

Estudio de los indicadores de dosis por tomografía computada en un sistema híbrido SPECT/CT: resultados preliminares

 Adlin López Díaz¹,  Armando del Pozo Almaguer²,  Adalberto Machado Tejada³,
 Juan Miguel Martín Escuela⁴,  Karla Batista Ramón⁵,  Leonel Alberto Torres Aroche⁵,
 Carlos Fabián Calderón Marín⁶,  Manuel S. Fernández Rondón⁷

¹ Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC-UH), La Habana, Cuba

² Instituto Nacional de Hematología, La Habana, Cuba

³ Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos (CECMED)

⁴ Hospital Hermanos Ameijeiras (HHA), La Habana, Cuba

⁵ Dirección de Servicios Biomédicos, Centro de Isótopos (DSB-CENTIS), La Habana, Cuba

⁶ Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR), La Habana, Cuba

⁷ Agencia Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA), Cuba

adlin@instec.cu

Resumen

La introducción en Cuba de los equipos de imágenes híbridas es un reto para los físicos médicos, que deben garantizar la seguridad del paciente y la estimación de las dosis que reciben. Este trabajo tuvo el objetivo de estudiar los indicadores de dosis por tomografía computada (TC) en un equipo híbrido SPECT/CT. Para esto se desarrolló y verificó una herramienta automatizada en MATLAB, que permite visualizar las imágenes y obtener los indicadores relacionados con las dosis que reciben los pacientes por la componente TC de los estudios híbridos, como herramienta para la optimización, monitoreo y/o control de las exposiciones médicas en estos equipos. Para su validación se verificó el funcionamiento con 62 estudios de TC, estimándose los índices volumétricos de dosis (CTDIvol), los productos dosis longitud (DPL) y las dosis efectivas (E), a partir de los identificadores de los ficheros DICOM. Los resultados preliminares del estudio dosimétrico de TC encontrados en el equipo, están dentro del rango de los publicados en la literatura, por lo que su utilización es válida y efectiva como estudio preliminar para caracterizar esta exposición.

Palabras clave: dosis efectivas de radiación; tomografía de emisión computerizada de fotón único; evaluación; pacientes; protección contra las radiaciones

Study of the patient's related dose produced by computer tomography with a hybrid SPECT/CT System: preliminary results

Abstract

The introduction in Cuba of imaging hybrid systems in nuclear medicine has become a challenge for medical physicist in order to guaranty the patient's radiation safety and proper dose estimation. The aim of this study was to retrospectively evaluate the CT radiation doses for studies performed with a SPECT/CT hybrid system (SPECT/CT). A MATLAB "in house" made tool was tested and validated for this purpose. 62 patients with CT studies were manually and automatically reviewed; the tool could visualize and properly recover the patient personal information, CT protocol and dose related data from the DICOM header in the SPECT/CT study file. The CT volume dose index (CTDIvol) parameter was used for calculating the CT dose-length product (DPL) and the effective doses (E). The CT radiation dose preliminary results were on the range of those reported by others authors for the typical studies, demonstrating the efficacy of the tool developed and the CT dose assessment method.

Key words: gammagraphy effective radiation doses; single photon emission computed tomography; evaluation; patients; radiation protection

Introducción

Durante los últimos años, la introducción de nuevas tecnologías diagnósticas y terapéuticas que emplean radiaciones ionizantes, ha provocado un incremento significativo de la exposición médica y de la dosis colectiva por este concepto [1,2], situación que ha traído como consecuencia la preocupación de las autoridades y de la comunidad científica. Una expresión de esto es el “llamado de Bonn a la acción” que busca fomentar el trabajo coordinado para abordar los temas del mejoramiento de la protección radiológica en medicina. Este llamado fue realizado en la Conferencia Internacional organizada por el OIEA en 2012, en la Ciudad de Bonn, Alemania; y fortalecido en la Conferencia de seguimiento en Viena, Austria en 2017 [3]. Especialmente el uso de la Tomografía Computarizada (TC) muestra niveles de incremento significativo en muchos países [1, 4, 5], también se ha producido un incremento de las dosis en Medicina Nuclear por la incorporación de los equipos híbridos, que arrojan dosis más altas que las convencionales por la combinación de ambos equipos [5, 6].

La Medicina Nuclear en Cuba, es una especialidad sujeta a normativas claras y rigurosas, que demandan el estudio y optimización periódica de las dosis que reciben los pacientes por estos exámenes [7], tarea que se describe claramente en sus procedimientos normalizados de operación y que se establece a partir del registro y control de la actividad del radiofármaco administrada al paciente. Sin embargo, la incorporación de equipos híbridos de Tomografía por Emisión del Fotón Único (conocida por sus siglas en inglés, SPECT/CT) o de la Tomografía por Emisión de Positrones combinadas con CT (por sus siglas en inglés, PET/CT), introducen un reto a la práctica diaria, puesto que el registro de los parámetros relacionados con la dosis que recibe el paciente por TC es complejo.

Por otro lado, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) propuso el uso de los niveles de referencia de dosis para diagnóstico (NRD) para ayudar en la optimización de la protección radiológica (PR) en la obtención de imágenes médicas con radiaciones ionizantes [8]. Los NRD se introdujeron para identificar procedimientos de obtención de imágenes en los que se pudieran impartir dosis de radiación a los pacientes, más altas que las consideradas «aceptables» o mucho más bajas que esos niveles de referencia. El estudio que requiere establecer estos niveles es una tarea pendiente en nuestro país, que hasta ahora asume como referencia de buenas prácticas recomendaciones de organizaciones extranjeras. Disponer por lo tanto de herramientas que permitan el estudio de las dosis en TC, es altamente conveniente.

Por esta razón, este trabajo tuvo como objetivo desarrollar y verificar una herramienta automatizada para estudiar los niveles de dosis típicas que reciben los pacientes por la componente TC de los estudios híbridos, que permita caracterizarlos y se convierta en una herramienta para el monitoreo, la optimización, y/o control de las exposiciones médicas.

Materiales y métodos

Producto dosis-longitud (DLP) y Dosis Efectiva

Como primera aproximación a la estimación de la dosis absorbida aplicada al paciente en un protocolo específico de TC, se define la magnitud denominada Índice de Dosis en Tomografía Computada en volumen ($CTDI_{vol}$), que describe la dosis promedio de radiación en el volumen x-y-z y es expresado en mGy [9]. Esta magnitud está contenida dentro de los identificadores de los archivos DICOM que contienen las imágenes, de conjunto con otras informaciones relacionadas con el paciente, el protocolo de adquisición, el número de cortes, su espesor, el pitch, etc., que permiten clasificar el estudio y sus características.

La magnitud que se correlaciona con la dosis efectiva y que puede indicar el riesgo, es el producto dosis-longitud (DLP, por sus siglas en inglés: dose-length-product). Este se expresa para una exploración completa, en unidades mGy.cm, de acuerdo con la ecuación:

$$(1) \quad DPL = \sum_i CTDI_{w,i} \cdot T_i \cdot N_i$$

dónde:

- i es la serie de cortes de una secuencia
- T_i el espesor de corte nominal
- N_i el número de cortes con ese espesor.

En la tomografía helicoidal se utiliza la expresión:

$$(2) \quad DPL = CTDI_{vol} \cdot L$$

dónde:

- L es la longitud real escaneada a lo largo del eje z del paciente.

Esta magnitud tiene la ventaja de ser proporcional a la energía total que se imparte al paciente y, por tanto, con algunas limitaciones, también a la dosis efectiva (E). En este caso se tienen en cuenta factores de peso obtenidos a través de una dosis efectiva normalizada (E_{DPL} , expresada en $mSv \cdot mGy^{-1} \cdot cm^{-1}$) que es calculada empleando modelos humanizados por Monte Carlo (MC) y es dependiente de la región expuesta, utilizándose la siguiente fórmula [10]:

$$(3) \quad E = E_{DPL} \cdot DPL$$

El DLP lamentablemente no se reporta en el estándar DICOM de las imágenes, aunque es posible obtenerla matemáticamente a partir de la información recogida en los metadatos al igual que la dosis efectiva (E). Los fabricantes más conocidos han establecido un reporte de dosis para los estudios, a fin de suplir esta falta y favorecer los sistemas de registro de dosis automáticos que ellos promueven de forma particular [11].

Herramienta para análisis de dosis de CT a partir de imágenes DICOM

En nuestro país no tenemos herramientas automatizadas disponibles para desarrollar el estudio de las dosis, por lo que para este análisis se desarrolló una herramienta en MATLAB versión 2008b, que está disponible a partir de una cooperación con la Universidad de San Martín (UNSAM), Buenos Aires, Argentina. En él, se desarrollaron todos los algoritmos de lectura de imágenes, obtención automática de la información relacionada con la dosis que recibe el paciente, visualización y salva automática en una base de datos (en forma de fichero excel). La aplicación fue verificada comparando los datos visualizados y exportados correspondientes a cada paciente, contra la información reportada por el fabricante en su visualizador y re-verificado contra la función de visualización de los identificadores DICOM en el sistema ImageJ 1.5e (<http://imagej.net/>).

Para su verificación y validación, se emplearon los estudios de TC correspondientes a los primeros 62 pacientes, que se encontraban almacenados en la base de datos del SPECT/CT AnyScan SC (Fabricante: Mediso, Número de Serie: AS-501159-SC, del Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Clínico Quirúrgico "Hermanos Ameijeiras") a partir de junio del 2017. El número de la muestra elegido fue superior al valor de n calculado ($n=47$), considerando que es un tamaño de muestra finito (N_p) de 221 estudios (2 meses), con nivel de confianza 95%, coeficiente $Z_{\alpha} = 1.96$, con error absoluto estimado de tener datos erróneos ($\xi < 7\%$) y una probabilidad $p=0.05$ [12].

Para la caracterización de la práctica y el análisis dosimétrico, se registraron los CTDIvol, se estimaron los valores de DLP relacionados con los diferentes tipos de protocolos empleados (ecuación 1 y 2), y la dosis efectiva (ecuación 3), se calcularon los valores promedios y la desviación estándar para caracterizar los diferentes grupos de interés.

Resultados y discusión

La muestra de los pacientes estudiados estuvo compuesta por 30 mujeres y 32 hombres, con promedio de edad de una 59 ± 16 años, peso 73 ± 15 Kg, talla 165 ± 11 cm.

Se desarrolló y verificó herramienta computacional integral en Matlab capaz de leer y visualizar las imágenes de los estudios de TC (híbridos o no) de este equipo, obteniendo los datos contenidos en el cabezal DICOM que se relacionan con la dosis que el paciente recibió. Este sistema exporta a formato Excel los campos de los megadatos que son de interés dosimétrico (conservando el anonimato del paciente) como sexo, peso, talla y el identificador numérico del paciente, el protocolo de estudio, la serie y el tipo, kVp, mAs, tiempo de revolución, el espesor de corte, número de cortes, la colimación, el tiempo de exposición, el filtro y el kernel empleado, el CTDIvol, si se utilizó o no algún modo de ahorro de dosis y si es así, cuál método y qué promedio de dosis ahorró (ver figura 1 que muestra los resultados de la ejecución de la aplicación desarrollada en Matlab a través de una porción del fichero de salida en Excel). Este sistema permite además programar otras funciones sobre las imágenes visualizadas, que facilitarán en el futuro evaluar determinados índices de calidad en las mismas y relacionarlos con los parámetros de dosis.

La subrutina programada mostró 100% de concordancia con los parámetros que muestra el lector del cabezal DICOM de la estación de procesamiento del fabricante y la función correspondiente del Image J, para todos los pacientes. La lectura y visualización de las imágenes fue correcta, conservándose la escala de los números de TC en cada caso.

A pesar de que existen varios productos disponibles de este tipo como DoseWatch (GE Healthcare), DoseWise (Philips), Teamplay (Siemens), DoseTrack (Sectra) y DoseMonitor (PACS Health), estas alternativas son fa-

Número de cortes	Espesor de corte	KVP	CTDI vol	Sistema Modulación Dosis	Dosis ahorrada	pitch	Descripción del protocolo realizado	DPL
64	2.5	120	57.95	NONE	0		Brain Native	927.3
128	1.25	120	45.75	NONE	0		Brain Native	732.0
64	2.5	120	76.26	NONE	0		Brain Routine	1220.1
72	2.5	120	57.95	NONE	0		Brain Routine	1043.2
117	1.25	120	33.55	NONE	0	1	Brain Trauma	490.7
129	2.5	120	22.02	NONE	0		PostRec (Abdomen)	710.0
126	2.5	120	22.02	NONE	0		PostRec (Lung)	693.5
				Combined				
196	1.25	120	22.02	Modulation	44.64		Chest Routine	240.8
				Combined				
232	1.25	120	22.02	Modulation	44.64		Chest Routine	285.0
93	2.5	120	5.24	NONE	0	1.5	SPECT+CT (general)	121.9
79	2.5	120	5.24	NONE	0	1.5	SPECT+CT (general)	103.5
135	2.5	120	5.24	NONE	0	1.5	SPECT+CT (general)	176.9

*DPL en mGy*cm, CTDIvol en mGy, KVP en kVp, espesor de corte en mm.*

Figura 1. Foto de una porción del fichero de salida de la aplicación en Matlab (en formato excel), que muestra parte de los resultados del análisis de varios estudios de TC.

bricante dependientes, parte integral del equipo y deben incluirse dentro de la compra del sistema [13]. Por lo que esta herramienta es una vía factible para realizar estudios de dosis en los diferentes centros y promover estudios de optimización, sin embargo, se recomienda ampliar esta validación a equipos híbridos de otros fabricantes disponibles en el país.

De este estudio de validación con 62 casos, 33 fueron estudios híbridos distribuidos en 19 SPECT/CT óseos con ^{99m}Tc-MDP, 4 son SPECT/CT de paratiroides con ^{99m}Tc-MIBI, 2 de ^{99m}Tc-MIBI en cerebro y 8 son estudios de ^{99m}Tc-MIBI para perfusión. Los resultados de los parámetros dosimétricos estimados, se resumen en la tabla 1.

Los antecedentes bibliográficos demuestran que la intención clínica marca los niveles de dosis de la componente TC dentro del estudio híbrido, los valores reportados en la literatura son variados [5, 14, 15, 16, 17]. Por ejemplo, el artículo deNA. Bebbington, et. al., 2019 encontró que los niveles de referencia de dosis en países nórdicos durante estudios SPECT/CT de paratiroides para localización, fueron 5.7 mGy de CTDIvol y 199 mGy.cm de DPL, mientras que en estudios óseos también para localización fue de 4.0 mGy y 215 mGy.cm respectivamente, y en SPECT/CT de perfusión cardíaca para corrección de atenuación se reportan como 2.2 mGy y 53 mGy.cm, respectivamente [5]. Los niveles de referencia establecidos por el Reino Unido, en 2017 para estudios SPECT/CT de paratiroides para localización, fueron 5.9 mGy de CTDIvol y 210mGy.cm de DPL, mientras que en los estudios óseos también para localización fue de 4.9 mGy y 150 mGy.cm, y en SPECT/CT de perfusión cardíaca para corrección de atenuación se

reportan como 2.1 mGy y 36 mGy.cm, respectivamente [14].

Ferrari M, et. al. (2014) reportaron variaciones de la dosis efectiva para estudios de paratiroides entre 1.2 mSv y 5.4 mSv, mientras que para estudios óseos el rango fue 3.8-4.2 mSv [15]. En SPECT/CT de perfusión cardíaca para corrección de atenuación, Gimelli A, et. al. (2018) reporta dosis efectivas entre 0.5-1.0 mSv si se utilizan las estrategias de reducción de dosis [16], mientras que Ajit Brindhaban, 2020 reporta rangos de CTDIvol entre 1.12–3.97 mGy, con valores medios de CTDIvol 2.3 ± 1.1 mGy y dosis efectiva 1.4 ± 1.0 mSv [17]. Estos resultados preliminares encontrados en HHA, están dentro del rango de los publicados en la literatura, por lo que como estudio de validación y control es aceptable, aunque recomendamos ampliar el estudio para completar el número de casos recomendado en cada protocolo establecido.

El resto de los 62 casos analizados, fueron estudios convencionales de TC clasificados genéricamente como: 7 de cabeza, 7 de tórax , 4 de abdomen-pelvis y el resto de los estudios (11/29) no se incluyeron en ninguna categoría definitiva, por diferentes motivos: su nomenclatura en general no respondía a la definición de estudios típicos o clásicos de TC, la información registrada no era consistente entre los diferentes campos del estudio, no existía correspondencia entre el tipo de estudio seleccionado y el alcance de las imágenes visualizadas. Los resultados de los parámetros dosimétricos estimados para estudios exclusivos de TC, se resumen en la tabla 2.

Tabla 1. Resultados de los parámetros dosimétricos de la componente TC en los estudios híbridos según su clasificación

Número de estudios	Clasificación	RF	% que emplean modulación de dosis	CTDIvol, prom ±DE (mGy)	DPLprom ±DE (mGy cm)	Eprom ±DE (mSv)
19	SPECT/CT óseos	^{99m} Tc-MDP	73	4.1±1.33	162.67 ±86	2.77 ±1.47
4	SPECT/CT paratiroides	^{99m} Tc-MIBI	74	4.85±4.46	96.45±39.87	0.55±0.22
2	SPECT/CT cerebro	^{99m} Tc-MIBI	Bajas dosis	2.61	52.7±5.1	0.11±0.01
8	CA perfusión miocárdica	^{99m} Tc-MIBI	CA	2.62	102.71±0.46	1.71±0.01

CA-corrección de atenuación, DE-desviación estándar

Tabla 2. Resultados de los parámetros dosimétricos de los estudios exclusivos de TC y estudios de referencias anteriores

Número de estudios	Clasificación	% que emplean modulación de dosis	CTDIvol, prom ±DE (mGy)	DPLprom ±DE (mGy cm)	Eprom ±DE (mSv)	
7	Cabeza		51.42±15.98	858.66 ±233.57	1.98±0.54	
7	Tórax		4.85± 4.46	252.66 ±99.81	4.30±1.70	
4	Abdomen-pelvis		12.27± 5.39	205.58 ± 66.14	3.49±1.12	
8	Otros	63	7.65± 7.19	200.51 ±256.62	3.41±4.36	
	Clasificación	Referencias				
		KM Kanal et al (19)		Reino Unido (14)		
		CTDIvol (mGy)	DPL (mGy cm)	CTDIvol (mGy)	DPL (mGy cm)	
		Cráneo	56	936	60	970
		Tórax	15	545	12	610
	Abdomen-Pelvis	20	1004	15	745	

Evaluar los estudios de TC independientes no estaba dentro de los objetivos de este trabajo, que estaba dedicado a la componente TC de los estudios híbridos, sin embargo estos estudios caen dentro del área de responsabilidad del servicio de medicina nuclear, por tanto su caracterización dosimétrica y su optimización se convierte también en una necesidad. La bibliografía sobre las dosis en TC es amplia, pero es también tarea orientada, por eso uniformar los criterios para comparar los indicadores de dosis es una tarea compleja. La dosis a entregar debe estar marcada o relacionada con las indicaciones clínicas de los estudios, que pueden ser muy particulares y variadas, además se adiciona a esta complejidad la diferencia de nomenclaturas empleadas por los fabricantes para señalar los diferentes protocolos y sus características [18, 19]. Agruparlos de forma eficaz para su análisis, también resulta difícil si los registros no son cuidadosos y consistentes, dentro de las regiones anatómicas clásica encontradas en la literatura como cabeza, cervical/cuello, tórax, abdomen y abdomino-pélvica, como demuestra esta porción de estudios no clasificables (18 %). Estos estudios agrupados como “otros”, mostraron una variabilidad marcada de los parámetros descriptores de dosis (observar tabla 2), donde la desviación estándar es mayor que el valor promedio. Esto denota la necesidad de incrementar la cultura de seguridad de los médicos prescriptores, de los médicos responsables de la exposición y de los propios tecnólogos operadores sobre la importancia de registrar de forma estandarizada esta información.

Kanal K, et. al. (2017) establecen como niveles de referencia de dosis en Estados Unidos para TC de cabeza 56 mGy de CTDIvol y 936 mGy.cm de DPL, para tórax 15 mGy y 545 mG.cm respectivamente, mientras que para la región abdomino-pélvica refieren valores de 20 mGy y 1004 mGy.cm para ambos parámetros. Los NRD establecidos por el Reino Unido, en 2017, para estudios TC de cabeza fueron 60 mGy de CTDIvol y 970 mGy.cm de DPL, para tórax 12 mGy y 610 mGy.cm, mientras que para protocolo abdomen-pelvis refieren valores de 15 mGy y 745 mGy.cm [14] (tabla 2).

Cuba posee niveles de referencia para TC establecidos desde el año 2002 [20], en virtud de la magnitud definida como Dosis promedio en cortes múltiples, que se corresponde con la magnitud aquí denominada CTDIvol. En este caso para estudios de cabeza 50 mGy, columna vertebral lumbar 35mGy y abdomen 25 mGy, valores superiores a los encontrados como promedio en este estudio, excepto para estudios diagnósticos de cráneo que son del mismo orden.

Los valores encontrados en este estudio están en el rango de las referencias bibliográficas, demostrando la validez de la herramienta y su utilidad como elemento de estudio y control de la exposición médica, aunque este estudio debe ampliarse para cumplir criterios estadísticos satisfactorios.

Conclusiones

La herramienta para la lectura automática de los descriptores de dosis desarrollada demostró su validez y utilidad en el equipo estudiado, sin embargo, se recomienda ampliar esta validación a equipos híbridos de otros fabricantes disponibles en el país.

Los resultados preliminares del estudio dosimétrico encontrados en HHA, están dentro del rango de los publicados en la literatura, por lo que son aceptables y efectivos como estudio de validación y control; sin embargo, ampliar el número de estudios a una casuística mayor permitiría establecer los niveles de referencia locales con mayor detalle y una base más sólida para desarrollar estudios de optimización mejor documentados.

Referencias bibliográficas

- [1]. European Commission. Medical radiation exposure of the european population. Radiation Protection No. 180. European Commission, 2014. Available in: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180.pdf>.
- [2]. UNSCEAR. Report to the General Assembly. Annex A: medical radiation exposure vol. 1. 2008.
- [3]. IAEA. Bonn call for action platform [web site]. [consulta: 12/4/2021]. Available in: <https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/bonn-call-for-action-platform>
- [4]. REHANI MM. Looking for solutions: vision and a call-forattention for radiation research scientists. *Int J Radiat Biol.* 2019; 95(6): 703-796.
- [5]. BEBBINGTON NA, HADDOCK BT, BERTILSSON H, et. al. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations. *JNMMI Physics.* 2019; 6(24).
- [6]. MARTÍ-CLIMENT JM, PRIETO E, MORÁN V, et. al. Effective dose estimation for oncological and neurological PET/CT procedures. *EJNMMI Research.* 2017; 7(1): 37.
- [7]. CITMA. Guía de seguridad para la práctica de medicina nuclear. Resolución Nro.40/ 2011 del CITMA. La Habana: CITMA, 2012.
- [8]. ICRP. Radiological protection and safety in medicine. ICRP publication 73. *Ann ICRP.* 1996; 26: 1-47.
- [9]. ANDISCO D, BLANCO S, BUZZI AE. Dosimetría en tomografía computada. *Revista Argentina de Radiología.* 2014; 73(3): 156-60.
- [10]. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP.* 2007; 37(2-4):1-332.
- [11]. Universidad de Deusto – Grupo PAS. Estándar y protocolo de imágenes médicas DICOM. [consulta:11/2/2021]. Disponible en: <http://www.pas.deusto.es>.
- [12]. PÉREZ NC, TORRES JT, GARRASTACHO JC, et. al. Bioestadística. Cienfuegos, Cuba: Universo Sur; 2013. 141 p.
- [13]. CROWLEY C, EKPO EU, CAREY BW, et. al. Radiation dose tracking in computed tomography: red alerts and feedback. Implementing a radiationdose alert system in CT. *Radiography.* 2021; 27(1):67-74.
- [14]. National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) from 19 August 2019. Guidance. [consulta: 12/01/2021]. Available in: <https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/ndrl>.
- [15]. FERRARI M, DE MARCO P, ORIGGI D, PEDROLI G. SPECT/CT radiation dosimetry. *Clin Transl Imaging.* 2014; 2: 557-69.
- [16]. GIMELLI A, ACHENBACH S, BUECHEL RR, et. al. Strategies for radiation dose reduction in nuclear cardiology and cardiac computed tomography imaging: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI), the Cardiovascular Committee of European Association of Nuclear Medicine (EANM), and the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *Eur Heart Journal.* 2018; 39: 286-96.

- [17]. BRINDHABAN A. Effective Dose to patients from SPECT and CT during myocardial perfusion imaging. J Nucl Med Technol. 2020; 48: 143-7.
- [18]. DAMILAKIS J, FRIJA G, HIERATH M, et. al. European study on clinical diagnostic reference levels for X-ray medical imaging. Deliverable 2.1: report and review on existing clinical DRLs. Tender Contract N° ENER/2017/NUCL/SI2.759174. EUCLID-European Study on Clinical DRLs. European Commission, March 2018 EC.
- [19]. KANAL KM, BUTLER PF, SENGUPTA D, et. al. U.S. Diagnostic reference levels and achievable doses for 10 adult CT examinations. Radiology. 2017; 284(1): 120-33.
- [20]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear. Reglamento normas básicas de seguridad radiológica. Resolución conjunta CITMA-MINSAP. La Habana: CNSN, 2001. Gaceta oficial de la República de Cuba. La Habana, 2002. Disponible en: <http://www.gacetao-ficial.cu>
- [21]. European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262 EN. Directorate-General XII: science, research and development. 1999.

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 / Conceptualización: Adlin López Díaz. **Curación de datos:** Adlin López Díaz, Armando del Pozo Almaguer, Carlos F. Calderón Marín, Leonel Torres Aroche. **Análisis formal:** Adlin López Díaz, Armando del Pozo Almaguer, Karla Batista Ramó. **Investigación:** Adlin López Díaz, Armando del Pozo Almaguer. **Metodología:** Adlin López Díaz, Armando del Pozo Almaguer. **Validación y verificación:** Adalberto Machado Tejada, Manuel Fernández Rondón. **Visualización:** Karla Batista Ramó. **Redacción del borrador original:** Adlin López Díaz. **Redacción, revisión y edición:** Armando del Pozo Almaguer, Adalberto Machado Tejada, Karla Batista Ramó, Carlos F. Calderón Marín, Leonel Torres Aroche, Manuel Fernández Rondón