

LA MEDICINA NUCLEAR EN LA DETECCIÓN DE ENFERMEDADES

NUCLEAR MEDICINE IN DISEASE DETECTION

Luis Leandro Pérez Arias ¹ * , Marian Caraballo Ponce ¹ 

¹ Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Facultad de Tecnología de la Salud. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia:
leandroperezarias20@gmail.com

Recibido: 19 de noviembre del 2022
Aceptado: 30 de diciembre del 2022

Citar como:

Pérez Arias LL, Caraballo Ponce M. La medicina nuclear en la detección de enfermedades. Revista Cubana de Tecnología de la Salud [Internet]. 2022 [citado:]; 13(4):e3924. Disponible en: <http://www.revtecnologia.sld.cu/index.php/tec/article/view/3924>

RESUMEN

Introducción: la Medicina Nuclear ha representado un significativo avance para el diagnóstico y tratamiento de afecciones graves que aquejan a los seres humanos. *Objetivo:* explicar la importancia de la Medicina Nuclear para la detección de enfermedades y los beneficios correspondientes. *Método:* se realizó una investigación de revisión bibliográfica en la cual se recopiló información relacionada con el tema a partir de la búsqueda de artículos científicos en PubMed/Medline, Redalyc, SciELO. Se utilizaron los descriptores: "Medicina Nuclear", "Protección Radiológica", "Sistema Nacional de Salud cubano". Se incluyeron los artículos publicados en los últimos cinco años en idioma español y en inglés. La búsqueda arrojó un total de 99 artículos relacionados con el objetivo del presente trabajo, de los cuales 25 fueron seleccionados tras una revisión preliminar para el desarrollo. *Análisis e integración de la información:* la medicina nuclear es una especialidad médica que utiliza radiotrazadores (radiofármacos) para evaluar las funciones corporales, diagnosticar y tratar enfermedades. Este campo es abarcador e importante en el estudio de enfermedades oncológicas. Asimismo los beneficios han sido relevantes en el tratamiento de estas enfermedades. La seguridad y protección radiológica siempre va de la mano con cualquier procedimiento médico que se realice al paciente y al profesional de la salud para así mantener una buena seguridad ante cualquier exposición que se realice. *Conclusiones:* se explicaron las generalidades de la medicina nuclear en la detección de las diversas enfermedades y los beneficios en el tratamiento de las mismas.

Palabras clave: Detección de enfermedades, Medicina Nuclear, Seguridad y Protección Radiológica.

ABSTRACT

Introduction: Nuclear Medicine has represented a significant advance in the diagnosis and treatment of serious conditions that affect human beings. *Objective:* to explain the importance of Nuclear Medicine for the detection of diseases and the corresponding benefits. *Method:* a literature review research was carried out in which information related to the subject was compiled by searching for scientific articles in PubMed/Medline, Redalyc, and SciELO. The following descriptors were used: "Nuclear Medicine", "Radiological Protection", and "Cuban National Health System". Articles published in the last five years in Spanish and English were included. The search yielded a total of 99 articles related to the objective of this work, of which 25 were selected after a preliminary review for development. *Analysis and integration of information:* Nuclear medicine is a medical specialty that uses radiotracers (radiopharmaceuticals) to evaluate body functions, diagnose and treat diseases. This field is comprehensive and important in the study of oncological diseases. The benefits have also been significant in the treatment of these diseases. Radiological safety and protection always go hand in hand with any medical procedure performed on the patient and the health professional in order to maintain a good level of safety in the event of any exposure. *Conclusions:* the generalities of nuclear medicine in the detection of various diseases and the benefits in their treatment were explained.

Keywords: Disease detection, Nuclear Medicine, Radiation Safety and Protection

INTRODUCCIÓN

La medicina nuclear (MN) es una especialidad médica que emplea técnicas seguras, con un alto índice de costo-beneficio, permite que pueda obtenerse información funcional que ayude a detectar alteraciones antes de que las enfermedades presenten síntomas visibles. Repercute en tratamientos tempranos, más efectivos y pronósticos más favorables.¹

Se inicia el desarrollo de la especialidad a finales de los años 40, momento en el que se decide utilizar la energía nuclear con fines médicos. El 1946 constituye una fecha histórica, pues se construye el primer reactor productor de radionúclidos.^{1,2}

Las principales aplicaciones de la MN realizadas en Europa y en los Estados Unidos, se desarrollaron en el campo de la Hematología y la Endocrinología. Una enfermedad hematológica maligna, la policitemia Vera, podía ser diagnosticada con la ayuda de los radionúclidos, el Cr-51, y tratada con el P-32. La amnesia por déficit de hierro y del metabolismo interno del hierro, y otras hemopatías pudieron ser diagnosticadas con el uso del Fe-59.³

Más adelante se desarrollaron los dispositivos para adquirir imágenes en estudios de MN y otros radiofármacos, para estudiar el cerebro, los riñones, el corazón y otros órganos. Estos han permitido introducir el uso de la tomografía por emisión de positrones. La tomografía computarizada integrada con la tomografía por emisiones de positrones, es una importante herramienta en el diagnóstico clínico y las investigaciones biomédicas.⁴

La MN diagnóstica y terapéutica está en la actualidad relacionada con las nuevas tendencias de la medicina. La Imagenología molecular nuclear, permite caracterizar y medir procesos en vivo, a nivel celular y molecular, debe estar en el centro de estas aplicaciones; asimismo la utilización de la nanotecnología.⁴

Ésta utiliza pequeñas cantidades de material radiactivo para diagnosticar, evaluar o tratar una variedad de enfermedades. Las mismas incluyen varios tipos de cánceres, enfermedades cardíacas, gastrointestinales, endócrinas, o desórdenes neurológicos y otras anomalías.

Proporciona información única que no se puede obtener al utilizar otros procedimientos de toma de imágenes y ofrece la posibilidad de identificar enfermedades en las etapas tempranas.^{5, 6}

En los últimos años se ha incrementado en Cuba el diagnóstico radiológico por imágenes, con el refinamiento gradual de las radiografías convencionales, el desarrollo de nuevas modalidades imagenológicas y la introducción de la informática en este campo. Esto ha conllevado a que el funcionamiento de los equipos sea a través de las imágenes.⁷

Los profesionales de la salud cuentan con un significativo potencial en la MN ante los retos de calidad de vida al que aspira el sistema de salud cubano. La educación en el trabajo, el humanismo y la educación permanente y continuada favorecen que la implementación de estos procedimientos haya tenido mayor relevancia en la aplicación para la salud.⁷

Por la significación que adquiere la MN en el Sistema Nacional de Salud (SNS), para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de una alta gravedad. Los autores identificaron el objetivo de explicar la importancia de la Medicina Nuclear para la detección de enfermedades y los beneficios correspondientes.

MÉTODO

Se realizó una investigación de revisión bibliográfica en la cual se recopiló información relacionada con el tema a partir de la búsqueda de artículos científicos en PubMed/Medline, Redalyc, SciELO. Se utilizaron los descriptores: "Medicina Nuclear", "Protección Radiológica", "Sistema Nacional de Salud cubano".

Con los descriptores se realizaron las siguientes estrategias de búsqueda en español e inglés: [(Medicina Nuclear) OR (Nuclear Medicine)] AND [(Protección radiológica) OR (Radiological Protection)] AND [(Sistema Nacional de Salud cubano) OR (Cuban National Health System)]. Se incluyeron los artículos y libros publicados en los últimos cinco años en ambos idiomas. La búsqueda arrojó un total de 99 fuentes relacionadas con el objetivo del presente trabajo, de los cuales 25 fueron seleccionados tras una revisión preliminar para el desarrollo.

ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La MN utiliza sustancias radiactivas para obtener una imagen interna del cuerpo y poder aplicar un tratamiento adecuado para la enfermedad. Analiza la fisiología (el funcionamiento) y la anatomía del cuerpo a la hora de establecer el diagnóstico y el tratamiento. Usa técnicas no invasivas para explorar el interior del cuerpo humano, realizar diagnósticos y tratamientos más precisos.⁸

Hoy día, en la medicina se pueden utilizar una amplia variedad de técnicas no invasivas para explorar el cuerpo humano. Algunas de estas técnicas incluyen estos métodos:

- Rayos X
- Resonancias magnéticas
- Tomografías computarizadas
- Ultrasonidos
- Tomografías por emisión de positrones

En ocasiones, durante la radioterapia, practicada por médicos cuya especialidad es la oncología radioterápica, se utilizan radiaciones no nucleares, fotones y electrones de alta energía, y más reciente protones acelerados. Todas estas técnicas combinan el uso de ordenadores, detectores y las diferentes propiedades de las sustancias radiactivas para crear una imagen.⁹

Los especialistas acuden a la MN, porque pueden identificar diversas afecciones: verificar la estructura y el funcionamiento de los órganos y tejidos, (el cerebro, la glándula tiroides, los

pulmones, el corazón, el hígado, el bazo, los riñones y los huesos). Detectan enfermedad en órganos o huesos, encuentran tumores en los huesos o en las glándulas tiroideas. Determinan qué tan lejos se ha diseminado el cáncer y si está presente en otros órganos y tejidos e identifican la etapa. Saben si el tratamiento del cáncer es efectivo.¹⁰

Se diferencian cuatro tipos de imágenes de MN. Incluye imágenes dinámicas las cuales son una serie que capturan movimiento o actividad, el flujo de sangre a un órgano. Imágenes planas (estáticas) que son bidimensionales, aparecen de a una por vez. Imágenes de cuerpo entero de la parte frontal y posterior, bidimensionales; y las imágenes por tomografía de emisión de fotón único (TEPU) que abarcan imágenes tridimensionales de la evolución o el funcionamiento del órgano en estudio.¹¹

En las imágenes de MN pueden detectar tumores en una de dos formas: cuando el tumor absorbe más radiofármaco que el resto del órgano o tejido; o cuando el resto del órgano o tejido absorbe el radiofármaco, pero no el tumor.¹⁰ Esta diferenciación de la naturaleza de los tumores permite abordar alternativas para el tratamiento que resulten de mayor efectividad.

Algunos de los principales procedimientos diagnósticos realizados en medicina nuclear y las enfermedades que se pueden detectar:¹³

- 1- Gammagrafía de tiroides: permite valorar la morfología y la función glandular. Útil para el diagnóstico de bocios simples y nodulares, hipertiroidismo, hipotiroidismo, agenesia de tiroides, quiste tirogloso, tiroides ectópica e intratorácica, tiroiditis. Puede distinguir cuáles nódulos son sugestivos de malignidad, y de ahí recomendar una punción-biopsia.
- 2- Gammagrafía de paratiroides: se utiliza en pacientes con hiperparatiroidismo para detectar hiperplasia y adenomas de paratiroides.
- 3- Gammagrafía o Scan Óseo: la principal aplicación es la búsqueda de metástasis óseas en pacientes con cánceres primarios conocidos, de mama, próstata y pulmón. Sirve para monitorear la respuesta a la quimioterapia y a la radioterapia. También puede diagnosticar tumores óseos primarios, osteomielitis, sacroileitis, fracturas, celulitis, artritis séptica, necrosis avasculares, osteoartritis, valorar prótesis, entre otros.
- 4- Gammagrafía renal: es el único estudio que permite valorar la perfusión y la función de cada riñón por separado. Útil en el diagnóstico de insuficiencia renal, patologías obstructivas, hidronefrosis, reflujo vésico-ureteral, riñones ectópicos, hipertensión reno-vascular, valorar trasplantes renales.
- 5- Gammagrafía o scan de perfusión pulmonar: útil para el diagnóstico de tromboembolismo pulmonar.
- 6- Gammagrafía de vías biliares: puede diagnosticar obstrucciones de las vías biliares, colecistitis aguda y crónica, atresia de vías biliares, entre otros.
- 7- Gammagrafía hepatoesplénica: es importante para valorar masas hepáticas cuando una tomografía computada esté contraindicada, por ejemplo, en pacientes con alergias al medio de contraste o con insuficiencia renal. También se utiliza para el diagnóstico de esplenosis, remanente e infartos esplénicos, entre otros.
- 8- Gammagrafía para sangrado gastro-intestinal: se utiliza para la localización de sangrados gastrointestinales bajos.
- 9- SPECT cardíaco o scan de perfusión miocárdica: permite valorar la perfusión miocárdica y así detectar infartos e isquemias del miocardio. Se puede apreciar el tamaño de las

cavidades ventriculares, valorar el movimiento de las paredes del ventrículo izquierdo y calcular la fracción de eyección.

10-MUGA o ventriculografía isotópica: sirve para calcular la fracción de eyección del ventrículo izquierdo en pacientes oncológicos sometidos a quimioterapia.

11-Rastreo corporal con yodo radiactivo: se utiliza para la valoración de pacientes con tiroidectomías por un carcinoma diferenciado de tiroides. Permite encontrar recidiva o restos de tejido tiroideo post-tiroidectomía, metástasis regionales y/o a distancia.

12-Rastreo corporal con galio: útil para localizar tumores, procesos inflamatorios e infecciosos en el organismo.

En el equipo de MN se puede encontrar la cámara especial y las diversas técnicas de toma de imágenes utilizadas que incluyen la gammacámara y la tomografía computarizada por emisión monofónica (SPECT). La gammacámara, también denominada cámara de gammagrafía detecta la energía radioactiva que es emitida desde el cuerpo del paciente, y lo convierte en una imagen. Ella por sí misma no emite ningún tipo de radiación.

Está compuesta por detectores de radiación, llamados cabezas de cámara, que están encapsulados en metal y plástico. La mayoría tiene forma de una caja unida a un gantry con forma de donut redonda circular.^{11,12}

El paciente yace sobre la camilla que se mueve entre dos cabezas paralelas de la gammacámara que se ubica por encima de este. A veces, las cabezas de la gammacámara están orientadas en un ángulo de 90 grados y ubicadas sobre el cuerpo del paciente. El SPECT involucra la rotación de las cabezas de una gammacámara alrededor del cuerpo del paciente para producir imágenes más detalladas (imágenes tridimensionales).¹²

La tomografía por emisión de positrones (PET) consiste en una extensa máquina similar a la tomografía computada (TC) o resonancia magnética nuclear (RMN). Detectores múltiples con forma de anillo que se encuentra adentro de la máquina graban las emisiones de energía provenientes de la sonda. Una computadora genera las imágenes a partir de los datos obtenidos. Tiene acoplado un pequeño dispositivo manual similar a un micrófono que puede detectar y medir la cantidad de sonda en un área pequeña del cuerpo.¹²

La MN moderna permite realizar los estudios más precisos del metabolismo y de los principales órganos. Además, puede indicarse a todo tipo de personas, desde bebés hasta ancianos. Sólo las mujeres embarazadas deben consultar antes de practicarse este tipo de exámenes.¹³

La detección de tumores y cánceres se hace mucho más fácil con las nuevas tecnologías de imágenes que utiliza la energía nuclear que con las técnicas más antiguas y tradicionales. Esta técnica hace posible realizar diagnósticos en personas muy débiles en las que los métodos más pesados o invasivos podrían ser contraindicados.¹³

Ventajas económicas de la Medicina Nuclear:

Entre los grandes beneficios que aportados por la MN cabe señalar que las exploraciones diagnósticas realizadas mediante estas técnicas no son invasivas; son funcionales. Se diferencia de las otras técnicas utilizadas en la radiología. Las imágenes obtenidas en los procedimientos brindan datos no solo morfológicos del órgano o sistema en estudio, sino datos funcionales.¹⁴

Se pueden detectar lesiones en estadios más precoces que con otras técnicas de radiología. Debido a que los procedimientos pueden detectar anomalías a un nivel molecular dentro del organismo, ofrecen la posibilidad de identificar enfermedades en las etapas tempranas, y

permiten además obtener respuestas inmediatas de los pacientes a las intervenciones terapéuticas.¹⁴

Resulta segura. Se ha usado por más de cinco décadas y no se conocen efectos adversos a largo plazo por el uso de radioactivos a bajas dosis. Se estima que el nivel de radiación que recibe un paciente en un procedimiento diagnóstico es similar o inferior al de una radiografía convencional.^{14,15}

Los radiofármacos utilizados en los procedimientos no producen reacciones alérgicas y carecen de efectos secundarios. Inclusive a pacientes alérgicos al medio de contraste utilizado en radiología se les pueden aplicar los radiofármacos de manera segura. Puede aplicarse en pacientes pediátricos, pacientes con problemas renales, diabéticos, y pacientes hipertensos.¹⁵

Limitaciones de la Medicina Nuclear:

La única contraindicación para realizarse un procedimiento de MN es el embarazo, las radiaciones ionizantes pueden causarle daños al feto. La lactancia no es una contraindicación, las madres que lactan pueden realizarse un estudio de este tipo, sólo se les indicará suspender la lactancia por 24 horas luego de la administración del radiofármaco, este se secretará por la leche materna y expondrá a radiaciones innecesarias al lactante.¹⁵

En el caso de que una madre en lactancia necesite aplicarse una terapia con yodo radioactivo, se le indicará suspender de manera definitiva la lactancia, pues, a diferencia del tecnecio (que tiene una vida muy corta). El yodo tiene una vida media más larga y se secreta por la leche materna, lo que puede afectar la tiroides del lactante.¹⁵

Una desventaja de la medicina nuclear es el tiempo que tardan algunos de los procedimientos, algunos radiofármacos tardan horas e incluso días en dejar el organismo. Debido a que se utiliza solo una pequeña dosis de radiosonda, los exámenes tienen una exposición a la radiación muy baja. Esto es aceptable para los exámenes de diagnóstico. Por ende, el riesgo de la radiación es muy bajo cuando se le compara con los posibles beneficios.^{14, 16}

Las reacciones alérgicas a las radiosondas son raras y moderadas. Siempre debe informar al personal de medicina nuclear sobre cualquier alergia que pueda tener u otros problemas que pudieran haber ocurrido durante un examen anterior. La inyección de la radiosonda podría provocar un leve dolor y enrojecimiento. Esto debería resolverse de manera rápida.^{16,17}

En el caso de los procedimientos terapéuticos, los riesgos del tratamiento siempre son evaluados contra los posibles beneficios. El médico informará sobre todos los riesgos significativos antes del tratamiento y se le dará la oportunidad de hacer preguntas.¹⁶

Aplicaciones de la Medicina Nuclear

Los médicos utilizan procedimientos de diagnóstico por imágenes de medicina nuclear para visualizar la estructura y función de un órgano, tejido, hueso o sistema dentro del cuerpo. En los adultos se utiliza para:

- En los pulmones se exploran por posibles problemas respiratorios o de circulación sanguínea. Evalúan la función pulmonar diferencial para la reducción de pulmón o la cirugía de trasplante, detecta el rechazo del trasplante de pulmón.¹⁸
- En el corazón permite realizar una exploración de perfusión miocárdica, detectar enfermedades de las arterias coronarias y la extensión de la estenosis coronaria. Evalúa el daño luego de un ataque cardíaco, evalúa opciones de tratamiento, la cirugía de *bypass* del corazón y la angioplastia, los resultados de los procedimientos de revascularización. Detecta rechazo del corazón trasplantado y la función del corazón antes y después de la quimioterapia (MUGA).¹⁹

- En los huesos se examinan por posibles fracturas, infecciones, y artritis, para evaluar la presencia de metástasis. Además evalúa las articulaciones prostéticas dolorosas, tumores de huesos e identificar sitios para biopsias.²¹
- En el cerebro se pueden evaluar anomalías en pacientes con ciertos síntomas y trastornos convulsiones, pérdida de la memoria y la sospecha de anomalías en el flujo sanguíneo. Detecta la aparición temprana de desórdenes neurológicos el Alzheimer, ayudar a planear una cirugía. Identifica las áreas del cerebro que podrían causar las convulsiones. Valora la sospecha de tumores del cerebro, planeamiento de la radioterapia o cirugía, o localización para la biopsia.²⁰
- En otros sistemas identifica la inflamación o la función anormal de la vesícula biliar, el sangrado en el intestino. Las complicaciones postoperatorias de la cirugía de vesícula biliar, el linfedema y la fiebre de origen desconocido. Ayuda al diagnóstico del hipertiroidismo y los desórdenes de las células sanguíneas. Evalúa el flujo del líquido cefalorraquídeo y posibles pérdidas de líquido.²⁰

En los niños la MN puede ser utilizada en la investigación de anomalías en el esófago. El reflujo de esófago o los trastornos de la motilidad. Evalúa la apertura de los conductos lacrimales, la apertura de las válvulas ventriculares en el cerebro, las válvulas y el flujo sanguíneo pulmonar en la enfermedad congénita del corazón.²²

En los adultos y en los niños es utilizada para detectar el cáncer y clasificar el estadio mediante la determinación de la presencia de cáncer diseminado en varias partes del cuerpo. Localizar ganglios linfáticos centinelas, antes de la cirugía, en pacientes con cáncer de seno, de la piel, o de los tejidos blandos. Planear el tratamiento, evaluar la respuesta a la terapia, detectar la recurrencia y detectar tumores raros del páncreas y las glándulas adrenales.²³

En los riñones son utilizadas para analizar el funcionamiento y flujo sanguíneo de los riñones originales o trasplantados, detectar obstrucciones del tracto urinario. Evaluar la presencia de hipertensión (presión sanguínea elevada) relacionada con las arterias de los riñones, evaluar los riñones para determinar si es una infección o una cicatriz, detectar y hacer el seguimiento de reflujo urinario en pacientes pediátricos.²⁴

Seguridad y protección radiológica en la Medicina Nuclear

La aparición de efectos dañinos en el personal vinculado a las investigaciones y a las aplicaciones de las radiaciones ionizante (RI) se observaron de manera temprana. Sin embargo, transcurrió algún tiempo para que se hiciera un acercamiento sistemático a esta problemática, que evolucionó en el surgimiento de la Protección Radiológica (PR).²⁵

Esta comenzó con el desarrollo de normas sencillas para reducir el riesgo de los efectos estocásticos de las radiaciones, la aparición de cáncer, y la ocurrencia de efectos determinísticos, la formación de cataratas. A partir de esas normas se desarrollaron los principios básicos de la PR, uno de los cuales es el concepto de justificación, implica que se obtengan más beneficios que perjuicios con el empleo de la RI.⁵

La PR en MN comienza en el diseño del departamento y concluye con la implementación de los programas de garantía de calidad donde se establezcan las acciones y las normativas a seguir para cumplir con los tres principios de protección radiológica.¹³ Las RI provienen de tres fuentes: radiofármacos, pacientes y desechos radioactivos; los cuales hay que proteger a: trabajadores, pacientes, familiares y miembros del público.⁹

En el caso de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones, es importante que dominen los tres factores físicos de protección radiológicas; tiempo, distancia y blindaje. Cada uno de ellos constituye una herramienta fundamental en la optimización de la protección y en la limitación de las dosis absorbidas por el trabajador.⁶

Con respecto al tiempo, se debe permanecer el menor tiempo posible en la vecindad de las fuentes radioactivas, por lo que la entrevista a los pacientes, el examen y las marcas anatómicas deben realizarse antes de la inoculación de radiofármacos. Las fuentes deben permanecer en contenedores blindados, y los desechos radioactivos deben trasladarse a lugares destinados a este fin.

En cuanto a las distancia la radiación gamma obedece a la ley del inverso cuadrado de las distancias, por lo que, si se duplica la distancia desde una fuente, se reduce la tasa de dosis en un factor de 4. Se deben emplear largas pinzas para la manipulación de las fuentes. Se deben construir grandes salas para los equipos de imágenes y el volumen de radioactividad no debe exceder el 50% de la capacidad de la jeringuilla.¹⁰

El blindaje dependerá del tipo y la energía de las radiaciones emitidas. En el caso del ^{99m}Tc , es suficiente con unos pocos milímetros de plomo. Deben emplearse jeringuillas plomadas para la inoculación del paciente. Deben emplearse cubetas plomadas para el transporte de las jeringuillas con radiofármacos y los delantales plomados durante la preparación del radiofármaco y la inoculación del paciente.²

Existe una necesidad insoslayable de llevar la perspectiva de la ética en el uso de las radiaciones ionizantes y de la protección radiológica del paciente y del profesional a la práctica de la MN. Esto no debe asumirse un proceso de simple adopción, sino la aplicación creativa de los principios.

CONCLUSIONES

Se explicó la importancia de la Medicina Nuclear para la detección de enfermedades y los beneficios correspondientes. Muestran la lógica inquebrantable de la medicina nuclear en la detección de las diversas enfermedades y los beneficios para el tratamiento de las mismas. Es una modalidad poco invasiva de diagnóstico y terapéutica. La seguridad y la protección radiológica son factores que no deben ser omitidos en la aplicación a pesar de ser considerada segura.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Luis Leandro Pérez Arias y Marian Caraballo Ponce: Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

FINANCIACION

No se recibió financiación para el desarrollo del presente artículo.

CONFLICTOS DE INTERÉS

No se declaran conflictos de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Colectivo de autores: Efectos de las radiaciones ionizantes. En: Protección Radiológicas en la aplicación de las técnicas nucleares. La Habana: Centro de Investigación de la Energía; 2017.
2. Ugarte C. Manual de imagenología / José Carlos Ugarte Suárez, Dayana Ugarte Moreno. 3 ed. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2017.
3. Estrada JL. Imagenología y Radiofísica Médica. Periódico Juventud Rebelde: 2018 septiembre 7 (col.1).

4. Madrigal R. La Radiología. Apuntes históricos. Rev. Med. Electrón. [Internet] 2009 [citado 2022 Julio 8];31(4). Disponible en: <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/650>
5. Centro Nacional de Seguridad Nuclear. Guía de Seguridad para la práctica de Medicina Nuclear. Revisión 01/11. La Habana: CUBAENERGIA;2018.
6. Ramos Suárez V. El desempeño profesional del tecnólogo en Imagenología. Revista Cubana de Tecnología de la Salud. [Internet] 2015. [citado 2022 Julio 8]; 6(4). Disponible en: <http://www.revtecnologia.sld.cu/index.php/tec/article/view/608>
7. Lescaillies Elias N. Resultados del desempeño mostrado por los licenciados de Tecnología de la Salud, perfil Imagenología. Revista Cubana de Tecnología de la Salud. [Internet] 2012. [citado 2022 Julio 8]; 3(3). Disponible en: <http://www.revtecnologia.sld.cu/index.php/tec/article/view/69>
8. Pérez D. La Imagenología también aporta a la covid-19 en Cuba. ACN.cu [Internet]. Agencia Cubana de Noticias: Cuba;2020. Disponile en: <http://acn.cu/salud/67638-la-imagenologia-tambien-aporta-a-la-covid-19-en-Cuba>
9. Lopez L. La ética del científico. Mínimo enfoque de un gran problema En: Colectivos de Autores de GESOCYT. Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología. La Habana: Félix Varela;2018. p.167-83.
10. Normas Básicas de Seguridad Radiológicas. Resolución Conjunta CITMA – MINSAP. Gaceta Oficial de la República de Cuba; 2019.
11. Ferrer N, Arranz L. Curso de Control de Calidad en la Instrumentación de Medicina Nuclear. Cap. 5. Gammacámaras. Consejería de Bienestar Social. Junta de Extremadura y SEPR – GRIAPRA: España; 2003.
12. Amador Balbona Z, Torres Valle A, Sánchez Zamora L, Fundora Sarraf T, Caraballo Arroyo V, Pérez González F, Machado Acuña F. Análisis de riesgo de la medicina nuclear terapéutica en Cuba con enfoque integrador. Rev Hab Cienc Med [Internet]. 2020 [citado 2022 diciembre 25]; 19(1):[aprox.13]. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/2850>
13. Wolin EA. Top 3 Differentials in Nuclear Medicine: A case review. Thieme Ed.: New York; 2019.
14. Pérez M. Estévez E, Diaz-Rizo O, Roque R, Hernández C. Administered Activity optimization in 99mTc-MAG3 Renography for Adults. J Nucl Med Technol. 2018;31(4), 206-209.
15. Murcia EM, Lineros JA, Aguilera J, Granados CE, Martínez MC, Barbosa N. Regulación de los servicios de medicina nuclear: percepción de la problemática y desafíos para el manejo del cáncer en Colombia. Biomédica. 2021; 41(4):692-705.
16. Fundora Sarraf T, Hernández Reyes LH, Carballea Barglan MC. Retos de la medicina nuclear ante la pandemia de la COVID-19. Rev. Cuba. Hematol. Inmunol. Hemoter. 2021;37 (supl.1): e1367.
17. Edmund K, Thomas P. Nuclear diagnostic Imaging Practical Clinical Applications. Mc Millam Publishing Company: New York, 2019
18. Castro Beiras JM. Cardiología Nuclear y otras técnicas no invasivas de imagen.MT Ed. Madrid; 2020.
19. Norma técnica de Medicina Nuclear. MINSAL: El Salvador; 2020. 21 p.
20. O´Malley J. Ziessman H. Nuclear Medicine and Molecular Imaging: the requisites. 5 th Ed. Elsevier; 2020.
21. Pedrozo MG, Giménez G, Rojas T, Núñez J, Galván P. Determinación de las característica funcionales de los nódulos tiroideos mediante imagines de medicina nuclear en pacientes que acudieron al Instituto de Investigaciones de Ciencias de Salud – UNA, 2016-2019. Rev. salud pública Parag. 2020; 10(1): 59-65.
22. Organismo Internacional de Energía Atómica y Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores en Seguridad Nuclear, Radiológica y Física. Aplicación de la matriz de riesgo a la radioterapia. IAEA-TECDOC 1685/S. Viena, Austria: Organismo Internacional de Energía Atómica; 2019.
23. López Morones R, Duménigo C, Prieto C, Ramírez M, Holmberg O, Nader A, et al. Sinergia SEVRRRA-SAFRON. Herramientas para la prevención de accidentes en radioterapia. En: X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad

- Radiológica. Buenos Aires, Argentina: X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica; 12 al 17 de abril de 2015.
24. Amador Balbona ZH, Torres Valle A. Uso del Código SECURE-MR-FMEA para el Análisis de Riesgo Radiológico en Medicina Nuclear Terapéutica Convencional. *J Health Med Sci.* 2018;4(3):173-81.
25. Amador Balbona ZH, Torres Valle A. Causas básicas de fallos aplicadas al análisis de riesgo en prácticas médicas con radiaciones ionizantes. *Revista Cubana de Salud y Trabajo.* 2019; 20(2): 11-8.



Los artículos de *Revista Cubana de Tecnología de la Salud* se comparten bajo los términos de la Licencia **Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0. Internacional**