

Importancia de los radiotrazadores MDP, DTPA, MIBI marcados con Tc99m en diagnóstico de medicina nuclear

Importance of Tc99m-labeled MDP, DTPA, MIBI radiotracers in nuclear medicine diagnostics

Importância dos radiotraçadores MDP, DTPA e MIBI marcados com Tc99m em diagnósticos de medicina nuclear

ARTÍCULO DE REVISIÓN



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistavive.v6i18.276>

Kelly Muriel Paredes 

kmparedesp55@est.ucacue.edu.ec

Christian José Corte Juela 

cjcortej17@est.ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador

Artículo recibido 4 de junio 2023 / Aceptado 18 de agosto 2023 / Publicado 25 de septiembre 2023

RESUMEN

La medicina nuclear utiliza radiofármacos, conocidos como radiotrazadores, para evaluar la función y el metabolismo de órganos y sistemas del cuerpo. **Objetivo.** Examinar la relevancia de los radiotrazadores MDP, DTPA y MIBI, marcados con tecnecio-99m (Tc99m), en el diagnóstico en medicina nuclear. **Metodología.** Se siguió el método PRISMA para identificar estudios publicados entre 2010 y 2022. Las bases de datos consultadas incluyeron Dialnet, Elsevier, Research, Redalyc, PubMed, Google Académico y Scielo. Se utilizaron descriptores específicos como "radiotrazadores Tc99m", "MDP", "DTPA", "MIBI", y "medicina nuclear", centrando la búsqueda en diagnóstico y excluyendo propósitos terapéuticos. **Resultados.** De 14 estudios analizados, se observó una predominancia en investigaciones sobre radiotrazadores MDP y MIBI marcados con Tc99m, enfocándose en diagnósticos relacionados con lesiones paratiroides, hiperparatiroidismo, enfermedades esqueléticas, enfermedad arterial coronaria y perfusión miocárdica. **Conclusiones.** Los radiotrazadores MDP, DTPA y MIBI marcados con Tc99m demuestran eficacia en diversas aplicaciones diagnósticas, incluyendo la localización de adenomas paratiroides y la detección de condiciones como el mieloma múltiple. A pesar de sus beneficios, es crucial continuar investigando y desarrollando nuevos radiofármacos para expandir su utilidad clínica y mejorar aún más la atención médica en el campo de la medicina nuclear.

Palabras clave: Medronato de Tecnecio Tc 99m; Pentetato de Tecnecio Tc 99m; Tecnecio Tc 99m Sestamibi

ABSTRACT

Nuclear medicine uses radiopharmaceuticals, known as radiotracers, to assess the function and metabolism of organs and body systems. **Objective.** To examine the relevance of technetium-99m (Tc99m)-labeled MDP, DTPA, and MIBI radiotracers in nuclear medicine diagnostics. **Methodology.** The PRISMA method was followed to identify studies published between 2010 and 2022. The databases consulted included Dialnet, Elsevier, Research, Redalyc, PubMed, Google Scholar and Scielo. Specific descriptors such as "Tc99m radiotracers", "MDP", "DTPA", "MIBI", and "nuclear medicine" were used, focusing the search on diagnosis and excluding therapeutic purposes. **Results.** Of 14 studies analyzed, there was a predominance of research on Tc99m-labeled MDP and MIBI radiotracers, focusing on diagnoses related to parathyroid lesions, hyperparathyroidism, skeletal diseases, coronary artery disease, and myocardial perfusion. **Conclusions.** Tc99m-labeled MDP, DTPA, and MIBI radiotracers demonstrate efficacy in a variety of diagnostic applications, including localization of parathyroid adenomas and detection of conditions such as multiple myeloma. Despite their benefits, it is crucial to continue researching and developing new radiopharmaceuticals to expand their clinical utility and further improve medical care in the field of nuclear medicine.

Key words: Technetium Tc 99m Medronate; Technetium Tc 99m Pentetate; Technetium Tc 99m Sestamibi

RESUMO

A medicina nuclear utiliza radiofármacos, conhecidos como radiotraçadores, para avaliar a função e o metabolismo de órgãos e sistemas corporais. **Objetivo.** Examinar a importância dos radiotraçadores MDP, DTPA e MIBI, marcados com tecnécio-99m (Tc99m), em diagnósticos de medicina nuclear. **Metodologia.** O método PRISMA foi usado para identificar estudos publicados entre 2010 e 2022. Os bancos de dados consultados incluíram Dialnet, Elsevier, Research, Redalyc, PubMed, Google Scholar e Scielo. Foram utilizados descritores específicos como "radiotraçadores Tc99m", "MDP", "DTPA", "MIBI" e "medicina nuclear", concentrando a busca em fins diagnósticos e excluindo fins terapêuticos. **Resultados.** Dos 14 estudos analisados, houve predomínio de pesquisas com os radiotraçadores MDP e MIBI marcados com Tc99m, com foco em diagnósticos relacionados a lesões da paratireoide, hiperparatireoidismo, doenças esqueléticas, doença arterial coronariana e perfusão miocárdica. **Conclusões.** Os radiotraçadores MDP, DTPA e MIBI marcados com Tc99m demonstram eficácia em uma variedade de aplicações diagnósticas, incluindo a localização de adenomas de paratireoide e a detecção de doenças como o mieloma múltiplo. Apesar de seus benefícios, é fundamental continuar a pesquisa e o desenvolvimento de novos radiofármacos para expandir sua utilidade clínica e melhorar ainda mais o atendimento médico no campo da medicina nuclear.

Palavras-chave: Medronato de Tecnécio Tc 99m; Pentetato de Tecnécio Tc 99m; Tecnécio Tc 99m Sestamibi

INTRODUCCIÓN

Por varias décadas, los radiofármacos han demostrado ser agentes efectivos para el diagnóstico oportuno de diversas enfermedades (1). Por sus propiedades bioquímicas y farmacocinéticas son los radiotrazadores o radiofármacos utilizados para evaluar las funciones corporales, diagnosticar y tratar enfermedades con la ayuda de cámaras Gamma y el SPECT, tomografía computarizada por emisión de fotón único, que permiten a los médicos rastrear el camino de estos siendo de gran utilidad la gammagrafía (2).

Los radiofármacos son fármacos de gran importancia en la práctica clínica debido a su uso con fines diagnósticos; contienen pequeñas cantidades de ingredientes activos, llamados "trazadores", etiquetados con radionúclidos que hacen que emitan una dosis de radiación (2). La medicina nuclear ha sido definida como una especialidad multidisciplinaria dedicada al estudio del comportamiento de compuestos radiactivos en el organismo humano (3).

En el caso de los radiofármacos de diagnóstico, los radionúclidos se incorporan a moléculas orgánicas o inorgánicas que se dirigen selectivamente al órgano de interés o se incorporan a los procesos metabólicos o fisiológicos del organismo. Dado que los radionúclidos son emisores de rayos gamma o de positrones, se pueden obtener imágenes externas utilizando cámaras gamma y equipos

de tomografía por emisión de positrones. Se pueden formar diferentes complejos con biodistribuciones específicas para imágenes estáticas o dinámicas para evaluar la fisiopatología o realizar estudios metabólicos in vivo (3).

Es por ello, que el fármaco tiene una gama de características deseables, como radionúclidos, radioquímica, distribución in vivo, esta última establece que el radioisótopo debe seguir una cinética sencilla y cuantitativamente interpretable tras su administración, en la que la tasa de acumulación de radiofármacos y su eliminación del tejido u órgano en estudio debe reflejar procesos fisiológicos, fisiopatológicos y bioquímicos para comprenderlos (2).

Entonces, si la intención es una imagen anatómica detallada, el agente debe acumularse en el órgano o tejido de interés en un patrón que refleje la anatomía. Idealmente, una vez finalizado el estudio, el radiofármaco debe excretarse. Esto se observa cuando la excreción de radiofármacos en la orina implica la exposición a la radiación de los riñones, la vejiga y los órganos pélvicos. Los radionúclidos más utilizados con fines de diagnóstico son: Tecnecio-99m, Galio-67, indio-111, Yodo-123, Yodo-131, Talio-201, Kriptón-81m (3).

Los radiofármacos marcados con tecnecio 99m han sido y continúan siendo los fármacos de rutina más utilizados en tomografía computarizada por fotón único (SPECT), la cual es una prueba de imágenes de medicina nuclear, lo que significa el uso de

material radiactivo y cámaras especiales para crear imágenes tridimensionales. Se diferencia de las imágenes obtenidas de emisión de positrones (PET) en que este último usa un anillo detector para detectar la radiación. Uno de los problemas más frecuentes en la práctica diaria es la biodistribución alterada de los radiofármacos, que tiene un gran impacto en la interpretación de los estudios y afecta a la validez del diagnóstico. Por esta razón, los radiofármacos están sujetos a control de calidad para garantizar la identidad, pureza, bioseguridad y eficacia de la formulación antes de su administración a los pacientes (4).

La determinación de la pureza radioquímica utiliza como soportes la cromatografía en papel y/o en capa fina y como eluyentes diversos disolventes. Para el control de calidad del Tc99m metil difosfonato (MDP) se utiliza como soporte papel Whatman grado 3MM (hojas de transferencia de celulosa pura), 3MM Chr, Whatman o papel secante 3MM Chr adecuado para técnicas de Southern, Northern y Western Blot; dicho papel de grosor medio (0,34 mm) es idóneo para electroforesis y potencia los geles secuenciadores (5); como eluyentes se usan la acetona y suero fisiológico, lo que permite una mejor diferenciación del radiofármaco del resto de impurezas presentes (6).

Las impurezas más comunes en los compuestos marcados con Tc99m son los coloides y el molibdato de sodio (^{99}Mo) como generador de radionucleido que se utiliza para

obtener solución inyectable de pertecnetato ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) de sodio por elución. Estos coloides pueden acumularse en órganos como el hígado, el bazo, la tiroides, el estómago y las glándulas salivales, por lo que pueden afectar las estructuras subyacentes y alterar los análisis de investigación, mientras que el pertecnetato libre también puede causar dosis de radiación innecesarias en diferentes órganos (6,7).

Para encontrar el radiofármaco ideal es necesario probar dentro de la medicina nuclear numerosos agentes radio farmacéuticos y complejos de un metal de transición radiactivo unido a un ligante. Para lo que, se deben considerar una serie de factores como: las características para uso humano, la dosis mínima de radiación a exponer al paciente, la facilidad de detección de la radiación emitida, teniendo cuidado de mantener una distancia prudente con el instrumento en el momento de realizar el estudio de rastreo del fenómeno biológico, que emite preferentemente rayos gamma monocromáticos con energías entre 100 y 300 keV, evitando emitir radiación corpuscular; estar disponible y ser económico, además de conservarse sin que se contamine (4).

Esta investigación tuvo como objetivo general analizar la importancia de los radiotrazadores para fines diagnóstico en la medicina nuclear marcados con pertecnetato de sodio ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) con la finalidad de evaluar la anatomía de un órgano, sistema o aparato expuesto al fármaco, con el propósito de obtener

datos importantes para la selección del agente ideal para establecer las ventajas y desventajas para su uso en pruebas funcionales, morfológicas, dinámicas, morfofuncionales y analíticas, basadas en principios bioquímicos, fisiológicos y fisiopatológicos, con el objetivo de comprender la estructura y función del cuerpo humano en estados sanos o enfermos.

Para lo cual se plantearon una serie de objetivos específicos para abordar la temática que constan el primero es, examinar las teorías relacionadas con los Radiotrazadores MDP, DTPA, MIBI marcados con pertecnetato de sodio, incluyendo los principios y aplicaciones; el segundo es identificar las ventajas de la selección del radiofármaco ideal de acuerdo a los efectos colaterales producidos en cada anatomía de un órgano, sistema o aparato expuestos al fármaco de los Radiotrazadores MDP, DTPA, MIBI marcados con pertecnetato de sodio, administrado en pacientes con fines diagnósticos.

Con la pregunta científica: ¿Los Radiotrazadores medronato (MDP), pentetato (DTPA) y metoxi -isobutil - isonitrilo (MIBI) marcados con Pertecnectato de sodio (Tc99m), son adecuados para el DX en el área de medicina nuclear?

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una revisión sistemática usando como punto de partida la declaración método PRISMA (8). Se identificaron estudios de radiotrazadores con fines diagnósticos MDP, DTPA, MIBI marcados con Tc99m mediante estrategias de búsqueda electrónica y manual. En octubre de 2022, se realizaron búsquedas en Dialnet, Elsevier, Research, Redalyc PubMed, Google Académico y Scielo donde se filtraron los registros de los últimos 12 años. En cuanto a los criterios de inclusión se consideraron artículos de radiotrazadores con fines diagnósticos MDP, DTPA, MIBI marcados con Tc99m de años de publicación entre el 2010 al 2022, estudios en inglés, castellano y portugués, y artículos originales publicados en revistas. En cuanto a los criterios de exclusión se descartaron artículos con fines terapéuticos, además de resúmenes de congresos, tesis, artículos de opinión, casos únicos, editoriales, trabajos duplicados.

La estrategia de búsqueda empleada fue mediante operadores booleanos, ajustada de acuerdo con las diferentes bases de datos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda.

Ecuaciones de búsqueda	Resultados
Radiotracers MDP OR DTPA OR MIBI AND sodium pertechnetate AND diagnostic nuclear medicine -terapeutico -therapeutic	38
Radiotracers MDP OR DTPA OR MIBI AND sodium pertechnetate Tc99m AND diagnostic nuclear medicine -terapeutico -therapeutic	15
Radiotrazadores MDP OR DTPA OR MIBI AND marcados con Tc99m AND diagnostico medicina nuclear -terapéutico	2

Ecuaciones de búsqueda	Resultados
Radiotrazadores AND diagnostico AND medicina nuclear	8
((Radiotracers MDP) OR DTPA) OR MIBI) AND (Tc99m) AND (for diagnostic purposes in nuclear medicine) NOT (therapeutic purposes in nuclear medicine)	12
((Radiotracers MDP) OR DTPA) OR MIBI) AND (labeled with Tc99m) AND (for diagnostic purposes in nuclear medicine) NOT (therapeutic)	5
((Radiotracers MDP) OR DTPA) OR MIBI) AND (sodium pertechnetate) AND (nuclear medicine)	17
Total	102

En la Figura 1 se detalla la clasificación del registro de búsqueda según el cribado, donde se identificaron 102 artículos sobre los temas a investigar, de los cuales una vez clasificados y revisados según cribado se eliminaron 88 fuentes

que no cumplieron el abordaje del objetivo de este estudio y por no contar con el texto completo. Quedando establecido para el análisis y discusión 14 estudio, los cuales de demarcan en la Tabla 1 acerca del proceso de sistematización.

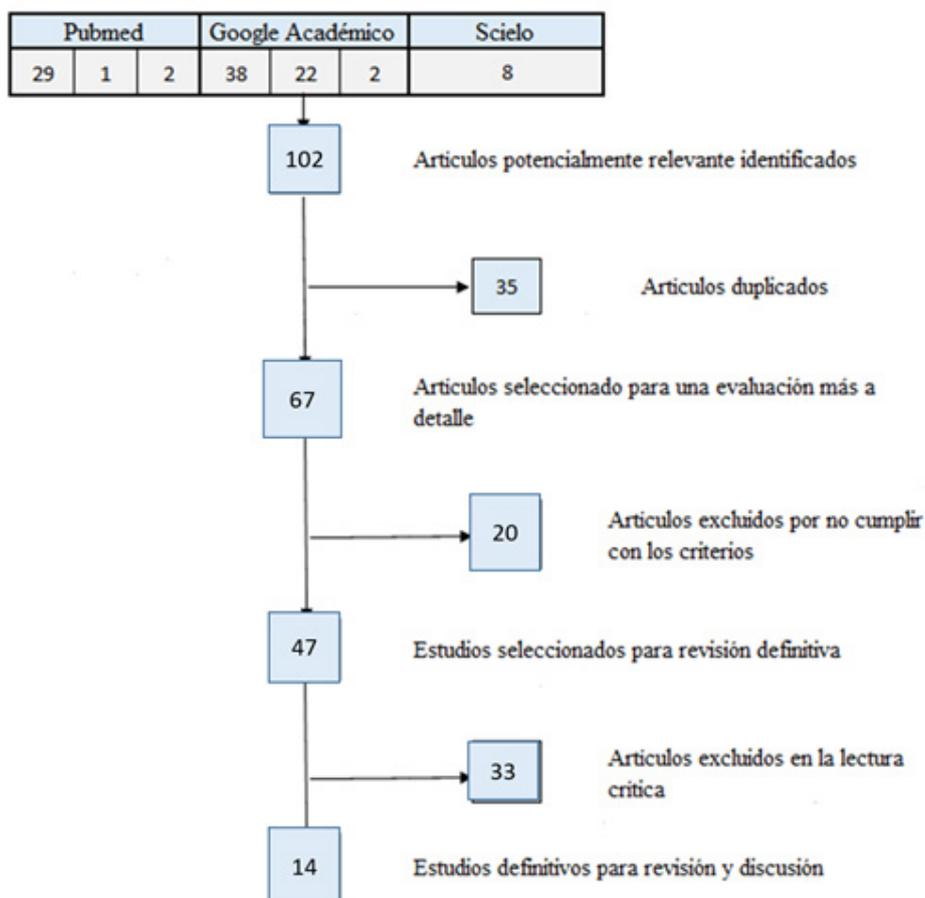


Figura 1. Proceso de selección de artículos para según el flujograma PRISMA.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de búsqueda que fueron sistematizado según autor año título y conclusiones como se detalla en la Tabla 2 de forma secuencial y coherente.

Tabla 2. Sistematización sobre las fuentes de radiotrazadores MDP, DTPA, MIBI marcados con Tc99m en diagnóstico de medicina nuclear.

Autor	Año	Título	Conclusiones
Lu R, Zhao W, Yin L, et al. (9)	2021	Eficacia de la ultrasonografía y Tc-99m MIBI SPECT/CT en la localización preoperatoria de adenomas paratiroides causantes de hipertiroidismo primario.	La gammagrafía con Tc-99m MIBI es valiosa para localizar adenomas paratiroides en pacientes con hipertiroidismo primario.
Mir et al. (10)	2022	Captación extraósea de tejidos blandos en mieloma múltiple	La captación no ósea del radiotrazador en la gammagrafía ósea es un hallazgo inusual en el mieloma múltiple.
Quak et al. (11)	2021	Upfront F18-coline PET/CT versus Tc99m-sestaMIBI SPECT/CT cirugía guiada en hiperparatiroidismo primario: el ensayo aleatorizado de diagnóstico de fase III APACH2.	La FCH PET/CT es una prueba eficiente pero costosa para la localización preoperatoria en el hiperparatiroidismo primario, y su uso puede mejorar el manejo del paciente.
Dheer et al. (12)	2021	Optimización de los parámetros de maximización de expectativas de subconjuntos ordenados para la reconstrucción de imágenes en SPECT de perfusión miocárdica con metoxiisobutilisonitrilo con Tc-99m y comparación con imágenes reconstruidas con retroproyección filtradas correspondientes	La combinación de 4 iteraciones y 6 subconjuntos en Tc-99m MIBI MPS es el parámetro de reconstrucción más adecuado.
Guo XL, Yin WY. A (13)	2022	Una gammagrafía paratiroidea preoperatoria es importante para la eliminación total del tejido paratiroideo trasplantado en el hipertiroidismo secundario recurrente: reporte de un caso y revisión de la literatura	La gammagrafía preoperatoria es importante para la eliminación total del tejido paratiroideo trasplantado en el hipertiroidismo secundario recurrente.
Cheon et al. (14)	2011	Differential findings of tc-99m sestamibi dual-phase parathyroid scintigraphy between benign and malignant parathyroid lesions in patients with primary hyperparathyroidism	Para la gammagrafía paratiroidea bifásica con Tc-99m MIBI, el grado de captación en las imágenes tardías y la eliminación (washout) resultaron ser criterios diagnósticos significativamente útiles para diferenciar lesiones paratiroides benignas de malignas. Además, la edad y la concentración sérica de la hormona paratiroidea también fueron determinantes en el diagnóstico.
Kilambi et al. (15)	2021	Comparación del volumen de grasa epicárdica entre pacientes con perfusión normal y anomalías de perfusión reversibles en imágenes de perfusión miocárdica	La SPECT/TC cardiaca puede evaluar el volumen de grasa epicárdica para la estratificación del riesgo de sospecha de enfermedad coronaria.

Autor	Año	Título	Conclusiones
García et al. (16)	2019	Actualización del papel de las técnicas de Medicina Nuclear en la localización prequirúrgica del hiperparatiroidismo primario	La gammagrafía de paratiroides es la técnica de imagen más utilizada en la localización prequirúrgica del hiperparatiroidismo primario.
Pérez J. (17)	2021	Reacción adversa al Tc-oxidronato tras reexposición al radiofármaco	Los difosfonatos pueden causar reacciones adversas tipo I en pacientes sensibles.
Pérez J, Pérez I, Purificación P, et al. (18)	2020	Reacciones adversas a radiofármacos.	Las reacciones adversas a radiofármacos son generalmente leves y raras.
Santos R. (19)	2019	Aplicación de nanosistemas radiactivos metaestables de tecnecio 99: nanopartículas, liposomas y nanoemulsión para aplicaciones biomédicas	Se conoció de la producción y aplicación de nanosistemas radiactivos acoplados al 99mTc para diagnóstico y terapia en aplicaciones biomédicas. Los nanosistemas radiactivos se utilizan principalmente para el diagnóstico precoz y la terapia de tumores, mostrando un aumento en su uso en medicina nuclear.
Tsopeles C. (20)	2015	Radiotrazadores utilizados para la detección gammagráfica de infecciones e inflamaciones	Los radiotrazadores moleculares participan en la respuesta inmunitaria, marcando leucocitos u otras moléculas en procesos infecciosos o inflamatorios. Se está trabajando en el desarrollo de nuevos agentes radiotrazadores para aplicaciones médicas en el campo de la medicina nuclear.
Mikołajczak R GP (21)	2012	Radiotrazadores utilizados para la detección gammagráfica de infección e inflamación.	Los estudios de perfusión miocárdica son frecuentes en medicina nuclear, pero aún se están desarrollando nuevos radiofármacos para indicaciones cardíacas específicas. El uso de radiotrazadores en cardiología sigue siendo un área emergente con potencial para un papel más establecido en el manejo de trastornos cardíacos.
Gibson et al. (22)	2013	El papel de los estudios de FG de medicina nuclear con Tc-99m-DTPA en pacientes pediátricos con tumores sólidos	En pacientes pediátricos con tumores sólidos, pocos resultados anormales de Tc-99m-DTPA fueron informados. Los pacientes con estudios anormales de Tc-99m-DTPA y creatinina sérica normal tenían factores de riesgo clínicos para disfunción renal.

Teorías relacionadas con los Radiotrazadores MDP, DTPA, MIBI marcados con pertecnetato de sodio, incluyendo los principios y aplicaciones. Las diferentes técnicas para obtener imágenes con fines diagnósticos comúnmente son clasificadas en dos tipos: la tomografía computadorizada por

emisión de fotón único (SPECT) y la tomografía de emisión de positrones (PET); esta última es superior en términos de resolución de imágenes y eficacia diagnóstica, aunque con un costo notablemente superior (23).

Lu (9) en su estudio de la eficacia de la ecografía y Tc-99m MIBI SPECT/CT en la localización preoperatoria de adenomas paratiroides causantes de hipertiroidismo primario, menciona que la ecografía combinada con Tc-99m MIBI SPECT/CT tiene un valor clínico importante en la localización preoperatoria de nódulos para tiroideos en pacientes con HPTP (9). Lo que confirma que la tomografía computarizada por emisión de fotón único, o SPECT (por sus siglas en inglés de Single-Photon Emission Computed Tomography), es una técnica de imagen que se basa en la detección de un único fotón, el cual se produce como parte del proceso de desintegración radiactiva del radioisótopo. La cual proporciona imágenes tomográficas tridimensionales de la biodistribución del radiofármaco emisor de radiación gamma administrado al paciente. Siendo una ventaja porque permite suministrar información funcional y útil acerca de procesos que ocurren a nivel tisular o celular.

En cuanto, a la importancia del radiotrazador MDP (99mTc) en estudios recientes de la captación extraósea de tejidos blandos en mieloma múltiple realizado por Mir (10) en un caso de mieloma múltiple, se observó captación extraósea en pulmón y hepática difusa en la gammagrafía ósea. Donde se ha utilizado la gammagrafía ósea con Tc-99m metileno difosfonato (MDP) para la evaluación de afecciones esqueléticas tanto benignas como malignas, siendo la captación del radiotrazador

no óseo en la gammagrafía ósea un hallazgo inusual. Existe un número significativo de pacientes con mieloma múltiple donde su apariencia se asemeja a la de la enfermedad ósea metastásica (10).

Con el uso del sestamibi (99mTc) se realizó una comparación de dos metodologías de tomografías computacionales como la Upfront F18-colina PET/CT versus Tc99m-sesta MIBI SPECT/CT para una cirugía guiada en hiperparatiroidismo primario: según Quak (11) el procedimiento de imagen PET/TC con F18-colina (FCH) es superior al SPECT/TC con Tc99m-sesta MIBI (MIBI) para la localización de ATP, pero es mucho más costoso, por lo que Quak (11) se centró en identificar la modalidad de diagnóstico por imágenes de primera línea más efectiva para brindar una atención óptima a los pacientes con HPTP, sin aumentar los costos para la sociedad concluyendo que la FCH PET/TC de segunda línea permitió la curación en el 88 % de los pacientes con MIBI SPECT/TC negativo o no concluyente (11).

Dheer (12) en la búsqueda por mejorar este tipo de imágenes planteó la optimización de los parámetros de maximización de expectativas de subconjuntos ordenados para la reconstrucción de imágenes en SPECT de perfusión miocárdica con metoxiisobutilisonitrilo con Tc-99m y comparación con imágenes reconstruidas con retroproyección filtradas correspondientes, para lo cual analizaron 99 estudios MPS de esfuerzo y reposo (47 normales y 52 anormales)

obteniendo en función al parámetro de reconstrucción OSEM más apropiado en Tc-99m MIBI MPS es la combinación de 4 iteraciones y 6 subconjuntos; además que las imágenes reconstruidas con FBP fueron mejores que las imágenes reconstruidas con OSEM sin el filtro Butterworth posconstrucción, pero con filtro Butterworth fue mejor que las imágenes FBP (12).

Otro caso del sestamibi (MIBI) 99mTc es del autor Guo (13) que en su estudio de una gammagrafía paratiroidea preoperatoria analizó la importancia para la eliminación total del tejido paratiroideo trasplantado en el hipertiroidismo secundario recurrente donde concluyó que la autoinjertectomía que se realizó bajo gammagrafía de paratiroides bifásica Tc-99m MIBI (99m Tc- metoixisobutilisonitrilo) resultó satisfactoria confirmándose la importancia de la gammagrafía en la paratiroidectomía (13). Del mismo modo Cheon (14) en su estudio de gammagrafía paratiroidea bifásica Tc-99m MIBI, determinó que el grado de captación en las imágenes tardías y el lavado fueron criterios diagnósticos significativamente útiles para diferenciar las lesiones paratiroides benignas de las malignas, junto con la edad y la concentración sérica de hormona paratiroidea.

Kilambi (15) en su investigación comparó el volumen de grasa epicárdica (EFV) en imágenes de perfusión miocárdica tomografía computarizada por emisión de fotón único/ tomografía computarizada (MPI SPECT/CT)

con perfusión normal y anormal de pacientes con enfermedad arterial coronaria conocida o sospechada, a 176 pacientes (88 registros con defectos de perfusión normales y 88 con defectos de perfusión reversibles) que fueron sometidos a estrés físico o con adenosina con Tc-99m MIBI seguido de SPECT y TC de baja dosis para corrección de atenuación. La MPI en reposo se realizó en pacientes que mostraban defectos de perfusión en las imágenes de estrés. Los resultados demostraron un aumento de EFV en exploraciones con presencia de isquemia reversible activa en comparación con la perfusión normal en MPI ($P < 0,001$), lo que sugiere un papel potencial de la SPECT/TC cardiaca para evaluar EFV para la estratificación de riesgo de sospecha de CAD (15). Destacando la importancia de la CT, ya que proporciona al médico reconstrucciones tridimensionales de la anatomía del paciente con una elevada resolución espacial. No obstante, sus principales limitaciones están dadas por la imposibilidad de ofrecer información acerca de la actividad funcional o metabólica de los tejidos, lo cual puede conllevar a falsos positivos o falsos negativos en los resultados del estudio.

Es significativa la importancia de las aplicaciones clínicas de la imagen fusionada del SPECT/CT, como García et al. (16) lo señaló en su estudio mediante la imagen de la gammagrafía de paratiroides, técnica de doble fase con 99mTc-MIBI y la de doble trazador 99mTc-MIBI/99mTc-pertecnetato, asociada en el primer caso a una SPECT o SPECT/TC, en tiempo precoz o tardío.

Concluyendo que la PET/TC con diferentes trazadores está demostrando buenos resultados, aplicada fundamentalmente en los casos de fallo de localización prequirúrgica de la gammagrafía (16). Esto demuestra su efectividad como herramienta en la detección y seguimiento de tumores malignos, puesto que permite observar con mayor definición el tejido que capta el radiotrazador, así como la localización anatómica de la masa tumoral dentro de un órgano, al excluir la presencia inespecífica del compuesto marcado en estructuras fisiológicas, como los vasos, el sistema urinario y el tracto

gastrointestinal, lo cual incide en un aumento de la especificidad en el diagnóstico.

Ventajas de la selección del radiofármaco ideal de acuerdo a los efectos colaterales de los Radiotrazadores MDP, DTPA, MIBI marcados con pertecnetato de sodio, administrado en pacientes con fines diagnósticos.

Dentro de este marco de análisis en la búsqueda se pudo encontrar información donde se puede evidenciar una serie de efectos adversos en el momento del estudio diagnóstico según cada radiotrazador como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Efectos adversos de los radiotrazadores MDP marcados con pertecnetato de sodio.

Estudio	Efectos adversos
Gammagrafía ósea	Dx. Encondroma en fémur izquierdo proximal. Después de la inyección, el paciente desarrolló una erupción en el cuello, picazón, dolor de cabeza y sensaciones de adormecimiento en el cuero cabelludo, la nariz y boca (17).
Gammagrafía ósea	Dx. Encondroma en fémur izquierdo proximal. Después de la inyección, el paciente desarrolló una erupción en el cuello, picazón, dolor de cabeza y sensaciones de adormecimiento en el cuero cabelludo, la nariz y boca (17).
Gammagrafía mamaria	Dx. cáncer de mama recurrente. Veinticuatro horas después de la inyección, el paciente se quejó de malestar general con edema palpebral, oliguria, ictericia y eritema en el tronco y alrededor de los ojos (18).

Tabla 4. Efectos adversos de los radiotrazadores DTPA marcados con pertecnetato de sodio.

Estudio	Efectos adversos
Renograma isotópico, estudios de la tasa de filtración glomerular, gammagrafía de vaciamiento gástrico, gammagrafía de reflujo gastroesofágico (19)	Renograma isotópico, estudios de la tasa de filtración glomerular, gammagrafía de vaciamiento gástrico, gammagrafía de reflujo gastroesofágico (20)

Tabla 5. Efectos adversos de los Radiotrazadores MIBI marcados con pertecnetato de sodio.

Estudio	Efectos adversos
Renograma isotópico, estudios de la tasa de filtración glomerular, gammagrafía de vaciamiento gástrico, gammagrafía de reflujo gastroesofágico (20)	Renograma isotópico, estudios de la tasa de filtración glomerular, gammagrafía de vaciamiento gástrico, gammagrafía de reflujo gastroesofágico (20)
Gammagrafía de perfusión miocárdica, gammagrafía de paratiroides	Náusea, eritema, rubor, erupción difusa, prurito, convulsiones, cefalea, sabor metálico (disgeusia), hormigueo, vómitos (22).

Entre los efectos adversos de los radiotrazadores MDP, DTPA y MIBI marcados con pertecnetato de sodio en pacientes con fines diagnósticos en medicina nuclear muestra que cada radiotrazador presenta reacciones adversas específicas en diferentes estudios. Estas reacciones pueden variar en su presentación e intensidad dependiendo del tipo de examen realizado y la anatomía del órgano o sistema expuesto al fármaco.

Para los radiotrazadores MDP en gammagrafía ósea, se observaron efectos como erupción en el cuello, picazón, dolor de cabeza y sensaciones de adormecimiento en áreas específicas. En la gammagrafía mamaria, se reportaron malestar general, edema palpebral, oliguria, ictericia y eritema en el tronco y alrededor de los ojos. Mientras que en la gammagrafía para diagnosticar artritis psoriásica, se evidenciaron vasculitis y eritema multiforme.

Por otro lado, los radiotrazadores DTPA en diversos estudios presentaron una amplia gama de efectos adversos, como resfriado, náuseas, vómitos, eritema, prurito, urticaria, hipertensión, hipotensión, reacciones respiratorias, taquicardia, síncope, cianosis, anafilaxia, artralgia, dolor y quemazón en el lugar de la inyección, entre otros.

Con los radiotrazadores MIBI en gammagrafías de perfusión miocárdica y paratiroides mostraron reacciones adversas como náuseas, eritema, rubor, erupción difusa, prurito, convulsiones, cefalea, sabor metálico (disgeusia), hormigueo y vómitos.

Por tanto, la importancia de identificar las ventajas y desventajas de cada radiotrazador en función del estudio diagnóstico y la anatomía específica del paciente, para asegurar una selección adecuada del radiofármaco ideal y minimizar los efectos colaterales indeseables en medicina nuclear. Es fundamental considerar estas reacciones adversas en la toma de decisiones clínicas y en la administración segura de los radiotrazadores en pacientes con fines diagnósticos.

CONCLUSIÓN

La investigación centrada en examinar la relevancia de los radiotrazadores MDP, DTPA y MIBI marcados con Tc99m en el diagnóstico en medicina nuclear subraya su papel crucial en la obtención de información precisa y funcional sobre órganos y sistemas humanos. Los estudios consultados reafirman que cada radiotrazador posee características funcionales que facilitan la evaluación metabólica, fisiológica y anatómica de órganos, demostrando su pertinencia en diversas aplicaciones diagnósticas.

La revisión destacó que técnicas avanzadas como SPECT y PET son esenciales para el diagnóstico médico, siendo la PET superior en resolución. En este contexto, los radiotrazadores mencionados han mostrado aplicaciones vitales, desde la localización de adenomas paratiroides hasta la detección de tumores malignos.

Las ventajas emergentes incluyen la precisión diagnóstica mejorada mediante herramientas como la imagen fusionada del SPECT/CT. No obstante, es esencial considerar los efectos adversos específicos de cada radiotrazador. La selección adecuada basada en un análisis detallado minimiza riesgos y garantiza la seguridad del paciente. Destacando el sestamibi de tecnecio por su capacidad para detectar tumores profundos, se subraya la importancia de una toma de decisiones clínicas informada, enfatizando la optimización en la aplicación de estos radiotrazadores para potenciar la eficacia diagnóstica en la medicina nuclear.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

FINANCIAMIENTO. Los autores declaran que no recibieron financiamiento.

AGRADECIMIENTO. Los autores reflejan el esfuerzo y el aporte que los estudiantes de la UCSG por colaborar con el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernández B. Aplicaciones médicas de los aceleradores de partículas. España: Universidad de Sevilla. (Tesis). 2021. <https://idus.us.es/handle/11441/133334>
2. Cortés B. Radiofármacos de uso humano: marco legal e indicaciones clínicas autorizadas en España. Seguridad Nuclear. 2003; 26. 5-15. https://radiofarmacia.org/docs/Radiofarmacos_marco_legal.pdf.
3. Chain C, Illanes L. Radiofármacos en medicina nuclear. Series: Libros de Cátedra. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46740>; 2015.
4. Faria D, Buchpiguel C, Marques L. Alternative chromatographic system for the quality control of lipophilic technetium-99m radiopharmaceuticals such as [99mTc(MIBI)6]+. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2015; 48(10), 902–907. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20144489>
5. Soriano B. Agentes de diagnóstico y radiofarmacia. Farm Hosp. 2002. <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/fhtomo2/CAP01.pdf>.
6. Aréstegui S. Control de calidad mediante cromatografía en el radiofármaco Tc 99m–MDP en el Centro Avanzado de Medicina Nuclear PETSCAN. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (Tesis). 2019. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11673>
7. Estrada T. Preparation and stability of the Tc-HNE radiopharmaceutical; Preparacion y estabilidad del radiofármaco TC-HNE. México: Universidad Autónoma del Estado de México. (Tesis). 2002. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20280745>
8. Page M. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. Revista española de cardiología. 2021; 74 (9), 790-799. DOI: 10.1016/j.recesp.2021.06.016
9. Lu R. Efficacy of ultrasonography and Tc-99m MIBI SPECT/CT in preoperative localization of parathyroid adenomas causing primary hyperthyroidism. BMC medical imaging. 2021; 21,1-87. DOI: 10.1186/s12880-021-00616-1.
10. Mir K. Extraosseous soft tissue uptake-in Multiple Myeloma. The Journal of the Pakistan Medical Association. 2022; vol 72 (7). DOI:10.47391/JPMA.22-82: p. 1454-1455.
11. Quak E. Upfront F18-choline PET/CT versus Tc99m-sestaMIBI SPECT/CT guided surgery in primary hyperparathyroidism: the randomized phase III diagnostic trial APACH2. BMC. 2021; 21 (1) 3-7. DOI:10.1186/s12902-020-00667-5.
12. Dheer P. Optimization of Ordered Subset Expectation Maximization Parameters for Image Reconstruction in Tc-99m Methoxyisobutylisonitrile Myocardial Perfusion SPECT and Comparison with Corresponding Filtered Back Projection-Reconstructed Image. Indian journal of nuclear medicine: IJNM: the official journal of the Society of Nuclear Medicine. 2021; 36 (1) 14-20. DOI: 10.4103/ijnm.IJNM_140_20.

- 13.** Guo Y. A preoperative parathyroid scan is important for the total removal of the transplanted parathyroid tissue in recurrent secondary hyperthyroidism: A case report and literature review. 2022; *Medicine*. 101 (5). DOI:10.1097/MD.00000000000032453.
- 14.** Cheon M, Choi JY, Chung JH, Lee JY, Cho SK, Yoo J, Park SB, Lee KH, Kim BT. Differential findings of tc-99m sestamibi dual-phase parathyroid scintigraphy between benign and malignant parathyroid lesions in patients with primary hyperparathyroidism. *Nucl Med Mol Imaging*. 2011 Dec;45(4):276-84. doi: 10.1007/s13139-011-0103-y. Epub 2011 Aug 19. PMID: 24900018; PMCID: PMC4043053.
- 15.** Kilambi Y. Comparison of Epicardial Fat Volume between Patients with Normal Perfusion and Reversible Perfusion Abnormalities on Myocardial Perfusion Imaging. *Indian journal of nuclear medicine: IJNM: the official journal of the Society of Nuclear Medicine*. 2021; 36 (1) 1-6. DOI: 10.4103/ijnm.IJNM_157_20
- 16.** García San Miguel P. Update of the role of Nuclear Medicine techniques in the pre-surgical localization of primary hyperparathyroidism. English Edition. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular*. 2019; 38(2) 123-135. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2253808919300151>
- 17.** Pérez J. Reacción adversa al Tc-oxidronato tras reexposición al radiofármaco. 2012 <http://www.alasbimjournal.net/contenidos/reaccion-adversa-al-sup-99m-sup-tc-oxidronato-tras-reexposicion-al-radiofarmaco-75>
- 18.** Pérez J. Reacciones adversas a radiofármacos. *Farm Hosp*. 2020;(45(3):142-9. <http://revistafarmaciahospitalaria.sefh.es/gdcr/index.php/fh/article/view/11669>).
- 19.** Santos R. Application of technetium 99 metastable radioactive Nanosystems: nanoparticles, liposomes, and Nanoemulsion for biomedical application. *Current Pharmacology Reports*. 2019;(5(4), 281-302. DOI:10.1007/s40495-019-00190-9
- 20.** Tsopeles C. Radiotracers used for the scintigraphic detection of infection and inflammation. *The Scientific World Journal*. 2015. DOI: 10.1155/2015/676719
- 21.** Mikołajczak R. Radiopharmaceuticals in cardiology. *Nuclear Medicine Review*. 2012; 15(1), 39-45. https://journals.viamedica.pl/nuclear_medicine_review/article/viewFile/18729/14737
- 22.** Gibson P. The role of Tc-99m-DTPA nuclear medicine GFR studies in pediatric solid tumor patients. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology*. 2013; 35(2). https://journals.lww.com/jpho-online/FullText/2013/03000/The_Role_of_Tc_99m_DTPA_Nuclear_Medicine_GFR.6.aspx: p. 108-111.
- 23.** Ulloa J. Revisión de los principios básicos de medicina nuclear y radiofarmacia. *Rev Col Microb Quim Cli Costa Rica*. 2018; 24 (3) 162-76 <http://revista.microbiologos.cr/wp-content/uploads/2018/12/Art%C3%ADculo-4.pdf>

ACERCA DE LOS AUTORES

Kelly Muriel Paredes. Químico Farmaceuta. Practicas pre profesionales en el área de Farmacia hospitalaria, laboratorio clínico en el MSP y laboratorio de alimentos. Participación como asistente a simposios y congresos, Ecuador.

Christian José Corte Juela. Practicas pre profesionales en el área de Farmacia comunitaria, laboratorio clínico y laboratorio de alimentos. Participación como asistente a congresos y Jornadas científicas, Ecuador.