



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA - FACULTAD DE MEDICINA
HOSPITAL DE CLINICAS DR. MANUEL QUINTELA
CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR E IMAGENOLÓGÍA MOLECULAR

MONOGRAFÍA -Ciclo de Metodología Científica II-2018-

Corrección de la atenuación en el SPECT de perfusión miocárdica: implicancias diagnósticas en enfermedad coronaria

GRUPO 36

CARRIQUIRY, Victoria

MARIN, Mariana

TRIPPMAKER, Patricia

VILASECA, Cecilia

ZUFIRIA, Soledad

ORIENTADOR: Asist. Dr. Andrés Damián

I) ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	9
METODOLOGÍA	10
RESULTADOS	11
DISCUSIÓN;	15
CONCLUSIONES	17
REFERENCIAS	18
TABLAS	21
FIGURAS	27

II) RESUMEN

Introducción: la calidad de la imagen y la exactitud diagnóstica obtenida por el SPECT se ve afectada por diversos factores físicos que subyacen a los principios de la imagenología nuclear. La atenuación de los fotones por los tejidos blandos es una de las principales limitaciones que enfrenta el SPECT en el diagnóstico de enfermedad coronaria. Se han desarrollado diversos métodos de corrección de la atenuación, siendo el más utilizado la realización de mapas de atenuación mediante tomografía computada. Si bien no es motivo de discusión que deba realizarse corrección, existen controversias acerca de cuán efectivos son dichos métodos.

Objetivo: Realizar una revisión narrativa de la literatura científica actualizada sobre las implicancias de la corrección de la atenuación en el SPECT de perfusión miocárdica en el diagnóstico de la enfermedad coronaria.

Metodología: revisión bibliográfica de artículos publicados en PubMed, Timbó y Cochrane, en inglés y español desde el año 1999, tamaño mínimo de 20 pacientes, con angiografía coronaria como método de referencia en el diagnóstico de coronariopatía realizada posteriormente al estudio de perfusión, en un plazo no mayor a 6 meses. Las variables consideradas fueron sensibilidad, especificidad y precisión del SPECT sin corrección y con corrección de la atenuación. 16 estudios fueron seleccionados.

Resultados: la mayor parte de los artículos incluidos en la revisión concuerdan que existe un aumento significativo de la especificidad diagnóstica del SPECT cuando se corrige la atenuación con CT, aumentando además la precisión diagnóstica del mismo. Algunos trabajos, reportan que dicho aumento de la especificidad impacta negativamente en la sensibilidad diagnóstica. Solamente uno no reporta cambios.

Conclusiones: la corrección de la atenuación en el SPECT de perfusión miocárdica mediante tomografía computada, incrementa significativamente la especificidad diagnóstica de la enfermedad coronaria significativa, especialmente en territorios irrigados por la arteria coronaria derecha, y en pacientes con IMC elevado.

III) INTRODUCCIÓN

III. a. Generalidades de la fisiología y fisiopatología coronaria

La cardiopatía isquémica ha constituido la primera causa de morbimortalidad en el mundo occidental en las últimas décadas, según reporta la Organización Mundial de la Salud. Para reducir su incidencia, son esenciales las intervenciones preventivas sobre los factores de riesgo cardiovascular desde etapas iniciales de la vida. En la actualidad, la baja adherencia a dichas estrategias determina que el diagnóstico precoz haya adquirido un rol preponderante^{1,2}

El desbalance entre la oferta y demanda del flujo sanguíneo coronario es la base fisiopatológica de esta enfermedad, siendo la aterosclerosis su principal etiología. Cuando este desbalance asienta sobre un vaso patológico, los mecanismos de compensación resultan insuficientes, determinando una isquemia reversible (miocardio hibernado o atontado) o irreversible (muerte celular). La intervención terapéutica oportuna constituye un determinante clave en el resultado final de este proceso.

El corazón recibe su aporte sanguíneo a través de las arterias coronarias, las cuales penetran desde la superficie hacia el interior de la masa miocárdica. Las arterias coronarias derecha e izquierda emergen directamente desde la arteria aorta ascendente. La izquierda irriga la parte anterior y lateral del ventrículo a través de la arteria circunfleja y la descendente anterior. La derecha irriga la mayor parte de ventrículo derecho así como la parte posterior del ventrículo izquierdo en el 80% de las personas, mediante la arteria descendente posterior.

En reposo el flujo sanguíneo coronario es en promedio de 225 ml/min lo que supone un 4-5% del gasto cardíaco. En un adulto joven durante el ejercicio intenso los mecanismos de reserva coronaria pueden incrementar el flujo coronario promedio hasta 4 veces, esta propiedad se pierde gradualmente conforme se afectan dichos vasos. Esta capacidad de incrementar el flujo sanguíneo coronario basal en respuesta a un estímulo hiperémico como el ejercicio o farmacológico como la adenosina o el dipiridamol se conoce como reserva coronaria.

La reserva coronaria puede evaluarse tanto, en forma relativa, a través de las asimetrías en la perfusión de distintos lechos vasculares mediante SPECT como cuantificarse en forma no invasiva en términos absolutos con PET o RNM. A su vez, puede también cuantificarse en forma invasiva durante el estudio hemodinámico. La evaluación de las consecuencias funcionales de la lesión coronaria, tiene un mayor impacto en la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas en comparación con la evaluación de su significación anatómica. Las evaluaciones funcionales adquieren especial relevancia en aquellos pacientes que presentan alteraciones de la microcirculación.

III.b. Métodos de estudio de la perfusión miocárdica en medicina nuclear: SPECT de perfusión miocárdica

Las diferentes modalidades de estudio en medicina nuclear permiten identificar mediante imagen procesos fisiológicos y patológicos in vivo³.

Es de gran utilidad conocer la ubicación exacta de la captación fisiológica de un determinado marcador para identificar las alteraciones que pueden darse en diversos procesos fisiopatológicos. En particular en los estudios de perfusión miocárdica determinar la ubicación exacta de las alteraciones en la perfusión es útil para la planificación del tratamiento, fundamentalmente para la realización de la angioplastia cuando se detecta una afección de la perfusión miocárdica que amerite el procedimiento.

Durante la ejecución del SPECT de perfusión miocárdica se inyecta un radiotrazador por vía intravenosa, el cual es captado por los miocitos viables en forma proporcional a su perfusión. El radiotrazador emite fotones que colisionan a lo largo de su trayecto con un cristal detector presente en una gammacámara. A dicho nivel, la energía se absorbe y se convierte en acontecimientos de luz visible. Dicha cámara presenta un colimador que homogenizan los rayos emitidos y mejora la calidad de la imagen a través del efecto sobre diversos artefactos que pueden generarse durante la adquisición. Los tubos fotomultiplicadores, detectan los sucesos gammagráficos de luz y los amplifican. Se realiza la digitalización de los eventos y de esta forma se crean múltiples cortes tomográficos del corazón que reflejan la distribución del radiotrazador y por lo tanto la perfusión miocárdica.

Los radiotrazadores utilizados para cuantificar la perfusión miocárdica en los estudios de medicina nuclear requieren para ser captados por los cardiomiocitos de una membrana celular indemne. En la actualidad, el radiotrazador más utilizado es el sestamibi marcado con tecnecio 99 metaestable (^{99m}Tc -MIBI). Este último emite 140 keV de energía fotónica y posee una semivida física de 6 horas. El sestamibi, por su parte, es un compuesto catiónico liposoluble con una fracción de extracción de primer paso en torno al 60%. El mismo atraviesa las membranas sarcolémicas y mitocondriales de los miocitos mediante difusión pasiva impulsado por el gradiente electroquímico transmembrana y es retenido a dicho nivel. Una de las limitantes que presenta dicho marcador, es que mantiene una extracción de primer paso lineal en relación al flujo miocárdico en tanto este no sea alto. En este último caso se produce una meseta en la captación lo que tiene como resultado que la captación del radiotrazador no permita distinguir segmentos miocárdicos cuya diferencia en la perfusión sea mayor a 2-2.5 veces la perfusión en reposo. Esta característica diferencia al ^{99m}Tc -MIBI de trazadores PET como el ^{15}O -agua, que presenta una extracción lineal en relación al flujo sanguíneo inclusive a flujos altos.

Los sistemas SPECT / CT híbridos tienen la capacidad de proporcionar una localización precisa de las alteraciones de la perfusión evidenciadas en los estudios de medicina nuclear .

En los equipos de imagen híbrida se realiza la combinación y fusión de dos modalidades de imagen, de manera que genera una sinergia en el que el producto es mayor a la suma de sus partes, dado que provee información que presenta un mayor aporte al que puede obtenerse con cada modalidad por separado. Generalmente la utilización de imágenes híbridas tiene un impacto positivo sobre la sensibilidad y especificidad de los estudios de medicina nuclear.

Los equipos híbridos SPECT / CT, en los que se fusiona la información de la tomografía computada por emisión de fotón único (SPECT) y la tomografía computada (CT) fueron introducidos comercialmente en 1999 y su aceptación clínica inicial fue relativamente lenta. Sin embargo, ha habido

mejoras en la tecnología con un aumento constante en el número de equipos instalados, acompañado de un aumento en la acumulación de evidencia acerca de su utilidad clínica. La combinación de SPECT y CT tiene el potencial de incrementar el rendimiento diagnóstico de las técnicas por separado, al incorporar información estructural y funcional, mejorando el estudio de distintos procesos fisiopatológicos que subyacen a condiciones clínicas específicas. Si bien todavía se está incorporando evidencia acerca de la utilidad de los estudios híbridos SPECT/CT en diversos escenarios clínicos, ya existe suficiente información para su utilización de rutina en ciertas patologías. Dentro de las aplicaciones clínicas de los equipos SPECT/CT en cardiología se incluye la corrección de atenuación, la incorporación de la información del score de calcio, angiografía coronaria por CT, fusión de imágenes y localización y el estudio de condiciones inflamatorias del corazón.

III. c Protocolos de estudio de la perfusión miocárdica con SPECT/CT

Con el objetivo de evidenciar las alteraciones en la reserva coronaria la evaluación de la perfusión miocárdica en medicina nuclear tradicionalmente se lleva a cabo basándose en protocolos para la obtención de imágenes durante estrés y reposo. La elección del protocolo a utilizar dependerá de diversos factores (características clínicas del paciente, radiotrazador a utilizar, disponibilidad, entre otros). Para los estudios de estrés en pacientes en estudio por enfermedad coronaria la primera elección debe ser el ejercicio dinámico, generalmente aplicada en la bicicleta ergométrica o la cinta sin fin. Alternativamente puede utilizarse el estrés farmacológico con vasodilatadores como la Adenosina, Dobutamina o Dipyridamol.

En cuanto a la secuencia de adquisición se puede utilizar un protocolo de un solo día, en el cual se mide el flujo sanguíneo miocárdico en estrés y en reposo (mientras la primera dosis inyectada es baja en la segunda se utiliza mayor actividad con el objetivo de optimizar la calidad de las imágenes) o un protocolo de 2 días en el cual se inyectan dosis similares del radiotrazador tanto en reposo como en estrés en días separados⁴.

III.d Limitaciones del SPECT de perfusión miocárdica

Si bien su utilidad para el diagnóstico de la extensión y severidad de la isquemia miocárdica así como para la estratificación del riesgo coronario está ampliamente demostrada, el SPECT de perfusión miocárdica no está exento de limitaciones. Su elevada sensibilidad (mayor al 90%) para el diagnóstico de enfermedad coronaria, viene acompañada de una especificidad menor (aproximadamente 80%)⁵. Esto responde a la dificultad de este método para diferenciar entre resultados verdaderos positivos y falsos positivos, siendo la atenuación fotónica de los tejidos blandos el fenómeno físico más importante que compromete estos últimos resultados. Además, como es esperable, las estructuras anatómicas presentes en la cavidad torácica presentan diferentes capacidades de atenuar los fotones y en conjunto contribuyen a comprometer el rendimiento del SPECT de perfusión miocárdica. El tejido mamario constituye un sitio común de generación de artefactos de captación a nivel del septo⁶ (Figura 1). Un efecto similar es producido sobre la pared inferior del corazón por el hemidiafragma izquierdo (Figura 2). En personas obesas pueden evidenciarse también artefactos a nivel de las paredes laterales⁷. Por

otra parte, existen limitaciones vinculadas a la resolución de las imágenes, los datos requeridos para construir imágenes usando las técnicas de SPECT se adquieren recolectando imágenes planares en múltiples ángulos alrededor del paciente. Típicamente, se adquieren 120 imágenes, una cada 3 grados para SPECT de 360 grados o 60 imágenes una cada 3 grados para SPECT de 180 grados en imágenes cardíacas. Las imágenes adquiridas con SPECT proporcionan información fisiológica basada en la localización de radiofármacos en regiones de interés. Sin embargo, estas imágenes sufren de una baja resolución espacial en comparación con técnicas de imagen estructural y a menudo carecen de puntos de referencia anatómicos para determinaciones precisas de la ubicación de las áreas de captación anormal. Por último, los movimientos respiratorios del paciente así como movimientos que realice el mismo durante el estudio, hace variar la distancia del órgano emisor de fotones a los detectores, lo que contribuye a artefactos de movimiento. Para el caso de los movimientos respiratorios, su naturaleza cíclica contribuye a su fácil identificación³.

Por lo tanto, la calidad de la imagen y la exactitud diagnóstica obtenida por el SPECT se ve afectada por diversos factores físicos que subyacen a los principios de la imagenología nuclear que incluyen^{3,8} :

- (a) la atenuación de los fotones que viajan hacia el detector
- (b) la dispersión de los fotones
- (c) la resolución espacial finita de las imágenes sistemas
- (d) los movimientos fisiológicos y voluntarios del paciente

A los efectos de la presente revisión bibliográfica nos referiremos a la atenuación de los fotones como limitante del SPECT de perfusión miocárdica para el diagnóstico de la enfermedad arterial coronaria.

-El problema de la atenuación de los fotones en el SPECT

Frente a una distribución uniforme de un trazador, la imagen reconstruida puede mostrar una disminución de la captación, este defecto se debe a la atenuación de los fotones dentro del cuerpo humano antes de salir y ser detectado por el sistema de la cámara.

La base física de este fenómeno radica en la propiedad de los fotones emitidos por el radiofármaco de interactuar con el tejido y otros materiales a medida que pasan a través del cuerpo. Los radiofármacos pueden experimentar interacciones fotoeléctricas donde el fotón incidente es completamente absorbido. En otros casos, el fotón primario de los radionucleidos interactúa con electrones débilmente unidos en el material circundante y son dispersados, la trayectoria del fotón dispersado generalmente es diferente a la del fotón primario. El principal mecanismo de atenuación que ocurre dentro de los rangos de energía utilizados en la medicina nuclear convencional es la dispersión de Compton, que resulta en cambios en la dirección fotónica con pérdida de energía. Este cambio direccional puede resultar en omisión de la captación, en caso de que el fotón haya tenido una trayectoria inicial que hubiera pasado por el colimador pero el cambio en la dirección impidió su detección. En otros casos, el fotón es detectado en una localización errónea⁹. Es así, que puede ser difícil la distinción entre la presencia de enfermedad coronaria y un artefacto de atenuación.

La absorción y la dispersión son componentes del proceso general de atenuación de fotones.

Matemáticamente, la magnitud de la atenuación de fotones puede ser expresada por la siguiente ecuación exponencial:

$$\Phi = \Phi_0 \exp \left[- \int_s \mu(x,y) ds \right],$$

Donde Φ es el flujo de fotones transmitidos, Φ_0 es el flujo de fotones incidentes (cantidad de fotones por unidad de área) ds es el espesor del material que debe atravesar el haz de fotones, y μ es el coeficiente de atenuación lineal, representa la probabilidad de que el fotón experimente una interacción mientras pasa a través de una unidad de espesor de un material. Por lo tanto, el coeficiente de atenuación lineal es una medida de la fracción de fotones primarios que interactúan al atravesar un material y se expresa en unidades de cm^{-1} .

Cuando la distribución de radionucleidos se mide con SPECT, la magnitud de la atenuación depende de la longitud de trayectoria del tejido y el tipo de tejido (por ejemplo, tejido blando, hueso, frente a pulmón) que el fotón se encuentra mientras viaja entre el punto de emisión y el punto de detección

La reconstrucción de imágenes de SPECT sin corrección de la atenuación puede generar una imagen errónea, que muestre una captación del marcador muy elevada en regiones de baja atenuación (como el pulmón) o muy baja en regiones de alta atenuación (como la mama). Todos estos efectos pueden introducir artefactos en las imágenes que pueden alterar la interpretación visual y pueden causar errores cuando las imágenes son evaluadas cuantitativamente, todo lo cual tiene evidentemente importantes implicancias en el diagnóstico y decisión terapéutica en la enfermedad arterial coronaria. .

-Principales sitios de atenuación de tejidos blandos: mama y diafragma

-Atenuación mamaria

La atenuación del tejido mamario es una de las fuentes de atenuación más comunes (Figura.2). Fundamentalmente en la pared anterior y septal, la magnitud de la atenuación mamaria depende obviamente del tamaño de la mama de cada paciente. Si la mama está en la misma posición durante las imágenes obtenidas durante el estrés y el reposo, el defecto estará presente en ambas y cuando se cuantifique e interprete el resultado se podría obtener un resultado falso positivo de defecto en la perfusión. Una forma ampliamente aceptada para discriminar esas áreas de aparente hipoperfusión es determinar la motilidad de la pared. Esto se lleva a cabo a través del análisis de la motilidad sectorial de la pared a partir del gated- SPECT. Si el resultado evidencia una motilidad normal, el defecto fijo podría corresponder a un artefacto de atenuación ^{10,11}.

-Atenuación diafragmática

La pared inferior del ventrículo izquierdo, es otro sitio que frecuentemente se ve afectado por artefactos de atenuación dados por la interposición del hemidiafragma izquierda (Figura 1), fundamentalmente en los hombres. Al igual que en los casos de atenuación mamaria, cuando se evalúa la motilidad de la pared inferior con el gated-SPECT, si la misma es normal aleja la posibilidad de un defecto fijo de la perfusión. En los casos en los que no se dispone de corrección de atenuación por TC las guías recomiendan la adquisición de imágenes del paciente en una posición distinta a la original, por ejemplo

en posición prono si originalmente el estudio fue adquirido en posición supino, para evaluar si los defectos de captación pueden estar en relación a atenuación o a un defecto de perfusión. Si el defecto cambia de posición o desaparece al cambiar de posición puede estar en relación a un artefacto por atenuación ^{10,11}.

III. d Corrección de la atenuación: mapas de corrección

Los sistemas SPECT CT proporcionan una corrección de atenuación precisa de la imagen de medicina nuclear por lo que problema de la corrección de la atenuación para el SPECT se ha considerado en parte resuelto después de la disponibilidad comercial de dispositivos que combinan SPECT con TC, fundamentalmente a través de la construcción de mapas de atenuación. Mediante la construcción de mapas de atenuación a través de CT se logra reconstruir imágenes compensando los fotones atenuados, el mapa de atenuación básicamente permite observar la capacidad de atenuación de los diferentes tejidos que conforman el tórax. La gran desventaja de este método de corrección es que el paciente debe recibir una dosis adicional de radiación para su realización. Para ello se utilizan bajas dosis, dado que el objetivo del mapa es la corrección y no el diagnóstico. De todas formas, la reducción de la dosis de radiación se ve limitada en que el coeficiente de atenuación lineal depende de la energía del haz de fotones que atraviesa un material dado. Para energías bajas, el coeficiente de atenuación es mayor (figura 3). El denominado modelo bilineal permite determinar el coeficiente de atenuación de los distintos tejidos que componen el tórax para la energía que emite el radioisótopo utilizado a partir del número de Hounsfield (densidad del tejido en función de la radiación) obtenido por la CT a bajas dosis:

$$\mu_{tejido,140,5[KeV]} = \begin{cases} \frac{1000 + CT\#}{1000} * \mu_{agua,140,5[KeV]} ; \text{ para } CT\# \leq 0 \\ \mu_{agua,140,5[KeV]} + \frac{CT\#}{CT\#_{hueso}} * (\mu_{hueso,140,5[KeV]} - \mu_{agua,140,5[KeV]}); \\ \text{ para } 0 < CT\# < CT\#_{hueso} \end{cases}$$

Dadas las limitaciones del SPECT de perfusión miocárdica, es importante tener en cuenta tanto los procesos físicos que subyacen a la atenuación de fotones como los métodos que se pueden utilizar para obtener imágenes corregidas. La corrección de la atenuación está ampliamente aceptada por las sociedades de medicina nuclear como elemento esencial para producir imágenes sin artefactos de atenuación y lograr imágenes cada vez más precisas para cuantificar. Sin embargo, desde hace ya varios años no es un punto de debate el hecho de que se debe corregir la atenuación, sino que existen controversias acerca de qué tan efectivos son los métodos de corrección de la atenuación para mejorar la especificidad, la sensibilidad y la precisión diagnóstica del SPECT de perfusión miocárdica.

IV) OBJETIVOS

Objetivo general

-Realizar una revisión narrativa de la literatura científica actualizada sobre las implicancias de la corrección de la atenuación en el SPECT de perfusión miocárdica en el diagnóstico de la enfermedad

coronaria, utilizando la cineangiocoronariografía como método de referencia para el diagnóstico de la enfermedad coronaria significativa.

Objetivos específicos

- Evaluar a través del análisis de los trabajos seleccionados como afecta la corrección de la atenuación la especificidad diagnóstica del SPECT de perfusión miocárdica.
- Evaluar modificaciones de la sensibilidad diagnóstica del SPECT de perfusión miocárdica con la corrección de la atenuación.
- Evaluar globalmente cambios en la precisión diagnóstica del SPECT de perfusión miocárdica luego de realizar corrección de la atenuación.
- Evaluar si de existir modificaciones, se relacionan a territorios vasculares específicos.
- Evaluar si las modificaciones se relacionan con el índice de masa corporal de los pacientes.

V) METODOLOGÍA

V.a Estrategia de búsqueda:

Se realizó una revisión bibliográfica de artículos publicados en las siguientes bases de datos: PubMed, Timbó y Cochrane. La búsqueda fue realizada en el período comprendido entre Junio y Setiembre del año 2018. Si bien inicialmente se esperaba incluir bibliografía actualizada (dentro de los últimos 10 años), dado el escaso volumen de literatura encontrada, se decidió modificar este criterio de inclusión, considerando también como parte del trabajo, las publicaciones realizadas desde el año 1999. Durante el proceso de selección, cada uno de los artículos fue preseleccionado según su *abstract*, y luego leído en su totalidad para ser incluido en la selección definitiva.

Las palabras empleadas para llevar a cabo la búsqueda bibliográfica, se basaron en la terminología Mesh, utilizando algunas de las siguientes: *myocardial perfusion SPECT*, *attenuation correction*, *coronary disease*, *gated SPECT*, *diaphragmatic attenuation*, *breast attenuation*, *CT-transmission maps* y sus respectivas combinaciones utilizando el operador booleano “AND”.

V.b Criterios de inclusión:

En lo que respecta a los criterios de inclusión, la búsqueda se centró en artículos en inglés y español desde el año 1999 a la fecha, con un tamaño mínimo poblacional de 20 pacientes. Se consideró también como requisito el uso de angiografía coronaria como método estándar de referencia en el diagnóstico de coronariopatía realizada posteriormente al estudio de perfusión, en un plazo no mayor a 6 meses.

V.c Criterios de exclusión:

No se tuvieron en cuenta revisiones sistemáticas, reporte de casos, ni tampoco estudios realizados en poblaciones especiales (arritmias, alteraciones de la conducción, entre otros).

V.d Variables de interés:

Las variables consideradas fueron sensibilidad, especificidad y precisión del SPECT sin corrección y con corrección de la atenuación.

V.e Categorización de la población:

De los 16 estudios seleccionados, la población extraída estaba conformada por 2220 pacientes, de los cuales 701 eran hombres y 869 mujeres. 650 sin especificar sexo.

VI) RESULTADOS

Como fue mencionado previamente, la utilización de métodos para la corrección de la atenuación fotónica de los tejidos blandos no es un tema de debate en la actualidad. No obstante, existen controversias acerca del grado de utilidad de los mismos en el SPECT de perfusión miocárdica, en cuanto a su capacidad para incrementar la especificidad, sensibilidad y precisión diagnóstica en la enfermedad coronaria. Son diversos los métodos existentes para la corrección de atenuación; en esta revisión se considerará únicamente el método basado en la construcción de mapas de atenuación a partir de imágenes obtenidas por tomografía computada.

El análisis final incluyó 16 artículos, con un total de 2220 pacientes, 701 mujeres, 869 hombres y 650 en los cuales no se especifica sexo, todos ellos fueron derivados a centros de medicina nuclear para evaluación de enfermedad coronaria mediante la realización de un SPECT-CT de perfusión miocárdica. Todos los pacientes incluidos se sometieron a angiografía coronaria dentro de un período de tiempo de uno a seis meses posteriores al estudio de medicina nuclear. Los resultados de la angiografía fueron utilizados como referencia dado que la misma es considerada el *gold standard* para el diagnóstico de enfermedad coronaria.

Algunos de los trabajos analizados han obtenido resultados compatibles entre sí en cuanto al incremento de la especificidad (Tabla 1). *Thompson et al*¹². en 2005, mediante un estudio realizado en Estados Unidos, que incluyó 116 pacientes divididos en dos grupos de acuerdo a su índice de masa corporal (> 30 y < 30 kg/m²) comparó la especificidad, sensibilidad y precisión diagnóstica del SPECT con y sin corrección de atenuación en ambos grupos de pacientes (Tabla 2). Los resultados fueron interpretados visualmente por tres médicos nucleares experimentados que desconocían datos de la historia clínica de los pacientes y si la imagen a analizar había sido previamente corregida o no. Los resultados obtenidos evidenciaron un aumento significativo de la especificidad global (82% vs 64 % p= 0.02) con mayores diferencias observadas en el grupo de pacientes con IMC > 30 kg/m² (76% vs 41 % p=0,03), luego de la corrección de la atenuación (Tabla 3).

Por su parte, *Taneja y colaboradores*¹³ en el año 2008, realizaron un estudio retrospectivo que incluyó 141 pacientes a los cuales se les realizó SPECT de perfusión miocárdica con corrección de atenuación por tomografía computada. Las imágenes fueron interpretadas visualmente y de forma semicuantitativa mediante la construcción de mapas polares. A partir de los datos obtenidos se realizaron curvas ROC. Los resultados evidenciaron un incremento significativo de la especificidad para el diagnóstico de enfermedad coronaria en las imágenes obtenidas con SPECT corregidas, frente a aquellas sin corregir (p < 0.001) (Tabla 1).

En 2011, *Huang et al*¹⁴ publicó un estudio retrospectivo que involucró 99 pacientes con dolor torácico y sospecha clínica de enfermedad coronaria. Se realizó un análisis visual semicuantitativo de las imágenes corregidas y sin corregir. Los resultados obtenidos evidenciaron un incremento significativo

en la especificidad global para la detección de enfermedad coronaria en las imágenes corregidas (62.9% vs 79.0% $P = 0.041$). En el análisis de cada territorio vascular, en las imágenes corregidas, se evidenció un aumento significativo en la especificidad diagnóstica en la región de la arteria coronaria derecha del 77.9% al 98.7% ($P < 0.001$), en tanto se constató una disminución en la especificidad en la región descendente anterior izquierda, del 94.1% al 82.4% ($P = 0.008$) (Tabla 1 y 2).

Por su parte, *Raza y colaboradores*⁷ en el año 2016 reportaron resultados obtenidos a través del estudio de 102 pacientes de los cuales 42 fueron sometidos a cineangiografía dentro de los seis meses posteriores y 60 que, por haber mostrado una probabilidad menor al 15% de presentar enfermedad arterial coronaria significativa en el estudio de medicina nuclear, no se continuó su estudio en forma invasiva. Tanto las imágenes no corregidas como las corregidas se analizaron visualmente según el modelo de 17 segmentos de la cavidad ventricular izquierda. Los segmentos fueron evaluados por 2 médicos nucleares quienes interpretaron los dos conjuntos de imágenes, calificando cada segmento como normal o anormal, y en caso de ser anormal, reversible o fijo. En cuanto a la coronariografía, se consideró como enfermedad coronaria significativa la presencia de estenosis $\geq 70\%$. Adicionalmente, se compararon las imágenes obtenidas entre grupos con distinto IMC y sexo. Este estudio evidenció un incremento significativo en la especificidad (10,34% vs 79,3% $p < 0,001$) al utilizar la corrección de la atenuación, únicamente en el territorio correspondiente a la arteria coronaria derecha, en ambos sexos y de manera independiente del IMC (Tabla 1, 2 y 3).

En concordancia, *Clavijo y colaboradores*¹⁵ en Chile en el año 2018, con el fin de evaluar el rendimiento diagnóstico del SPECT-CT corregido y no corregido, comparado con la cineangiografía coronaria, evaluaron retrospectivamente 20 pacientes derivados por dolor torácico. Las imágenes fueron evaluadas visualmente por dos expertos ciegos a la información clínica y técnica y agrupadas en base al territorio vascular (arteria descendente anterior, circunfleja y coronaria derecha). Se realizaron cálculos de sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo, considerando una obstrucción coronaria significativa, a aquella igual o superior 70%. Las imágenes corregidas mostraron mayor especificidad (75% vs 50% $p=0,007$) en contraste con aquellas no corregidas (Tabla 1). Además, se evidenció mayor especificidad en la detección de defectos en el territorio de la arteria coronaria derecha (Tabla 2).

Por otra parte, en otros trabajos, si bien se reportó un aumento de la especificidad, la misma se acompañó de modificaciones en la sensibilidad. *Hendel y colaboradores*¹⁶, realizaron un estudio multicéntrico prospectivo en Chicago, en el cual participaron 96 pacientes los cuales fueron sometidos a SPECT de perfusión miocárdica con y sin corrección de atenuación. Las imágenes fueron interpretadas por médicos nucleares ciegos a la información del paciente, quienes las puntuaron semi-cuantitativamente (escala de 0 a 4) por medio del modelo de 20 segmentos. También se determinó el score de estrés sumado. Para el territorio de la arteria coronaria derecha, la corrección de atenuación incrementó significativamente la especificidad ($p < 0.001$), pero a expensas de una reducción en la sensibilidad

($p=0.0073$) (Tabla 1). En relación a lo anterior, *Banzo y colaboradores*⁵ en el año 2003 estudiaron 99 pacientes con sospecha de enfermedad coronaria. Se realizó un análisis ciego de las imágenes con y sin corrección, cuantificando a través de scores que tomaban valores de cero, en caso de no captarse el radiotrazador, hasta tres en caso de captación normal. El diagnóstico se basó en los hallazgos de la coronariografía, considerándose significativas estenosis mayores a 70%. Los resultados de este estudio indican que las imágenes con corrección mejoran la especificidad (44% vs 85%) a expensas de una disminución de la sensibilidad (96% vs 79%) para el territorio de la arteria coronaria derecha (Tabla 1 y 2). *Genovesi et al*¹⁷ realizó un estudio en 2011 con el fin de evaluar el impacto de la corrección de atenuación en el rendimiento diagnóstico del SPECT de perfusión miocárdica, de acuerdo al sexo, índice de masa corporal y sitio de la enfermedad arterial coronaria. La población estudiada consistió en 104 pacientes. Las imágenes obtenidas fueron analizadas aleatoriamente por tres lectores experimentados quienes desconocen la información clínica del paciente, el hábito corporal y los resultados de la angiografía coronaria. Se obtuvieron el score de stress sumado, score de reposo sumado y a partir de estos últimos el score de diferencias sumadas. En todos los pacientes las imágenes corregidas evidenciaron un incremento en la precisión diagnóstica para enfermedad coronaria desde 77% a 86.5% con un valor $p < 0.05$ (Tabla 1, 2 y 3). Por otra parte y en concordancia con *Thompson y colaboradores*¹², este estudio evidenció un aumento en la especificidad diagnóstica al utilizar la corrección de la atenuación, en el grupo de hombres con sobrepeso (66,7% vs 100% $p < 0.05$). *Sharma et al*¹⁸ en 2012 en Nueva Delhi, realizó un estudio que incluyó 171 pacientes con el objetivo de evaluar si la corrección de la atenuación presentaba ventajas diagnósticas tanto por métodos de análisis cualitativos como cuantitativos. Dicho análisis fue realizado por dos expertos de forma independiente. Los resultados reportan un incremento de la especificidad (84,1% vs 91,7% para el lector 1; 89,4% vs 94,5% para el lector 2) pero una disminución de la sensibilidad (50% vs 29% para el lector 1; 43.2% vs 25.8% para el lector 2) al utilizar la corrección de la atenuación, únicamente en el territorio de la arteria coronaria derecha (Tabla 1 y 2). Para ambos lectores, el área debajo de la ROC fue mayor para las imágenes corregidas. Por otra parte, *Chong y colaboradores*¹⁹ en el año 2018 llevaron a cabo un estudio retrospectivo que incluyó 181 pacientes chinos con sospecha de enfermedad coronaria. Se obtuvieron mapas de atenuación por medio de imágenes obtenidas por tomografía computada, los cuales fueron procesados automáticamente por medio de un software diseñado para ello. Las imágenes resultantes fueron comparadas con las imágenes obtenidas por el SPECT sin corrección por tomografía, por dos expertos independientes. Globalmente, se observó un incremento significativo de la especificidad (86,9% vs 55,1%) con una reducción de la sensibilidad (52,7% vs 75,7%) en las imágenes corregidas en comparación con aquellas sin corrección de la atenuación (Tabla 1). En cuanto a la comparación entre arterias coronarias individuales, los resultados indican que, para el diagnóstico de lesión de la arteria coronaria derecha, el SPECT-CT muestra un aumento de la especificidad (93,1% vs 64,9%), y una disminución de la sensibilidad (26% vs 60%), en comparación con SPECT sin corrección de la atenuación (Tabla 2). Las imágenes de 17 pacientes con lesiones de la arteria coronaria derecha

fueron sobre corregidas con el SPECT-CT. En concordancia con los resultados obtenidos en los estudios llevados a cabo por *Thompson y Genovesi*, mencionados recientemente, se constató una mayor especificidad (88,2% vs 48,5%) en pacientes con sobrepeso (Tabla 3).

*Huang y colaboradores*²⁰, en el año 2018 publicaron un estudio retrospectivo en el que se incluyeron 108 pacientes con sospecha o diagnóstico previo de enfermedad coronaria. En el mismo, las imágenes con y sin corrección de atenuación fueron analizadas en conjunto por dos expertos ciegos a los datos clínicos de los pacientes. Se calcularon los índices sumados de estrés, reposo y la diferencia entre ambos y en base a los resultados de este último se diagnosticó enfermedad coronaria. Los segmentos más atenuados fueron el basal inferior, el basal inferolateral y el inferior medio. Se evidenció un incremento de la especificidad para el diagnóstico de enfermedad coronaria en las arterias descendente anterior ($p=0,001$) y circunfleja ($p<0,001$), en el SPECT/TC en comparación con el no corregido (Tabla 2). En los pacientes con estenosis de la arteria coronaria derecha, el SPECT/TC mostró mayor especificidad pero una disminución de la sensibilidad. En la evaluación del área debajo de la curva ROC no se evidenciaron diferencias significativas.

*Duvernoy et al*²¹ en el año 2000 realizó un estudio en donde incluyeron 28 pacientes con estenosis significativa del tronco de la arteria coronaria izquierda y 34 pacientes con enfermedad coronaria de 2 vasos. El análisis visual fue realizado por dos expertos de manera independiente, que desconocen los resultados angiográficos. Los resultados cuantitativos se generaron a partir de la construcción de mapas polares según las distribuciones de los trazadores. Durante el análisis visual, se detectó una mayor sensibilidad de las imágenes corregidas para el diagnóstico de enfermedad coronaria izquierda (64% frente a 7%, $p < 0,001$) en comparación a las imágenes no corregidas, sin cambios significativos en la especificidad. Con respecto al análisis cuantitativo automatizado, este demostró una mejoría similar en la sensibilidad diagnóstica para el mismo territorio vascular (57% vs 14%, $p < 0,001$), sin mostrar nuevamente cambios en la especificidad (Tabla 2).

*Bajén y colaboradores*²² en el año 2007 llevaron a cabo un estudio en donde se incluyeron 60 pacientes los cuales fueron sometidos a SPECT-TC de perfusión miocárdica. Se evaluaron cualitativamente imágenes de esfuerzo/reposo no corregidas y corregidas. Los evaluadores fueron 3 médicos nucleares experimentados, ciegos a la información de la cineangiografía. Los resultados evidenciaron que en el territorio de la coronaria derecha, la exactitud diagnóstica fue significativamente mayor en las imágenes corregidas en contraste con las no corregidas ($p < 0,001$) (Tabla 2). Por su parte, *Plachcińska y colaboradores*²³ en un estudio retrospectivo realizado en 2016, estudiaron 107 pacientes con sospecha o diagnóstico de enfermedad coronaria. Las imágenes se reconstruyeron con y sin corrección de la atenuación, y fueron analizadas por un método semicuantitativo, por 2 expertos que llegaron a un consenso. Se analizaron los diferentes territorios vasculares según la división clásica de la American Heart Association. La perfusión se clasificó en categorías de 0 a 4. Considerando a la totalidad de la población estudiada, se constató un incremento significativo de la especificidad (63% vs 86%) y la precisión (71% vs 83%) en las imágenes corregidas en contraste con aquellas sin corregir (Tabla 1). En

concordancia con los resultados expuestos por *Clavijo et al*, *Raza et al*, *Banzo et al* y *Chong et al*, el estudio en cuestión evidenció un incremento en la especificidad (73% vs 88% $p=0,005$) en el territorio de la coronaria derecha para las imágenes con corrección de la atenuación. Asimismo se constató un aumento significativo de la precisión diagnóstica para dicho territorio (74% vs 83%, $p=0,04$) así como para el de la descendente anterior (79% vs 87% $p=0,0043$) (Tabla 2).

En contraste con los trabajos expuestos anteriormente, *Xu et al* ²⁴ en 2010 en Los Ángeles, realizó un estudio con el objetivo de incrementar la precisión diagnóstica de enfermedad coronaria por medio de un análisis cuantitativo utilizando la combinación de imágenes corregidas y no corregidas. En dicho estudio se contó con la participación de 650 pacientes, que fueron sometidos a angiografía coronaria en los 60 días posteriores a la realización del SPECT de perfusión miocárdica. Se construyeron curvas ROC para evaluar la capacidad de cuantificación del déficit total de perfusión para pronosticar estenosis mayores al 70%. El área bajo la curva ROC, construida a partir de datos que combinaban las imágenes con y sin corrección de atenuación, resultó significativamente mayor en comparación con aquellas construidas a partir de datos no combinados ($p < 0,01$). Asimismo, este estudio evidenció un aumento significativo de la especificidad al utilizar el mencionado análisis combinado en contraste con las imágenes con corrección de atenuación (70% vs 75% $p=0,01$) y sin corregir (65% vs 75% $p < 0,0001$) (Tabla 1).

Finalmente, en un estudio publicado en el año 2008 por *Wolak y colaboradores* ²⁵, no se constató un incremento en el rendimiento diagnóstico de enfermedad coronaria al realizar mapas de atenuación a partir de imágenes obtenidas por tomografía computada. La población estudiada constó de 114 pacientes de sexo femenino. Las imágenes obtenidas fueron analizadas de forma cuantitativa automática para evitar cualquier sesgo asociado con la interpretación visual. Todos los análisis segmentarios automáticos se realizaron con el modelo de la American Heart Association de 17 segmentos y 5 puntos. La especificidad, sensibilidad así como la precisión diagnóstica entre ambos grupos comparados, no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1).

VII) DISCUSIÓN

Dadas las características de la presente revisión bibliográfica y lo preciso del tema a abordar con los múltiples criterios de inclusión definidos, fueron pocos los trabajos que los respetaban. Esto puede explicarse entre otros factores por la menor disponibilidad de la tecnología SPECT/CT en comparación con las imágenes SPECT dedicadas. En nuestro país existen únicamente dos equipos con capacidad de realizar imágenes híbridas SPECT/CT, unos de ellos en el sector privado y uno en el Centro de Medicina Nuclear e Imagenología Molecular del Hospital de Clínicas, Universidad de la República. Este último se incorporó al servicio a fines del año 2014, por lo que la experiencia local en el sector público con esta tecnología se encuentra en desarrollo. La baja disponibilidad de información acerca del impacto en el rendimiento diagnóstico de la corrección de atenuación por TC pone de manifiesto la importancia de generar experiencia local en el tema y aportar al conocimiento para optimizar los protocolos diagnósticos en los pacientes.

En buena parte de los estudios incorporados a revisión se evidenció un aumento estadísticamente significativo en la especificidad diagnóstica posterior a la corrección de la atenuación fotónica. Algunos de estos trabajos mostraron un incremento global de la especificidad, es decir, con independencia del territorio vascular estudiado (Tabla 1), en tanto en otros solo obtuvieron aumentos significativos de la especificidad en el territorio de la arteria coronaria derecha, siendo este un resultado relativamente constante (Tabla 2). Los territorios irrigados por la arteria coronaria derecha se encuentran más profundos a nivel torácico, por lo que los fotones emitidos en estos sectores del miocardio tienen mayor probabilidad de experimentar atenuación fotónica, dada su mayor trayectoria intratorácica, razón por la cual los métodos de corrección de la atenuación muestran cambios más significativos en este territorio. Este artefacto responde, sobre todo, a la interposición del hemidiafragma izquierdo y se describe típicamente en pacientes de sexo masculino.

Dichos artefactos podrían ser confundidos con defectos de perfusión fijos o incluso con cierto grado de reversibilidad en territorio de la arteria coronaria derecha, simulando imágenes similares a las que podría verse en una secuela de infarto no transmural o isquemia en la región inferior. Por este motivo la corrección de atenuación podría tener un efecto positivo en cuanto a la mejoría de la especificidad (Figura 3).

A su vez, en los estudios donde se comparó la efectividad de la corrección de la atenuación en grupos de pacientes determinados por el valor del IMC, el incremento de la especificidad fue mayor cuanto mayor era el IMC de los pacientes, resultado esperado si se tiene en cuenta que el tejido adiposo proporciona una fuente adicional de atenuación, fundamentalmente por un aumento del espesor de la pared torácica. Esta información es de utilidad para el diseño de los protocolos de adquisición de las imágenes SPECT/CT dado que puede tomarse en cuenta el IMC como variable importante para decidir a priori a qué pacientes se les debe realizar de rutina la corrección de atenuación. En el Centro de Medicina Nuclear e Imagenología Molecular del Hospital de Clínicas este procedimiento se realiza a los pacientes con IMC de 30 o más, dada la alta prevalencia de artefactos por atenuación en estos casos. Si bien frente a estos resultados, la utilidad de la corrección de la atenuación en cuanto a su capacidad de incrementar la especificidad está fuertemente demostrada por la concordancia de los diferentes trabajos, la misma tiene una limitación: algunos reportan una disminución de la sensibilidad producto de una sobre corrección, eliminando verdaderos defectos de la perfusión. Este es un factor a tener en cuenta a la hora de la interpretación de las imágenes posteriores a la corrección de la atenuación, dadas las implicancias diagnósticas, terapéuticas y pronósticas en los pacientes. Un aumento de la especificidad y un descenso de la sensibilidad determinan que no cambie o se reduzca la precisión diagnóstica del SPECT. En este sentido podría ser de utilidad la interpretación de las imágenes con y sin corrección de atenuación, a fin de contar con toda la información disponible en la interpretación de los defectos de captación. Actualmente las guías clínicas disponibles de la EANM (Strauss *et al* 2008²⁶) recomiendan que se si se aplica la corrección de atenuación las imágenes sean evaluadas con y sin corrección de atenuación a fin de que el evaluador evidencie los artefactos que puedan surgir por la

propia corrección de atenuación (Figura 4). Además, la información funcional que provee el SPECT gatillado permite evidenciar la motilidad regional, algunos elementos adicionales para determinar la naturaleza de los defectos de captación o las zonas discordantes entre las imágenes con y sin corrección de atenuación. En este sentido uno de los trabajos incluidos sugiere la utilidad para una mejoría en la precisión diagnóstica aún mayor, el análisis combinado de los datos obtenidos previos y posteriormente a la corrección de la atenuación, y no solamente comparar cuán efectivos son en el diagnóstico cada una por separado²⁴.

Por esta razón es recomendable incorporar información que incremente la sensibilidad, como el SPECT gatillado, que al evaluar la motilidad miocárdica permite determinar sectores que si bien pueden interpretarse como bien perfundidos tienen alteraciones en menos de la motilidad.

Cabe destacar que, solamente uno de los trabajos incluidos, no reporta diferencias significativas en especificidad ni sensibilidad luego de efectuada la corrección de la atenuación. Este tiene la particularidad de solo incluir mujeres como población de estudio así como un análisis completamente automatizado de las imágenes, sugiriendo la importancia del sesgo cuando la interpretación depende de sujetos experimentados total o parcialmente. Las pacientes de sexo femenino tienden a presentar con menor frecuencia artefactos de atenuación diafragmática en comparación con los hombres. Esto podría explicar en parte los hallazgos de este trabajo.

Se ha descrito que el procedimiento de corrección de atenuación por sí mismo puede generar artefactos en la imagen, y por lo tanto dificultar la interpretación de las imágenes (Fricke et al, 2004²⁷). Muchas veces estos artefactos se evidencian en el ápex y en la región anterior, y son generados por un error de coregistro entre el estudio SPECT y CT (Figura 4). La optimización del procesamiento de los estudios de perfusión miocárdica con corrección de atenuación podría posiblemente incrementar los rendimientos diagnósticos de la técnica y mejorar la detección de la enfermedad coronaria.

Además de las ventajas evidentes de utilizar equipos híbridos para realizar la corrección de atenuación en los estudios de perfusión miocárdica, existe una gran variedad de aplicaciones de la información del CT (score de calcio, angiografía CT, entre otros) que podría incorporarse a la valoración y optimizar el aporte diagnóstico de la técnica con el objetivo de mejorar el manejo clínico de los pacientes.

VIII) CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en la presente revisión bibliográfica podemos concluir que la corrección de la atenuación en el SPECT de perfusión miocárdica mediante tomografía computada, incrementa significativamente la especificidad diagnóstica de la enfermedad coronaria significativa, especialmente en territorios irrigados por la arteria coronaria derecha, y en pacientes con IMC elevado. Frecuentemente, este aumento de la especificidad, se acompañó de un descenso en la sensibilidad en el diagnóstico de la enfermedad coronaria, resultado que globalmente no modificaría la precisión diagnóstica.

IX) REFERENCIAS

1. Goff D, Lloyd-Jones DM, Bennet G, et al. **ACC/AHA Guideline on the Assessment of Cardiovascular Risk: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines.** *J Am Coll Cardiol*, 63(July), 2935–2959. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.11.005> <https://europepmc.org/articles/pmc4700825>
2. Piepoli, M. F., Hoes, A. W., Agewall, S., Albus, C., Brotons, C., Catapano, A. L. Gale, C. (2016). **2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice.** *European Heart Journal*, 37(29), 2315–2381. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw106>
3. Patton, J. A., & Turkington, T. G. (2008). **SPECT/CT physical principles and attenuation correction.** *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 36(1), 1–10. <https://doi.org/10.2967/jnmt.107.046839>
4. Verberne, H. J., Acampa, W., Anagnostopoulos, C., Ballinger, J., Bengel, F., De Bondt, P., Hesse, B. (2015). **EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision.** *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 42(12), 1929–1940. <http://doi.org/10.1007/s00259-015-3139-x>
5. Banzo, I., Pena, F. J., Allende, R. H., Quirce, R., & Carril, J. M. (2003). **Prospective clinical comparison of non-corrected and attenuation- and scatter-corrected myocardial perfusion spect in patients with suspicion of coronary artery disease.** *Nuclear Medicine Communications*, 24(9), 995–1002. <https://doi.org/10.1097/00006231-200309000-00008>
6. Dvorak, R. A., Brown, R. K. J., & Corbett, J. R. (2011). **Interpretation of SPECT/CT Myocardial Perfusion Images: Common Artifacts and Quality Control Techniques.** *RadioGraphics*, 31(7), 2041–2057. <https://doi.org/10.1148/rg.317115090>
7. Raza, H., Jadoon, L. K., Mushtaq, S., Jabeen, A., Maqbool, M., Ain, M. U., ... Memon, M. A. (2016). **Comparison of non-attenuation corrected and attenuation corrected myocardial perfusion SPECT.** *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 47(3), 783–792. <https://doi.org/10.1016/j.ejrm.2016.05.006>
8. Burrell, S., & MacDonald, A. (2006). **Artifacts and pitfalls in myocardial perfusion imaging.** *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 34(4), 193-211; quiz 212-214.
9. Patton, J. A., & Turkington, T. G. (2008). **SPECT/CT Physical Principles and Attenuation Correction.** *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 36(1), 1–10. <http://doi.org/10.2967/jnmt.107.046839>
10. Candell-Riera, J., Romero-Farina, G., Milá, M., Agudé-Bruix, S., & RECAVA (Red temática de enfermedades cardiovasculares) Research Study Group. (2008). **Low-dose dobutamine gated-SPECT analysis of left ventricular segmental wall thickening in ischemic cardiomyopathy.** *Revista Espanola de Cardiologia*, 61(10), 1061–1069. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18817682>

12. Thompson, Randall C., et al. **“Value of Attenuation Correction on ECG-Gated SPECT Myocardial Perfusion Imaging Related to Body Mass Index.”** *Journal of Nuclear Cardiology*, vol. 12, no. 2, 2005, pp. 195–202, doi:10.1016/j.nuclcard.2004.12.298.
13. Taneja S., et al. **“Synergistic impact of attenuation correction and gating in routine myocardial SPECT reporting: 2 year follow-up study”.** *Nuclear Medicine Communications* 2008, 29. London, UK. pp: 390-397.
14. Huang, Rui MD, et al. **“Hybrid SPECT/CT for Attenuation Correction of Stress Myocardial Perfusion Imaging”** *Clin Nucl Med* 2011;36: 344–349.
15. Clavijo, J. C., Belmar, R. F., Rodríguez, E. S., Apra, P. H., & Araya, J. G. (2018). **Influencia de la corrección de atenuación del SPECT- CT sobre el rendimiento diagnóstico para enfermedad coronaria . Correlación con coronariografía y análisis visual.**
16. Hendel, R. C., Berman, D. S., Cullom, S. J., Follansbee, W., Heller, G. V, Kiat, H., Mahmarian, J. J. (1999). **Multicenter clinical trial to evaluate the efficacy of correction for photon attenuation and scatter in SPECT myocardial perfusion imaging.** *Circulation*, 99(21), 2742–9. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.99.21.2742>
17. Genovesi, D., Giorgetti, A., Gimelli, A., Kusch, A., Tagliavia, I. D. A., Casagrande, M., Marzullo, P. (2011). **Impact of attenuation correction and gated acquisition in SPECT myocardial perfusion imaging: Results of the multicentre SPAG (SPECT Attenuation Correction vs Gated) study.** *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 38(10), 1890–1898. <https://doi.org/10.1007/s00259-011-1855-4>
18. Sharma, Punit, et al. **“Comparative Accuracy of CT Attenuation-Corrected and Non-Attenuation-Corrected SPECT Myocardial Perfusion Imaging.”** *Clinical Nuclear Medicine*, vol. 37, no. 4, 2012, pp. 332–38, doi:10.1097/RLU.0b013e31823ea16b.
19. Chong Xin, W., Liang Shao, X., Tao Wang, Y., Feng, J., Song Wang, X., Yang, L., ... Feng Wang, J. (n.d.). **Is there an incremental value to use myocardial perfusion imaging with or without CT attenuation for the diagnosis of coronary artery disease? A study in Chinese patients.** *J Nucl Med* (Vol. 21). Retrieved from www.nuclmed.gr
20. Huang, J.-Y., Yen, R.-F., Lee, W.-C., Huang, C.-K., Hsu, P.-Y., Cheng, M.-F., ... Wu, Y.-W. (2018). **Improved diagnostic accuracy of thallium-201 myocardial perfusion single-photon emission computed tomography with CT attenuation correction.** *Journal of Nuclear Cardiology*. <https://doi.org/10.1007/s12350-018-1230-y>
21. Duvernoy, C. S **Improved detection of left main coronary artery disease with attenuation-corrected SPECT.** *Journal of Nuclear Cardiology*, 7(6), 639–648. <https://doi.org/10.1067/mnc.2000.109454>
22. Bajén, M. T., Ricart, Y., Rodríguez-Gasén, a, Mora, J., Quintana, M. E., Benítez, a, ... Martín-Comín, J. (2007). **Clinical.**, Ficaró, E. P., Karabajakian, M. Z., Rose, P. A., & Corbett, J. R. (2000).

- Utility of attenuation correction with X-rays in myocardial perfusion SPECT studies.** Revista Espanola de Medicina Nuclear, 26(6), 359–366. [https://doi.org/10.1016/S1578-200X\(07\)70067-0](https://doi.org/10.1016/S1578-200X(07)70067-0)
23. Płachcińska, A., Włodarczyk, M., Kovacevic-Kuśmierk, K., Bieńkiewicz, M., Drożdż, J., Chiżyński, K., ... Kuśmierk, J. (2016). **Diagnostic performance of myocardial perfusion single-photon emission computed tomography with attenuation correction.** Kardiologia Polska (Polish Heart Journal), 74(1), 32–39. <https://doi.org/10.5603/KP.a2015.0100>
24. Xu Y., et al. **“Combined quantitative analysis of attenuation corrected and non.corrected myocardial perfusión SPECT: Method development and clinical validation”** American Society of Nuclear Cardiology. Los Angeles, 2010. P 591-599, doi: 10.1007/s12350-010-9220-8
25. Wolak, A., Slomka, P. J., Fish, M. B., Lorenzo, S., Berman, D. S., & Germano, G. (2008). **Quantitative diagnostic performance of myocardial perfusion SPECT with attenuation correction in women.** Journal of Nuclear Medicine : Official Publication, Society of Nuclear Medicine, 49(6), 915–922. <https://doi.org/10.2967/jnumed.107.049387>
26. Strauss, H. W., Douglas Miller, D., Wittry, M. D., Cerqueira, M. D., Garcia, E. V, Iskandrian, A. S. Machac, J. (n.d.). **Procedure Guideline for Myocardial Perfusion Imaging 3.3***. <https://doi.org/10.2967/jnmt.108.056465>
27. Fricke, H., Fricke, E., Weise, R., Kammeier, A., Lindner, O., & Burchert, W. (2004). **A method to remove artifacts in attenuation-corrected myocardial perfusion SPECT Introduced by misalignment between emission scan and CT-derived attenuation maps.** Journal of Nuclear Medicine : Official Publication, Society of Nuclear Medicine, 45(10), 1619–1625. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15471824>

X) TABLAS

TABLA 1: DIFERENCIAS GLOBALES EN LA ESPECIFICIDAD, SENSIBILIDAD Y PRESICION EN ESTUDIOS CA Y NCA									
Autores	Título	Año	n	CA			NCA		
				GLOBAL					
				E	S	P	E	S	P
Huang J, et al.	Improved diagnostic accuracy of thallium 201 myocardial perfusion single-photon emission computed tomography with CT attenuation correction	2018	108	78 *	82	84*	57*	79	77*
Clavijo J C, et al.	Influencia de la corrección de atenuación del SPECT- CT sobre el rendimiento diagnóstico para enfermedad coronaria. Correlación con coronariografía y análisis visual	2018	20	75*	88	80	50*	88	80
Chong Xin W, et al	Is there an incremental value to use myocardial perfusion imaging with or without CT attenuation for the diagnosis of coronary artery disease? A study in Chinese patients	2018	181	86.9*	52.7*	72.9*	55.1*	75.7*	63.5*
Plachcinnaska A, et al.	Diagnostic performance of myocardial perfusion single photon emission computed tomography with attenuation correction	2016	107	86*	79	83*	63*	83	71*
Raza H, et al.	Comparison of non-attenuation corrected and attenuation corrected myocardial perfusion SPECT	2016	102	11*	65*	68	77*	100*	78
Sharma P, et al.	Comparative Accuracy of CT Attenuation-Corrected and Non-Attenuation-corrected SPECT Myocardial Perfusion Imaging (Lector 1/Lector 2)	2012	171	91.7/94.5*	50/56	29/25.8	84.1/89.4	50/43.2	70.7/69.5
Genovesi D, et al.	Impact of attenuation correction and gated acquisition in SPECT myocardial perfusion imaging: Results of the multicentre SPAG (SPECT Attenuation Correction vs Gated) study	2011	104	81.4*	75.4*	86.5*	93*	82*	77*
Huang R, et al.	Hybrid SPECT/CT for Attenuation Correction of Stress Myocardial Perfusion Imaging	2011	99	79*	91.9	83.8*	62.9*	94.6	74.7*
Xu Y, et al.	Combined quantitative analysis of attenuation corrected and non.corrected myocardial perfusión SPECT: Method development and clinical validation	2010	650	70*	84	80	65*	83	77

n: número de pacientes incluido en cada trabajo. CA: corrección atenuación. NCA: no corrección atenuación. E: especificidad. S: sensibilidad. P: Precisión. La diferencia estadísticamente significativa se marca en cada caso (*). El umbral estadístico utilizado en todos los artículos es p<0.05.

TABLA 1: CONTINUACIÓN									
Autores	Título	Año	n	CA			NCA		
				GLOBAL					
				E	S	P	E	S	P
Taneja S, et al.	Synergistic impact of attenuation correction and gating in routine myocardial SPECT reporting: 2 year follow-up study	2008	141	91*	71	-	82*	62	-
Wolak A, et al.	Quantitative Diagnostic Performance of Myocardial Perfusion SPECT with Attenuation Correction in Women	2008	114	73	81	78	73	80	77
Bajen M T, et al.	Clinical utility of attenuation correction with X-rays in myocardial perfusion SPECT studies	2007	62	93*	-	-	74.8*	-	-
Thompson, et al	Value of attenuation Correction on ECG-Gated SPECT Myocardial Perfusion Imaging Related to Body Mass Index	2005	116	78.6*	86	84	50*	88	79
Banzo L, et al	Prospective clinical comparison of non-corrected and corrected attenuation, and scatter-corrected myocardial perfusion spect in patients	2003	607	71*	76*	-	46*	92*	-
Duvernoy C S, et al.	Improved detection of left main coronary artery disease with attenuation-corrected SPECT	2000	62	-	64*	-	14*	7*	-
Hendel RC, et al.	Multicenter clinical trial to evaluate the efficacy of correction for photon attenuation and scatter in SPECT myocardial perfusion imaging	1999	96	76	70	-	75	74	-

n: número de pacientes incluido en cada trabajo. CA: corrección atenuación. NCA: no corrección atenuación. E: especificidad. S: sensibilidad. P: Precisión. La diferencia estadísticamente significativa se marca en cada caso (*) El umbral estadístico utilizado en todos los artículos es $p < 0.05$.

TABLA 2: DIFERENCIAS POR TERRITORIO VASCULAR EN ESPECIFICIDAD, SENSIBILIDAD Y PRESICION EN ESTUDIOS CA Y NCA									
Autores	Título	Año	n	CA			NCA		
				POR TERRITORIO VASCULAR			POR TERRITORIO VASCULAR		
				E	S	P	E	S	P
Huang J, et al.	Improved diagnostic accuracy of thallium 201 myocardial perfusion single-photon emission computed tomography with CT attenuation correction	2018	108	CD 70*	CD 73*	CD 7	CD 48*	CD 84*	CD 66
				C 76*	C 70	C 73*	C 59*	C 73	C 66*
				ADA 56*	ADA 93	ADA 75*	ADA 39*	ADA 93	ADA 66*
Clavijo JC, et al.	Influencia de la corrección de atenuación del SPECT- CT sobre el rendimiento diagnóstico para enfermedad coronaria. Correlación con coronariografía y análisis visual	2018	20	-	-	-	-	-	-
Chong Xin W, et al	Is there an incremental value to use myocardial perfusion imaging with or without CT attenuation for the diagnosis of coronary artery disease? A study in Chinese patients	2018	181	CD 93*	CD 26*	CD 74*	CD 64*	CD 60*	CD 63*
				C 99	C 25	C 83	C 96.5	C 38.5	C 84
				ADA 90	ADA 38	ADA 71	ADA 86	ADA 43.4	ADA 70.2
Plachcinnnska A, et al.	Diagnostic performance of myocardial perfusion single photon emission computed tomography with attenuation correction	2016	107	CD 88*	CD 65	CD 83*	CD 73*	CD 78	CD 74*
				C 96	C 17	C 92	C 96	C 50	C 93
				ADA 92	ADA 71	ADA 87*	ADA 87	ADA 54	ADA 79*
Raza H, et al.	Comparison of non-attenuation corrected and attenuation corrected myocardial perfusion SPECT	2016	102	CD 79*	CD 55	CD 73	CD 10*	CD 88	CD 28
				C 58	C 71	C 63	C 45	C 92	C 63
				ADA 94	ADA 57	ADA 73	ADA 88	ADA 61	ADA 73
Sharma, P et al.	Comparative Accuracy of CT Attenuation-Corrected and Non-Attenuation-corrected SPECT Myocardial Perfusion Imaging (Lector 1/Lector 2)	2012	171	CD 91/94	CD 29/25	CA 69/69	CD 84/89	CD 50/43	CD 71/71
				C 94/93	C 21/26	C 66/67	C 97/88	C 23/32	C 67/66
				ADA 94/91	ADA 45/51	ADA 65/67	ADA 86/90	ADA 40/49	ADA 58/66
Genovesi D, et al.	Impact of attenuation correction and gated acquisition in SPECT myocardial perfusion imaging: Results of the multicentre SPAG (SPECT Attenuation Correction vs Gated) study	2011	104	CD 98	CD 71	CD 87	CD 70	CD 79	CD 87
				C 86*	C 58*	C 86*	C 96*	C 79	C 86*
				ADA 89*	ADA 63*	ADA 76*	ADA 89*	ADA 92	ADA 90*
Huang R, et al.	Hybrid SPECT/CT for Attenuation Correction of Stress Myocardial Perfusion Imaging	2011	99	CD 98*	CD 72	-	CD 77*	CD 90	-
				C 90	C 90	-	C 93	C 86	-
				ADA 82*	ADA 93	-	ADA 94*	ADA 87	-

n: número de pacientes incluido en cada trabajo. CA: corrección atenuación. NCA: no corrección atenuación. E: especificidad. S: sensibilidad. P: Precisión. CD: arteria coronaria derecha. C: arteria circunflejo. ADA: arteria descendente anterior. TCI: tronco de la coronaria izquierda. La diferencia estadísticamente significativa se marca en cada caso (*) El umbral estadístico utilizado en todos los artículos es p<0.05.

TABLA 2: CONTINUACIÓN									
Autores	Título	Año	n	CA			NCA		
				POR TERRITORIO VASCULAR			POR TERRITORIO VASCULAR		
				E	S	P	E	S	P
Xu, Y, et al.	Combined quantitative analysis of attenuation corrected and non.corrected myocardial perfusión SPECT: Method development and clinical validation”	2010	650	-	-	-	-	-	-
Taneja S, et al.	Synergistic impact of attenuation correction and gating in routine myocardial SPECT reporting: 2 year follow-up study”	2008	141	-	-	-	-	-	-
Wolak A, et al.	“Quantitative Diagnostic Performance of Myocardial Perfusion SPECT with Attenuation Correction in Women”	2008	114	-	-	-	-	-	-
Bajen M T, et al.	Clinical utility of attenuation correction with X-rays in myocardial perfusion SPECT studies	2007	62	CD 82 C 100 ADA 74	CD 84 C 55 ADA 82	CD 83* C 86 ADA 78	CD 38 C 92 ADA 93	CD 96 C 55 ADA 79	CD 63 C 81 ADA 86
Thompson, et al	Value of attenuation Correction on ECG-Gated SPECT Myocardial Perfusion Imaging Related to Body Mass Index	2005	116	-	-	-	-	-	-
Banzo L, et al	Prospective clinical comparison of non-corrected and corrected attenuation, and scatter-corrected myocardial perfusion spect in patients	2003	607	CD 85* C 94 ADA 74	CD 79 C 64 ADA 70	-	CD 44* C 92 ADA 82	CD 96 C 72 ADA 75	-
Duvernoy C S, et al.	Improved detection of left main coronary artery disease with attenuation-corrected SPECT.	2000	62	TCI 94	TCI 75 CI 80* CD 72*	TCI 77*	TCI 100	TCI 14	TCI 61
Hendel RC, et al.	“Multicenter clinical trial to evaluate the efficacy of correction for photon attenuation and scatter in SPECT myocardial perfusion imaging”.	1999	96	CD 78* C 82 ADA 70	CD 56 C 38 ADA 58	-	CD 30* C 80 ADA 61	CD 78 C 30 ADA 62	-

n: número de pacientes incluido en cada trabajo. CA: corrección atenuación. NCA: no corrección atenuación. E: especificidad. S: sensibilidad. P: Precisión. CD: arteria coronaria derecha. C: arteria circunfleja. ADA: arteria descendente anterior. TCI: tronco de la coronaria izquierda. La diferencia estadísticamente significativa se marca en cada caso (*) El umbral estadístico utilizado en todos los artículos es p<0.05.

TABLA 3: DIFERENCIAS DE ESPECIFICIDAD, SENSIBILIDAD Y PRESICION EN ESTUDIOS CA Y NCA DEPENDIENTES DEL IMC

Autores	Título	Año	n	CA			NCA		
				IMC			IMC		
				E	S	P	E	S	P
Huang J., et al.	Improved diagnostic accuracy of thallium 201 myocardial perfusion single-photon emission computed tomography with CT attenuation correction	2018	108	IMC>27 58 IMC<27 67	IMC>27 95 IMC<27 98	IMC>27 76 IMC<27 82*	IMC>27 26* IMC<27 48	IMC>27 95 IMC<27 98	IMC>27 6* IMC<27 73*
Clavijo J.C, et al.	Influencia de la corrección de atenuación del SPECT-CT sobre el rendimiento diagnóstico para enfermedad coronaria . Correlación con coronariografía y análisis visual.	2018	20	-	-	-	-	-	-
Chong Xin W, et al	Is there an incremental value to use myocardial perfusion imaging with or without CT attenuation for the diagnosis of coronary artery disease? A study in Chinese patients.	2018	181	IMC>24 88* IMC<24 84	IMC>24 49* IMC<24 60	IMC>24 71.8* IMC<24 75	IMC>24 48* IMC<24 66	IMC>24 71* IMC<24 84	IMC>24 58* IMC<24 73
Plachcinnska A., et al.	Diagnostic performance of myocardial perfusion single photon emission computed tomography with attenuation correction".	2016	107	-	-	-	-	-	-
Raza, H, et al.	Comparison of non-attenuation corrected and attenuation corrected myocardial perfusion SPECT	2016	102	IMC>25 80 IMC<25 78	IMC>25 0 IMC<25 55.56	IMC>25 80 IMC<25 69	IMC>25 6 IMC<25 14	IMC>25 100 IMC<25 88	IMC>25 6 IMC<25 43
Sharma, P et al.	Comparative Accuracy of CT Attenuation-Corrected and Non-Attenuation-corrected SPECT Myocardial Perfusion Imaging(Lector 1/Lector 2)	2012	171	-	-	-	-	-	-

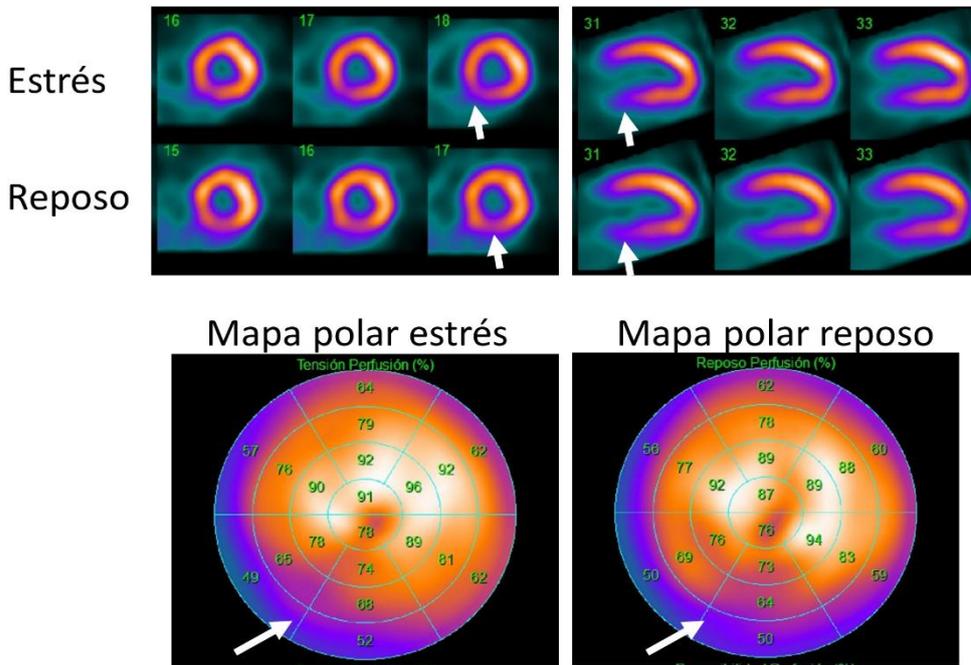
IMC: índice de masa corporal. n: número de pacientes incluido en cada trabajo. CA: corrección atenuación. NCA: no corrección atenuación. E: especificidad. S: sensibilidad. P: Precisión. La diferencia estadísticamente significativa se marca en cada caso (*) El umbral estadístico utilizado en todos los artículos es p<0.05.

TABLA 3: CONTINUACIÓN									
Autores	Título	Año	n	CA			NCA		
				IMC			IMC		
				E	S	P	E	S	P
Genovesi. D, et al.	Impact of attenuation correction and gated acquisition in SPECT myocardial perfusion imaging: Results of the multicentre SPAG (SPECT Attenuation Correction vs Gated) study	2011	104	IMC>27 100*	IMC>27 80*	IMC>27 90*	IMC>27 66*	IMC>27 80*	IMC>27 72*
Huang R, et al.	Hybrid SPECT/CT for Attenuation Correction of Stress Myocardial Perfusion Imaging	2011	99	-	-	-	-	-	-
Xu Y, et al.	Combined quantitative analysis of attenuation corrected and non.corrected myocardial perfusión SPECT: Method development and clinical validation”	2010	650	IMC>30 82*	IMC>30 86	IMC >30 84*	IMC>30 74*	IMC>30 84	IMC>30 79; IMC<30 84
Taneja S, et al.	Synergistic impact of attenuation correction and gating in routine myocardial SPECT reporting: 2 year follow-up study	2008	141	-	-	-	-	-	-
Wolak A., et al.	Quantitative Diagnostic Performance of Myocardial Perfusion SPECT with Attenuation Correction in Women	2008	114	-	-	-	-	-	-
Bajen M T, et al.	Clinical utility of attenuation correction with X-rays in myocardial perfusion SPECT studies	2007	62	-	-	-	-	-	-
Thompson, et al	Value of attenuation Correction on ECG-Gated SPECT Myocardial Perfusion Imaging Related to Body Mass Index	2005	116	IMC>30 76*	IMC>30 82	IMC>30 80	IMC>30 41*	IMC>30 87	IMC>30 73 IMC<30 85
Banzo L., et al	Prospective clinical comparison of non-corrected and corrected attenuation, and scatter- corrected myocardial perfusion spect in patients	2003	607	-	-	-	-	-	-
Duvernoy C S, et al.	Improved detection of left main coronary artery disease with attenuation-corrected SPECT	2000	62	-	-	-	-	-	-
Hendel RC, et al.	Multicenter clinical trial to evaluate the efficacy of correction for photon attenuation and scatter in SPECT myocardial perfusion imaging	1999	96	-	-	-	-	-	-

IMC: índice de masa corporal. n: número de pacientes incluido en cada trabajo. CA: corrección atenuación. NCA: no corrección atenuación. E: especificidad. S: sensibilidad. P: Precisión. La diferencia estadísticamente significativa se marca en cada caso (*) El umbral estadístico utilizado en todos los artículos es p<0.05.

XI) FIGURAS

SIN CORRECCIÓN DE ATENUACIÓN



CON CORRECCIÓN DE ATENUACIÓN

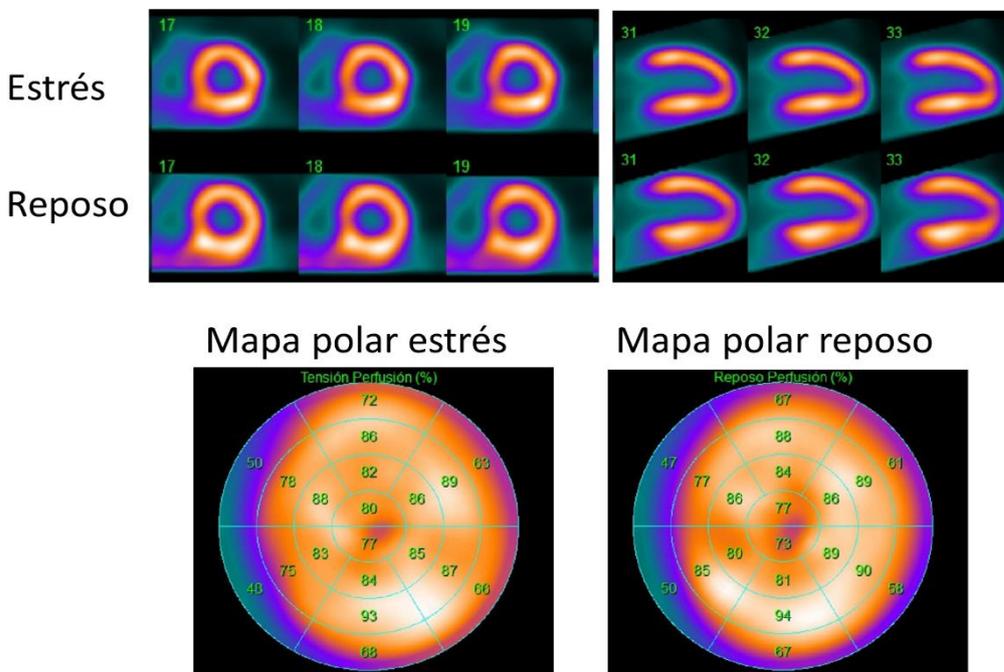
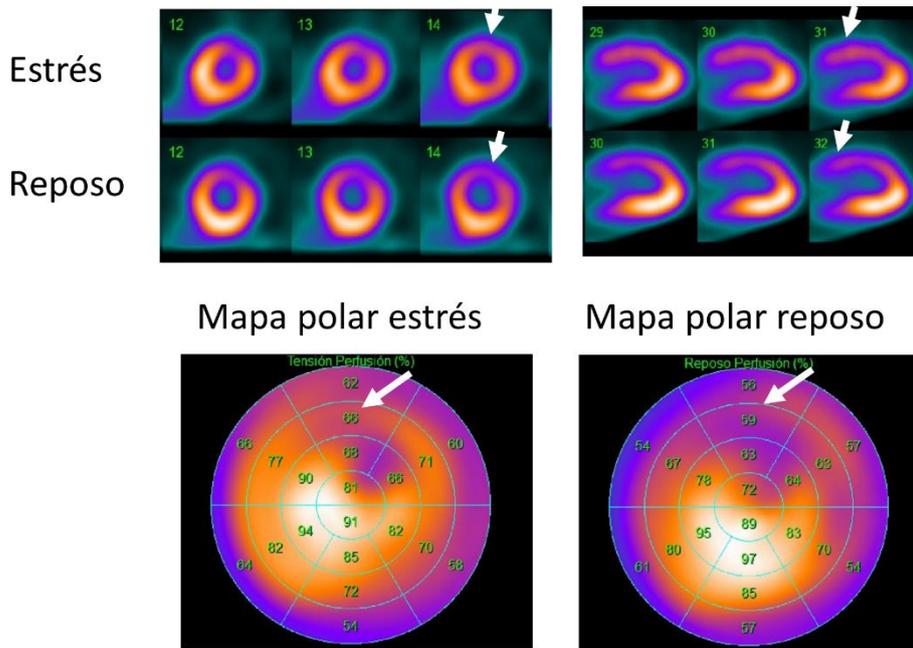


FIGURA 1: comparación de imágenes obtenidas con y sin atenuación en un paciente de 64 años, sexo masculino, donde el estudio sin corrección de la atenuación muestra un defecto de captación en la región inferior (flechas blancas) que revierte al aplicar la corrección de la atenuación por TC. El defecto probablemente corresponda a atenuación diafragmática.

SIN CORRECCIÓN DE ATENUACIÓN



CON CORRECCIÓN DE ATENUACIÓN

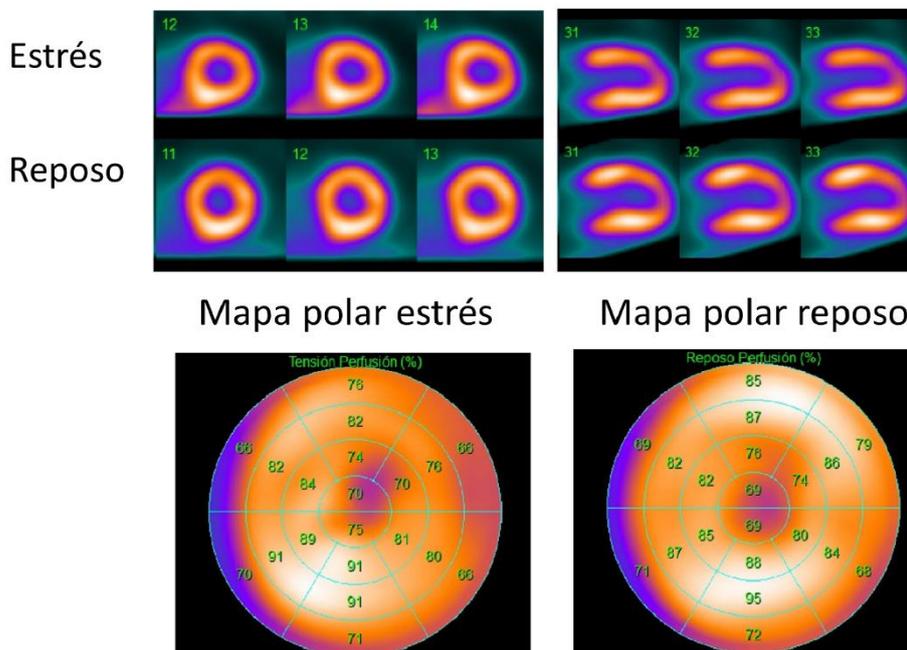


FIGURA 2: comparación de imágenes obtenidas con y sin atenuación en una paciente de 50 años, sexo femenino, donde el estudio sin corrección de la atenuación evidencia un defecto de captación en la región anterior (flechas blancas) que revierte al aplicar la corrección de la atenuación por TC. El defecto puede corresponder en parte a un artefacto por atenuación mamaria.

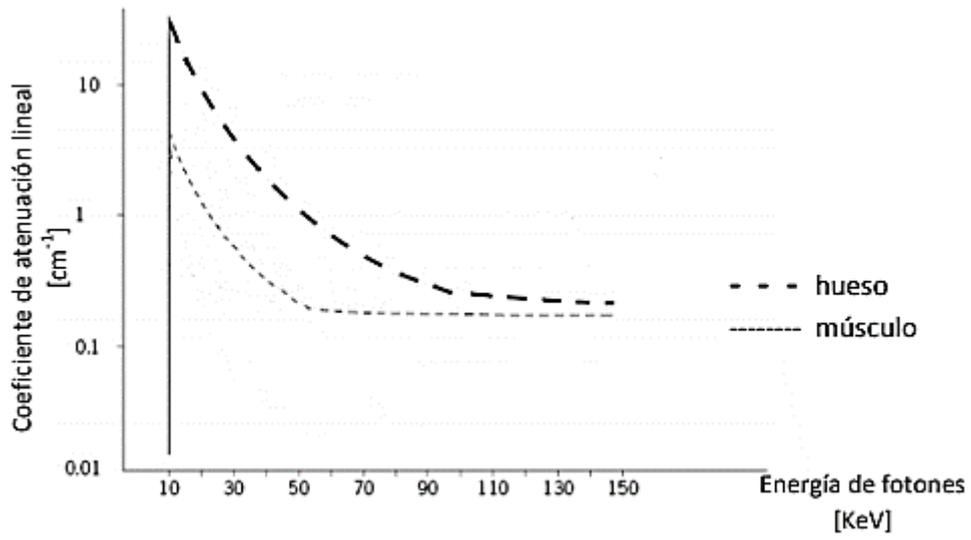


FIGURA 3: Variaciones del coeficiente de atenuacion en funcion de la energia

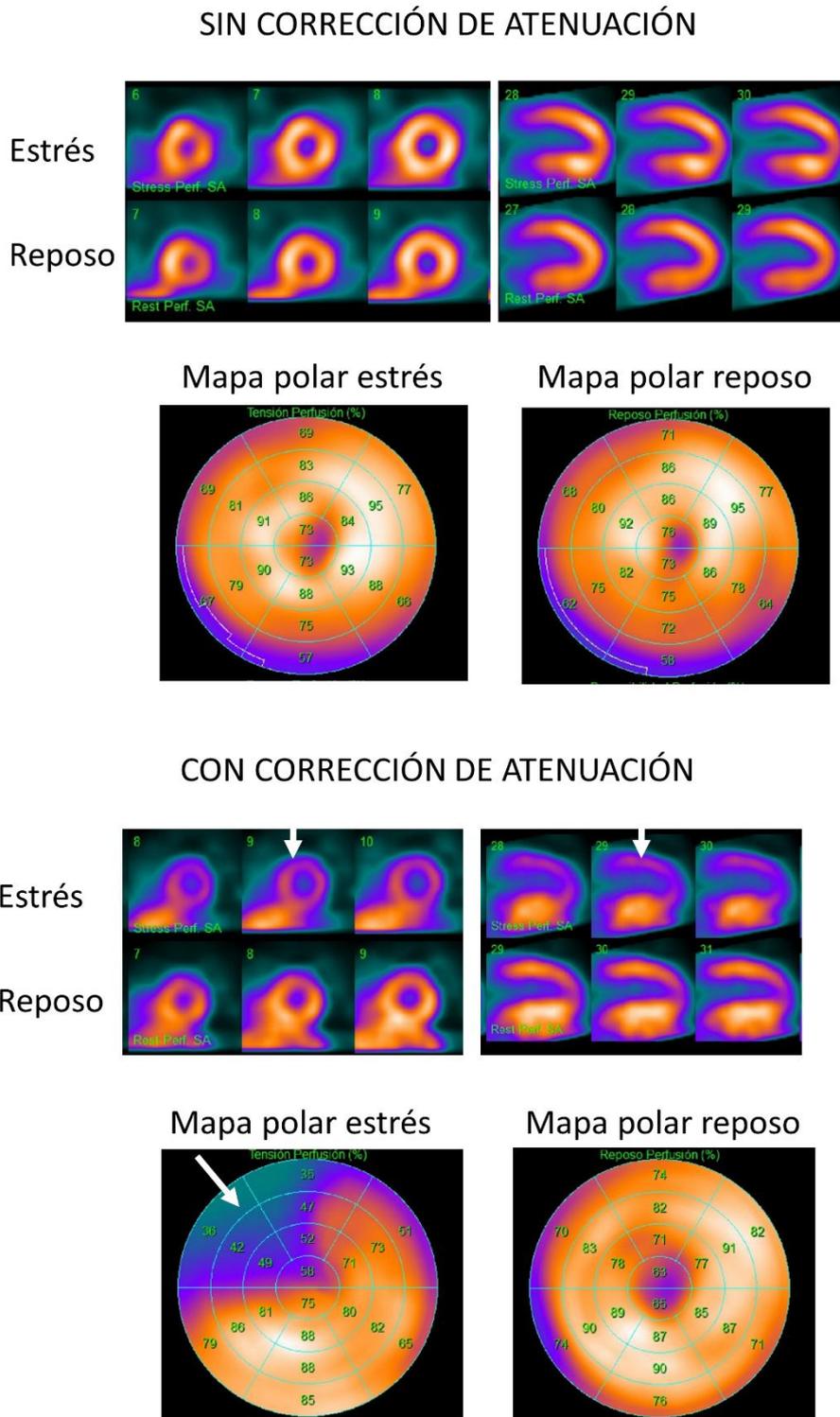


FIGURA 4: comparación de imágenes obtenidas con y sin atenuación en una paciente de 56 años, sexo femenino, donde el estudio sin corrección de la atenuación no muestra claros defectos en la captación. En las imágenes con corrección de la atenuación se evidencia un defecto reversible en a región anteroseptal y anterior (flechas blancas) que probablemente correspondan a una imagen artefactual por mal coregistro entre SPECT y CT