del cilindro interior	18.6 cm
Espesor de las paredes del cilindro	3.2 mm
Volumen	6.75 L
Volumen de los insertos	6.1 L
Altura de los insertos fríos de barras	8.8 cm
Altura de las esferas desde la placa base	12.7 cm

Para la adquisición con el maniquí de Jaszczak se debe realizar un estudio de SPECT. Para esta prueba se tomaron los siguientes parámetros: se simuló una SPECT con 64 proyecciones, matriz 128 x 128, ventana energética del 20 % de 140 KeV y la fuente con una actividad de 444 MBq de ^{99m}Tc.

El algoritmo de reconstrucción por retroproyección filtrada (RPF) (*filtered Backprojection*), empleado para la reconstrucción tomográfica, introduce por el propio sistema de cálculo un emborronamiento de las imágenes. Este fenómeno en el espacio frecuencial es como si se hubiera aplicado el filtro definido por el inverso de la frecuencia $F=1/\omega$, siendo ω la frecuencia. El emborronamiento se corrige multiplicando la imagen de amplitud por ω a fin de compensar el efecto del $1/\omega$ [11].

El sistema de reconstrucción por retroproyección se basa en descomponer en cortes el volumen cuyo interior se quiere estudiar. La dirección de estos cortes es siempre perpendicular al eje de giro de la cámara gamma (cortes transversales) y su grosor mínimo viene determinado por el tamaño del píxel. El algoritmo de retroproyección se aplica entonces sobre cada corte, convirtiendo la reconstrucción volumétrica en una sucesión de reconstrucciones bidimensionales, es decir, la reconstrucción del interior de cada corte. Al hacerse la reconstrucción de cada corte de forma independiente para cada uno de ellos, se pierde la influencia que tienen los cortes vecinos, hecho que en cierta medida disminuye la veracidad del resultado. Una vez reconstruido el interior de cada corte (transversal), estos se vuelven a “apilar” a fin de obtener una estimación volumétrica que permita obtener los cortes en otras direcciones. El filtro final aplicado a las imágenes reconstruidas es la composición del filtro de rampa con el filtro de post-procesado. Los equipos de procesado, a fin de acortar los tiempos de cálculo, en vez de aplicar sucesivamente los dos filtros, emplean un filtro único compuesto por el de rampa y por el elegido [11].

Para la reconstrucción de las imágenes se usó el filtro de Butterworth, cuya expresión matemática en el dominio de la frecuencia es la siguiente:

$$F(\omega) = 1/\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^N}$$

donde N- orden del filtro y ω_c - frecuencia de corte.

Para el análisis y procesamiento de las imágenes adquiridas se seleccionó una cantidad determinada de cortes de la parte central de la sección del maniquí,

donde se encuentran las barras para evaluar la resolución espacial tomográfica. Para evaluar la uniformidad se seleccionaron cortes en la sección donde no hay esferas ni barras. Por último, para evaluar el contraste se seleccionó otra cantidad de cortes en la sección de las esferas [2] (figura 3).

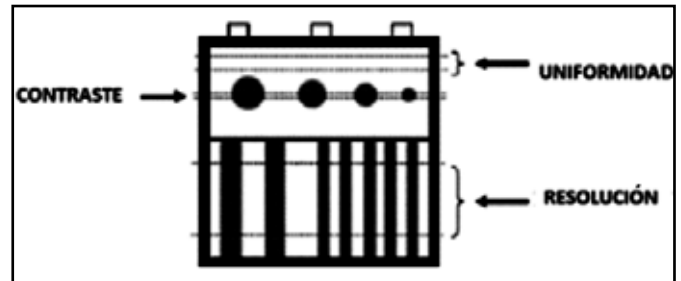


Figura 3. Secciones del maniquí para el análisis y procesamiento de las imágenes [12].

Para realizar la evaluación cualitativa del COR se debe adquirir un estudio de SPECT de una fuente puntual y reconstruirla. En esta prueba se tomaron los siguientes parámetros: se simuló una SPECT con 64 proyecciones, matriz 128 x 128, ventana energética del 20 % de 140 KeV y la fuente con una actividad de 37 MBq de ^{99m}Tc.

Resultados y Discusión

Si bien existen protocolos estandarizados para el control de calidad de los sistemas SPECT, muchos fabricantes proponen procedimientos específicos que optimizan el proceso de evaluación de sus parámetros y se recomienda su empleo en la práctica clínica. Es por ello que, para validar los resultados, se compararon los parámetros obtenidos en las simulaciones por Monte Carlo con los parámetros de referencia del fabricante [10], de acuerdo con el Protocolo Nacional de Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear de Cuba [1].

Para la simulación del maniquí de Jaszczak se seleccionó en el parámetro 15 del CHANGE la distribución 7, que indica: maniquí de múltiples esferas (*multiple-spheresphantom*). La distribución se define a través de un fichero ASCII donde cada fila define una fuente [9]. Cada fila está compuesta por ocho valores reales. Los tres primeros definen el radio en las coordenadas X, Y y Z de la fuente. Los valores del cuatro al seis, definen las coordenadas desde el centro del sistema. El valor de la posición siete es la concentración de actividad deseada y el valor ocho determina la forma de la fuente de la siguiente manera: una esfera (0.0), una barra horizontal cilíndrica (1.0), una barra horizontal rectangular (2.0), una barra horizontal hexagonal (3.0) y una barra vertical cilíndrica (4.0).

El fichero de configuración del maniquí de Jaszczak que se definió consta de 154 filas. Para determinar las coordenadas y las dimensiones de las barras y las esferas de cada una de las fuentes que componen

el maniquí se hizo una tomografía axial computarizada (TAC) a este y se determinaron las coordenadas con el programa ImageJ [13] (figura 4).

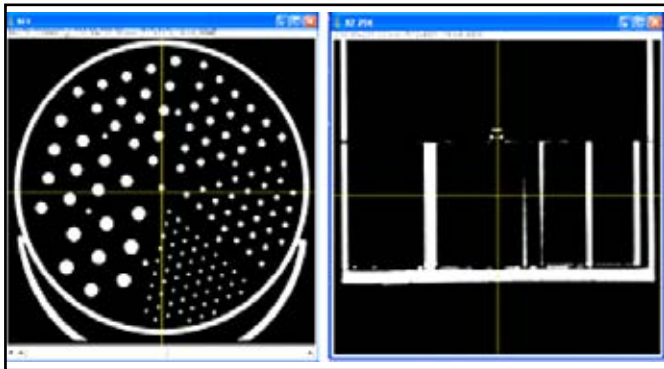


Figura 4. Tomografía axial computarizada del maniquí de Jaszczak.

Se simularon tres tipos de distribuciones del maniquí. En la figura 5 a) se muestra el maniquí con las barras y esferas con actividad; en la figura 5 b) con las barras, esferas y el fondo con actividad y en la figura 5 c) se muestra cómo se usa en la práctica clínica el maniquí, con todos los insertos fríos y el fondo con actividad.

Para la reconstrucción tomográfica de las imágenes simuladas del maniquí de Jaszczak se usó el método de RPF con el filtro de Butterworth a una frecuencia de corte $\omega_c = 0.9$ y orden $N = 4$. En la figura 6 se muestra la reconstrucción del maniquí con actividad en los insertos y el fondo.

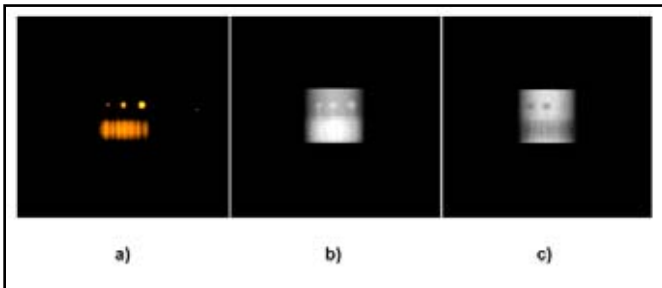


Figura 5. Simulación del maniquí de Jaszczak. a) actividad en los insertos, b) actividad en los insertos y el fondo, c) insertos fríos y actividad en fondo.

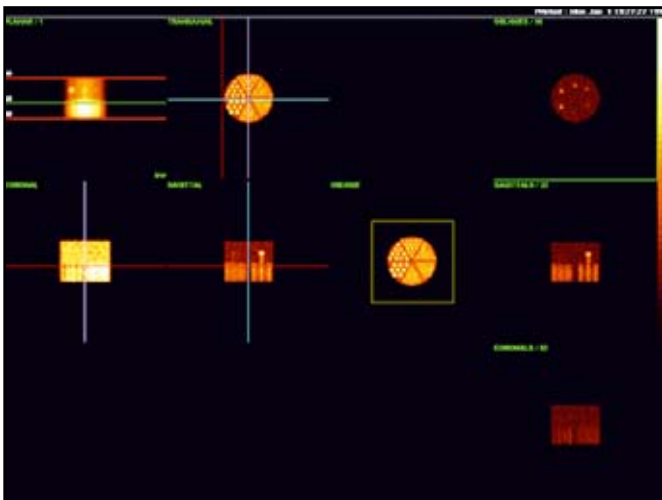


Figura 6. Reconstrucción del maniquí de Jaszczak con actividad en los insertos y en el fondo.

En la figura 7 se muestran las imágenes reconstruidas para el análisis y procesamiento. Para evaluar la resolución espacial tomográfica se seleccionaron 27 cortes de la parte central de la sección del maniquí donde se encuentran las barras (del 72 al 99). Para evaluar la uniformidad se seleccionaron ocho cortes en la sección donde no hay esferas ni barras (del corte 37 al 45). Por último, para evaluar el contraste se seleccionaron cinco cortes en la sección de las esferas (del 55 al 61).

En la figura 8 se muestran las imágenes reconstruidas para la evaluación de la uniformidad tomográfica, el contraste y la resolución tomográfica. Teniendo en cuenta lo que se plantea en [1], se evaluaron cualitativamente las imágenes obtenidas en los diferentes cortes transaxiales y no se encontraron anillos concéntricos de ningún espesor.

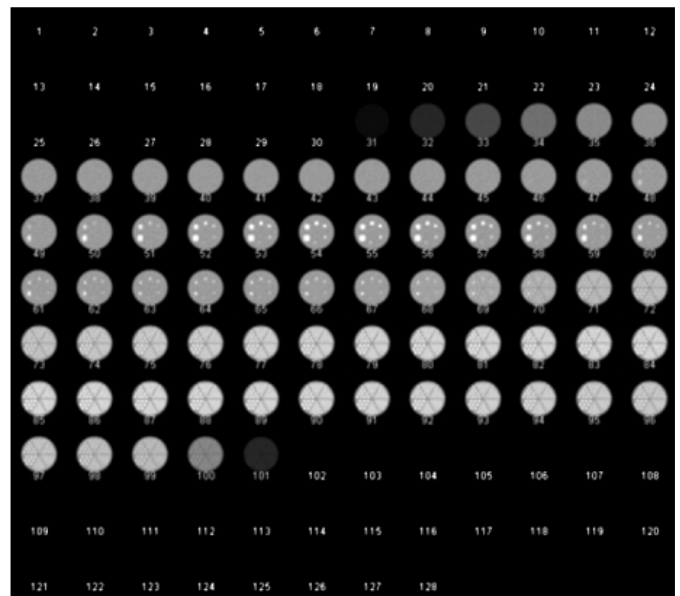


Figura 7. Imágenes reconstruidas del maniquí de Jaszczak.

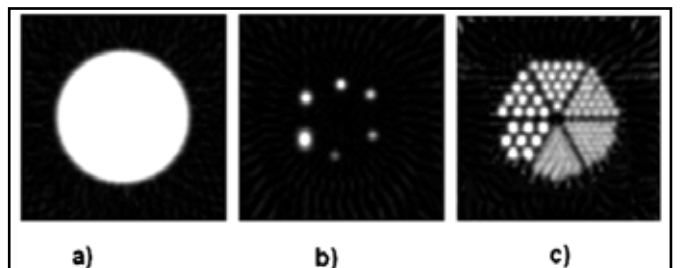


Figura 8. Imágenes reconstruidas para la evaluación tomográfica. a) uniformidad tomográfica. b) contraste y c) resolución espacial tomográfica.

En la tabla 2 se muestran los valores de la uniformidad para los ocho cortes. La uniformidad integral como se observa es menor del 20 % establecido para este parámetro por el Protocolo Nacional de Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear de Cuba [1].

Tabla 2. Uniformidad tomográfica

	UFOV	CFOV
U.I. %	4.52	4.32
U.D. %	4.23	3.89

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos para la evaluación del contraste en los cinco cortes del maniquí con actividad en los insertos. Se puede comprobar que el contraste decrece con la disminución del diámetro de las esferas. La esfera de diámetro 31.8 mm tiene un contraste de valor significativo con respecto a la esfera de diámetro 9.5 mm. Este comportamiento es el esperado cuando se realiza este tipo de evaluación según establece el fabricante [10].

La resolución espacial se obtuvo al evaluar cualitativamente la imagen mediante el reconocimiento del diámetro mínimo de las barras que se pudieron diferenciar en el maniquí. A partir de la figura 8 c) se determinó que la resolución espacial tomográfica es aproximadamente igual a 12.7 mm. Según [1], la resolución tomográfica no debe superar 2 mm al valor de la resolución planar que es de 12 mm. La resolución planar se evaluó en un trabajo anterior [14] y su valor se comportó según lo establecido por el fabricante [10].

Tabla 3. Evaluación de contraste para el maniquí con actividad en los insertos

Diámetro esfera (mm)	31.8	25.4	19.1	15.9	12.7	9.5
Contraste	0.925	0.915	0.885	0.816	0.770	0.580

Basado en lo que se plantea en [1], el empleo del maniquí de Jaszczak es una prueba muy útil para el sistema tomográfico, pues permitió estimar integralmente un conjunto de parámetros funcionales. Al realizar la evaluación de estos, no se detectó ningún tipo de degradación en ninguno de ellos. Por tanto, la simulación cumple con lo establecido para este procedimiento.

Para la evaluación del COR se realizó la reconstrucción tomográfica mediante el método de RPF con el filtro de Butterworth a una frecuencia de corte $\omega_c = 0.22$ y orden $N = 8$. Según [1], para evaluar cualitativamente el estado del COR, se observaron las imágenes de todas las proyecciones adquiridas en modo cine y se comprobó que no existen corrimientos abruptos del COR en ninguna de las proyecciones. En la figura 9 se muestra el corte tomográfico donde está la fuente completamente definida. Se observa un punto caliente central, por lo que se puede afirmar que el centro de rotación es correcto. Por tanto, la simulación cumple con lo establecido con el protocolo usado.

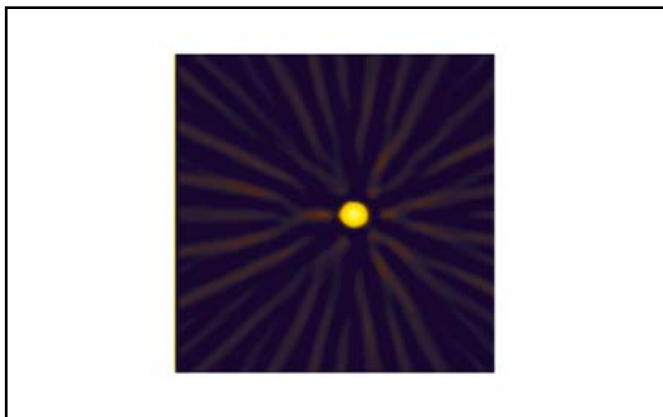


Figura 9. Corte tomográfico del COR.

Este trabajo también se puede utilizar con propósitos docentes y para el entrenamiento de físicos médicos en los departamentos de Medicina Nuclear.

Conclusiones

Se realizó la evaluación de los parámetros tomográficos: uniformidad, resolución y contraste mediante la simulación por método Monte Carlo SIMIND del maniquí de Jaszczak, así como la evaluación cualitativa del COR.

Los resultados de las pruebas realizadas quedaron dentro de los límites establecidos, al ser comparados con los parámetros de referencia del fabricante y de acuerdo con el Protocolo Nacional de Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear de Cuba. De esta manera, quedó verificado el modelo computacional propuesto para la cámara gamma objeto de estudio.

Referencias

- [1] LÓPEZ A, AROCHE LT, COCA MA, et. al. Protocolo Nacional de Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear. La Habana: Centro de Control de Equipos Médicos, 2004.
- [2] Flangeless Deluxe Jaszczak SPECT Phantom. [document online] <http://www.spect.com/pub/Flangeless_Jaszczak_Phantom.doc.pdf> [1 de febrero 2015]
- [3] ZAIDI H, SGOUROS G. Therapeutic applications of monte carlo calculations in nuclear medicine. Series in medical physics and biomedical engineering. CRC Press, 2002.
- [4] BUVAT I, CASTIGLIONI I. Monte carlo simulations in SPET and PET. Q J Nuc Med. 2002; 46(1): 48-61.
- [5] ZAIDI H. Relevance of accurate monte carlo modeling in nuclear medical imaging. Med Phys. 1999; 26(4): 574-608.
- [6] LJUNGBERG M, STRAND SE, KING MA. Monte carlo calculations in nuclear medicine: Applications in diagnostic imaging. Series in Medical Physics and Biomedical Engineering. CRC Press, 1998. 308 p.
- [7] LJUNGBERG M, STRAND SE. A monte carlo program for the simulation of scintillation camera characteristics. Comput Methods Programs Biomed. 1989; 29(4): 257-272.
- [8] ISLAMIAN JP, TAGHI BTM, MOMENNEZHAD M, et. al. Simulation of a quality control Jaszczak Phantom with SIMIND monte carlo and adding the phantom as an accessory to the program. Iranian Journal of Medical Physics. 2012; 9(2): 135-140.
- [9] SIMIND. The SIMIND Monte Carlo Program [software online]. <<http://www2.msf.lu.se/simind>> .
- [10] ISOCAM Technical Reference Manual. Preliminary Revision. Part No. 062-100004-00.
- [11] PUCHAL RA. Filtros de Imagen en Medicina Nuclear. Madrid: SEFM, 1998.
- [12] GE. Acquiring & Processing Jaszczak™ Phantom Data. GE Healthcare Infinia + Hawkeye 4 User's Guide. 2006.
- [13] RASBAND W, FERREIRA TA. The ImageJ User Guide. Versión 1.43 [document online]. 2010
- [14] ORAMAS PI. Simulación del funcionamiento de una cámara gamma mediante método monte carlo. Rev Fis Med. 2014; 15(1): 21-28.

Recibido: 16 de septiembre de 2014

Aceptado: 23 de abril de 2015