

MATERIA 2 LECCIÓN 5

DIAGNÓSTICO POR LA IMAGEN EN CARDIOLOGÍA

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

El equipo de detección en medicina nuclear lo constituye la gammacámara (Figura 1). Este aparato permite analizar de forma continua la distribución del trazador en un área del organismo y estudiar sus modificaciones en función del tiempo. El comportamiento bioquímico y fisiopatológico del trazador que se emplee, la energía de emisión radiactiva, la forma y el momento de su administración (en reposo, con estrés) y la detección y el tratamiento informático de los datos obtenidos son las variables que condicionan los diferentes tipos de exploraciones que se engloban dentro de la denominación de cardiología nuclear y que se resumen en la tabla I. La baja dosimetría derivada de estas exploraciones determina su escasa agresividad para el paciente y la posibilidad de su repetición en el tiempo¹.



Figura 1. Gammacámara para tomografía por emisión de fotones simples (SPECT: Single Photon Emission Computed Tomography) equipada con cabezales adyacentes a 90 grados.

1. ESTUDIO DE LA PERFUSIÓN MIOCÁRDICA

1.1. TOMOGRAFÍA CON EMISORES DE POSITRONES (PET: POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY).

El método para estudiar cuantitativamente el **flujo sanguíneo tisular y el estado metabólico del miocardio** in vivo es la tomografía con emisores de positrones (PET: Positron Emission Tomography)². Estos radionúclidos se caracterizan por dos aspectos fundamentales: 1) la emisión e inmediata aniquilación de los positrones produce la generación de un par de fotones opuestos (180 grados) de energía más elevada (511 keV) que los fotones gamma convencionales, y 2) son radioisótopos de elementos normalmente presentes en la biología

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

Tabla I
Principales exploraciones isotópicas en Cardiología

Radiofármaco	Radionúclido
Ventriculografía de primer paso DTPA y cualquier compuesto marcado con 99mTc	Tecnecio-99m
Ventriculografía en equilibrio Hematíes Albúmina	Tecnecio-99m
Perfusión miocárdica Cloruro de talio Isonitrilos (MIBI) Tetrofosmina Amoníaco (PET) Agua (PET) Rubidio-82 (PET) Fluorpiridaz	Talio-201 Tecnecio-99m Tecnecio-99m Nitrógeno-13 Oxígeno-15 Rubidio-82b Fluor-18
Lesión miocárdica Fosfatos Anticuerpos antimiosina	Tecnecio-99m Indio-111
Metabolismo miocárdico Ácidos grasos Ácidos grasos (PET) Desoxiglucosa (PET)	Yodo-123 Carbono-11 Fluor-18
Inervación simpática Metayodobenzilguanidina	Yodo-123

DTPA: Ácido dietil-tetraamino-penta-acético; MIBI: Metoxi-isobutil-isonitrilo; PET: Tomografía con emisores de positrones.

humana: carbono (^{11}C), nitrógeno (^{13}N), oxígeno (^{15}O). Los radiofármacos más empleados en cardiología son el ^{11}C para marcar sustratos energéticos como los ácidos grasos y el acetato, el flúor-18 (^{18}F) para marcar un análogo de la glucosa (^{18}F -fluorodesoxiglucosa); como trazadores de flujo se emplean el ^{13}N para el amonio, el ^{15}O para el agua, el rubidio-82 (^{82}Rb) y el ^{18}F -fluorpiridaz. Su producción en instalaciones complejas (ciclotrón), su muy corta vida media (de escasos minutos a 2 h como máximo) y los sistemas de detección muy especializados encarecen la técnica y limitan su aplicación en la clínica.

1.2. TOMOGRAFÍA CON EMISORES DE FOTONES SIMPLES

En la actualidad se utilizan dos tipos de trazadores para el estudio de la **perfusión miocárdica** con emisores gamma convencionales de fotón único (SPECT: Single Photon Emission Computed Tomography): el **talio-201** en forma de cloruro y el **tecnecio-99m** marcando los isonitrilos o la tetrofosmina³.

1.2.1. Talio-201

El **talio-201**, elemento metálico con un comportamiento biológico similar al potasio, es un producto de ciclotrón con un **período de semidesintegración de 73 h**. Tras su administración intravenosa **se incorpora al**

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

miocardio dependiendo del flujo coronario y de la integridad celular. La incorporación a la célula miocárdica se produce básicamente a través de la bomba sodio-potasio ATPasa. Otros dos factores que condicionan la concentración del talio en el miocito son su propia desintegración, que es poco significativa durante las 3 o 4 h que dura el estudio, y el retorno progresivo o lavado del talio al flujo sanguíneo. Este lavado es un proceso de equilibrio que depende de la diferencia de concentraciones del talio entre el espacio intracelular, el extracelular y el intravascular, de forma que los territorios mejor irrigados presentan un lavado mucho más rápido que los isquémicos.

La incorporación del talio al miocito, en condiciones de integridad celular, es directamente proporcional al flujo coronario y aumenta en condiciones de hiperemia y de mayor consumo de oxígeno, como sucede durante el ejercicio o con la administración de fármacos vasodilatadores como el dipiridamol o la adenosina. En condiciones normales, el pico de máxima concentración miocárdica de talio se produce precozmente: durante el primer minuto se incorpora ya un 80% del máximo y entre los 20 y 25 minutos se alcanza el pico máximo. Pero en los territorios isquémicos esta incorporación es menor y más tardía. Una vez alcanzada la máxima concentración intracelular de talio comienza el proceso de redistribución, que se explica por el equilibrio que se establece entre los territorios que presentan diferente concentración: la del espacio intravascular que lo pierde en favor de las principales vías de eliminación (renal y biliar) y la del espacio intracelular que, dependiendo de su concentración previa, tiende a alcanzar la concentración de equilibrio con el espacio intravascular en condiciones de reposo.

El protocolo de exploración se realiza, en general, junto con una prueba de esfuerzo o de provocación (dipiridamol, adenosina, dobutamina) cuando el paciente no puede realizar ejercicio físico^{4,5}. Se inyecta la dosis endovenosa de talio-201 en el momento del máximo estrés, que debe prolongarse unos 30-60 segundos más. La detección de las imágenes topográficas post-esfuerzo debe comenzar entre 5 y 10 minutos después de la inyección de la dosis. Tras un período de 3-4 horas se repite la detección (imágenes de redistribución) sin necesidad de inyectar nueva dosis del radiofármaco.

Los defectos segmentarios de perfusión consisten en la presencia de una hipoactividad regional en las imágenes correspondientes al estrés. Esta actividad es tanto más acusada cuanto mayor es la isquemia. Su comportamiento posterior en las imágenes de redistribución permitirá la clasificación de estos defectos. Cuando el defecto que se observa en las imágenes de estrés es totalmente reversible en las imágenes de redistribución, corresponde a isquemia miocárdica y se define como patrón de reversibilidad total. El patrón de reversibilidad parcial (defecto en estrés parcialmente reversible en las imágenes de redistribución) puede corresponder a una isquemia más intensa o a una isquemia residual post-infarto. El patrón de reversibilidad nula (defecto en estrés que persiste idéntico en las imágenes de redistribución) corresponde a necrosis.

1.2.2. Compuestos marcados con tecnecio-99m

La SPECT de perfusión miocárdica con compuestos marcados con tecnecio-99m es una técnica que, en muchos centros, ha desplazado al talio-201. Dada la mayor energía de la radiación gamma del tecnecio-99m, la atenuación secundaria a la interposición de otros órganos durante la detección (mama, diafragma) es mucho menor que con el talio-201. El metoxiisobutilisonitrilo (MIBI) y la tetrofosmina marcados con tecnecio-99m son los compuestos que mejores propiedades biológicas presentan para su aplicación clínica. Se trata de compuestos lipófilos con gran afinidad miocárdica, cuya captación se realiza por difusión a través de la membrana celular e incorporación mitocondrial, siendo proporcional también al flujo coronario. No presentan prácticamente el fenómeno de redistribución por lo que, en la práctica, es necesario efectuar dos inyecciones separadas: una al final de la prueba de estrés y otra en reposo. Las imágenes tomográficas obtenidas con estos compuestos son de gran calidad. Su sensibilidad y especificidad son claramente superiores a las de la prueba de esfuerzo convencional. La SPECT de perfusión miocárdica está indicada en situaciones en las que existe discrepancia entre el cuadro clínico del paciente y el resultado de la ergometría convencional (pacientes asintomáticos con prueba de esfuerzo positiva y pacientes con dolor sugestivo y prueba de esfuerzo negativa) o bien los enfermos con ECG anormales en condiciones basales que no permitan una correcta valoración de su respuesta al ejercicio. En muchas ocasiones interesa practicar esta técnica como complemento de la coronariografía, para conocer la repercusión funcional de una lesión coronaria determinada, detectar la lesión

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

«culpable» cuando en la coronariografía existe enfermedad de varios vasos o **valorar la viabilidad miocárdica**, y en la valoración pronóstica y de seguimiento de la cardiopatía isquémica.

El incremento en la capacidad y velocidad de los ordenadores dedicados al procesamiento de los estudios de cardiología nuclear hace posible actualmente realizar la adquisición simultánea del ECG y de las imágenes que, una vez reconstruidas, proporcionan los cortes tomográficos. Con esta técnica, denominada **gated-SPECT**, es posible obtener una representación de los diferentes cortes tomográficos del ventrículo izquierdo y su representación tridimensional durante todas las fases del ciclo cardíaco. La importancia de este procedimiento radica en que **permite evaluar la perfusión y la función del ventrículo izquierdo (contractilidad global y segmentaria y engrosamiento sistólico de la pared)** en una sola exploración y, en la actualidad, ya se aplica de forma sistemática en la mayoría de gabinetes de cardiología nuclear.

1.2.3. Análisis de las imágenes

Para estandarizar la tomografía cardíaca se han adoptado tres tipos de planos principales de corte: el llamado de eje largo vertical, paralelo al septum interventricular y que sigue el eje largo del corazón; el plano de eje largo horizontal, perpendicular al anterior y el plano de eje corto, perpendicular a los dos anteriores (Figura 2). El ventrículo izquierdo se divide en **17 segmentos** que pueden representarse en los denominados mapas polares según el consenso de la American Heart Association, American College of Cardiology, American Society of Nuclear Cardiology y la American Society of Nuclear Medicine⁶ (Figura 3).

Figura 2. Esquema de la reorientación espacial de los ejes del corazón al realizar la reconstrucción. EC: Eje corto, ELH: Eje largo horizontal, ELV: Eje largo vertical.

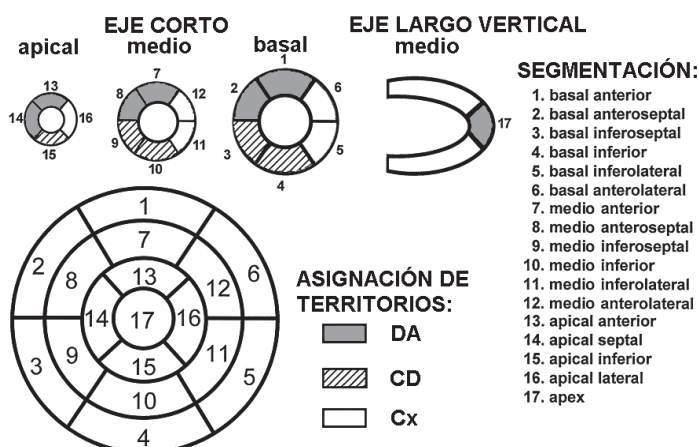
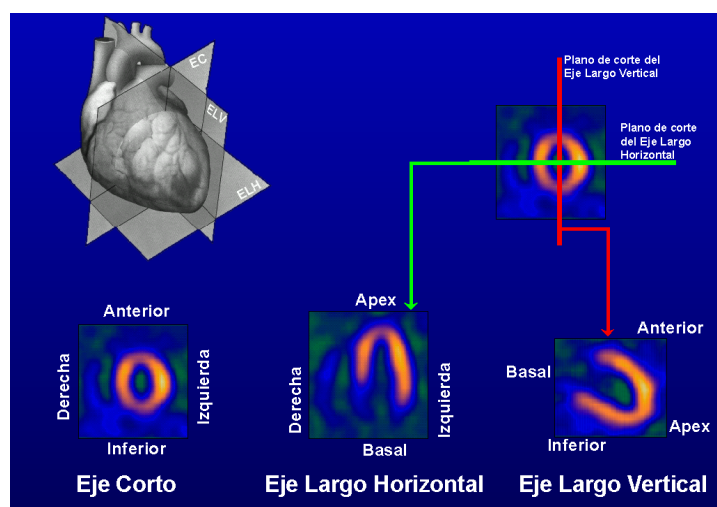


Figura 3. Esquema de los 17 segmentos en los que se divide el ventrículo izquierdo en el mapa polar y su correspondencia con los territorios coronarios según la American Heart Association para su utilización por todas las técnicas de imagen cardíaca.

En una SPECT de perfusión normal la captación del trazador es homogénea (Figura 4). Sin embargo en algunas ocasiones el número de cuentas puede estar disminuido en el ápex debido a que en esta zona el miocardio es más delgado. La distribución normal de la actividad ventricular se reparte de forma algo distinta en hombres y mujeres debido a la diferente distribución de las atenuaciones ocasionadas por el diafragma y la mama. En ambos sexos la máxima captación se localiza en la pared lateral y la menor en la región anterior e inferior. En las mujeres no suele existir una diferencia significativa entre los territorios anterior e inferior porque se equilibra la atenuación diafragmática con la mamaria, pero en los hombres puede existir una significativa diferencia entre ambos territorios atribuible a la atenuación del diafragma y a la ausencia del efecto atenuador de la mama en la cara anterior. Estas diferencias suelen corregirse al utilizar sistemas de corrección de la atenuación.

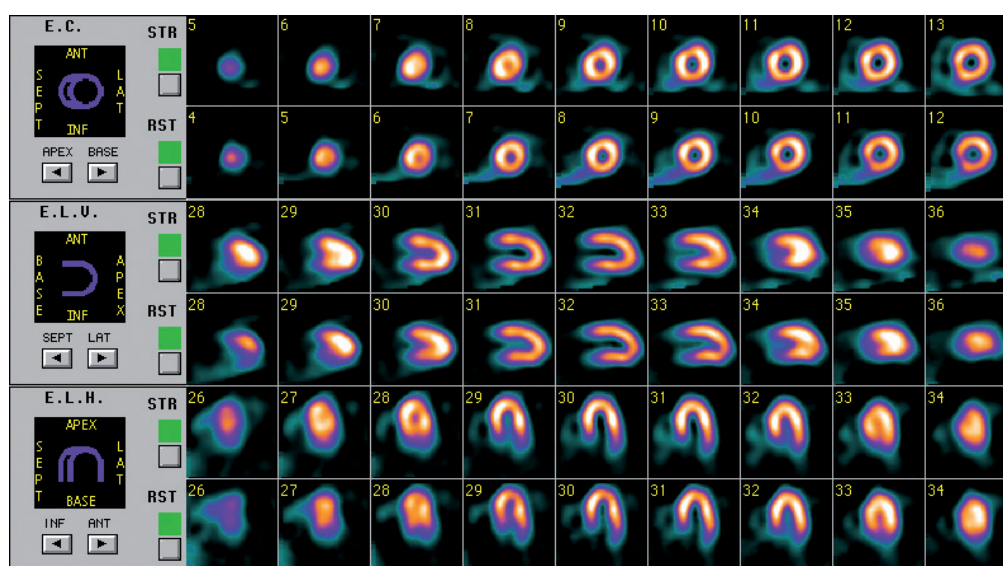


Figura 4. SPECT de perfusión miocárdica normal en estrés (STR) y reposo (RST). EC: Eje corto, ELH: Eje largo horizontal, ELV: Eje largo vertical.

Es importante tener presente que existen variaciones individuales en la distribución de las arterias coronarias epicárdicas⁷ (Figuras 5). La arteria descendente anterior irriga la pared anterior, el septum interventricular y, en general, el ápex. Según donde esté la lesión coronaria, el septum podrá quedar preservado de la isquemia. Es, en cambio, menos habitual la afectación del septum con preservación de la pared anterior por estenosis de las arterias septales. La disminución de flujo en las ramas diagonales se manifiesta como un defecto en el segmento medio de la pared anterior que respeta la región apical.

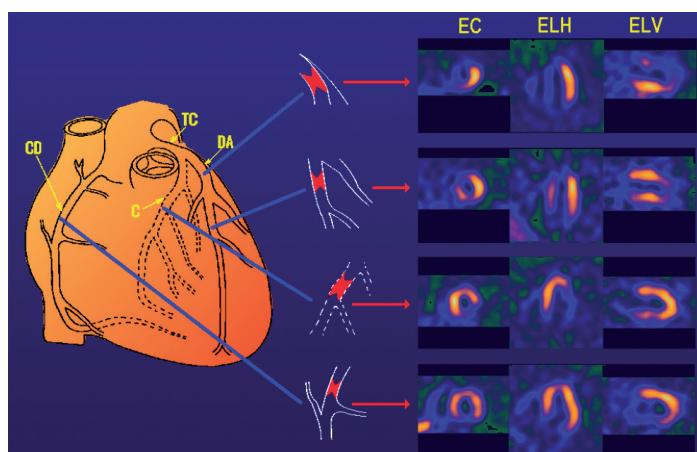


Figura 5. Localización de los defectos de perfusión correspondientes a la oclusión mediante balón de angioplastia de las principales arterias coronarias epicárdicas. De arriba abajo arteria descendente anterior (DA) proximal, DA media (por debajo de la primera rama septal), arteria circunfleja proximal (C) y coronaria derecha (CD). EC: Eje corto, ELH: Eje largo horizontal, ELV: Eje largo vertical.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

La región inferior distal y la porción inferior del septum pueden estar irrigadas por la arteria descendente anterior o bien por la descendente posterior, arteria que puede provenir de la circunfleja o de la coronaria derecha. En el 85% de la población, la coronaria derecha es dominante y da lugar a la descendente posterior que irriga la pared inferior del corazón y la región inferior y basal del septum. En el 15% restante la descendente posterior proviene de la circunfleja. Cuando la coronaria derecha es dominante, la circunfleja irriga las porciones basales de la cara lateral e inferior, la pared lateral es irrigada por las ramas marginales de esta arteria. Cuando la circunfleja es dominante puede afectar a la mitad infero-lateral y antero-lateral del ventrículo izquierdo. En general, pues, la pared anterior y el septum son zonas irrigadas por la descendente anterior y la pared lateral por la circunfleja, pero la cara inferior del corazón puede estar irrigada por la coronaria derecha o por la circunfleja. Por otra parte, los defectos apicales pueden corresponder a cualquiera de las arterias pero, en general, dependen de la arteria descendente anterior.

Los defectos de perfusión se valoran teniendo en cuenta las siguientes características: extensión, severidad, reversibilidad y afectación de uno o más territorios. En general existe una gradación de intensidad desde la normalidad (puntuación grado 0), la hipocaptación ligera (puntuación grado 1) o defecto leve, el defecto moderado (puntuación grado 2), el defecto severo (puntuación grado 3) y la ausencia de captación en las regiones en las que únicamente se aprecia actividad de fondo (puntuación grado 4). La reversibilidad se cataloga como total, parcial o nula (Figura 6), como se ha descrito en el apartado del talio-201.

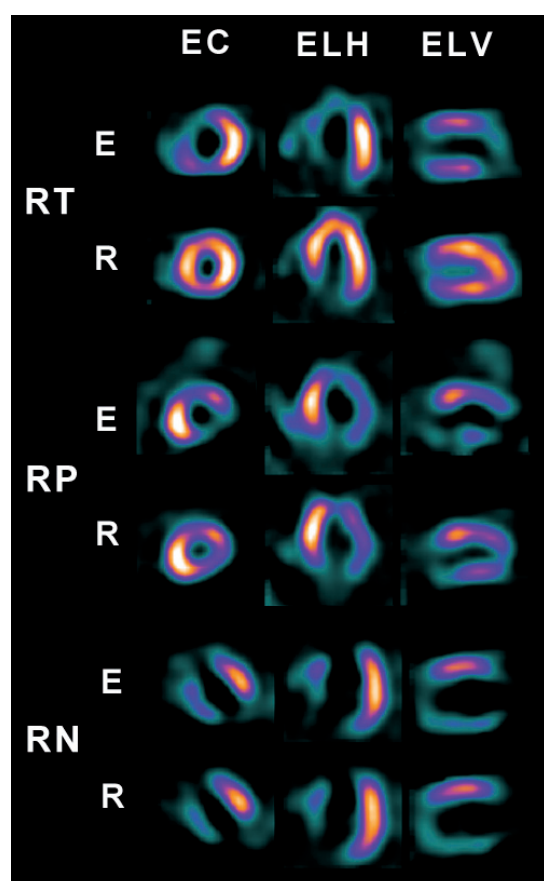


Figura 6. Defectos de perfusión con distintos grados de reversibilidad. Reversibilidad total: (RT): Defecto antero-septo-apical totalmente reversible. Reversibilidad parcial (RP): Defecto inferior y lateral parcialmente reversible. Reversibilidad nula (RN): Ausencia de captación antero-apical y defecto severo septal e inferior con ausencia de reversibilidad. E: Estrés, R: Reposo. EC: Eje corto, ELH: Eje largo horizontal, ELV: Eje largo vertical.

1.2.4. Defectos de perfusión de causa no aterosclerótica

La aterosclerosis coronaria es, con mucho, la causa más frecuente de isquemia miocárdica pero existen otras etiologías que pueden producir defectos reversibles en la SPECT de perfusión miocárdica, algunas de ellas incluso con dolor torácico y con cambios en el segmento ST indicativos de su origen cardíaco. Los falsos defectos de perfusión debidos a causas no isquémicas son los que tienen mayor trascendencia en la práctica.

Independientemente de los causados por problemas técnicos o por atenuación de tejidos existen otros defectos que están causados por sustitución del tejido miocárdico por tumores o por infiltración y por trastornos de conducción.

Se han descrito defectos de perfusión a nivel septal en los pacientes con bloqueo de rama izquierda. Este hecho podría estar relacionado con la alteración de la sincronía de tabique interventricular que puede observarse en el bloqueo de rama izquierda y que condicionaría unas menores necesidades metabólicas con la consiguiente reducción del flujo coronario. En estos pacientes se ha propuesto la utilización sistemática de dipiridamol o adenosina como maniobras de provocación por su mayor especificidad con respecto a la prueba de esfuerzo. Sin embargo, se ha observado que, mediante un análisis detallado de los defectos de perfusión, puede hacerse un mejor diagnóstico diferencial entre los defectos puramente septales, atribuibles al bloqueo de rama izquierda, y los defectos septales pero también antero-apicales correspondientes a las estenosis de la arteria descendente anterior⁸.

Entre los defectos de perfusión isquémicos de causa no aterosclerótica tienen interés los que podrían observarse en los pacientes con hipertrofia ventricular izquierda severa y/o asimétrica aunque la eficacia diagnóstica de la SPECT de perfusión es elevada también en los pacientes hipertensos y permite detectar la mayor parte de pacientes con enfermedad arterial coronaria significativa.

Otras posibles causas de defectos de perfusión de causa no aterosclerótica son las miocardiopatías dilatadas idiopáticas, las miocardiopatías hipertróficas, las miocardiopatías infiltrativas, el síndrome X, el puente coronario, el espasmo coronario, la ectasia/aneurisma de las coronarias, el origen anómalo coronario, la disección coronaria, la fístula coronaria, el embolismo coronario y la esclerodermia.

1.2.5. Eficacia diagnóstica

Los estudios realizados con compuestos con tecnecio-99m aportan unos valores de sensibilidad (82-93%) y especificidad (75-100%) parecidos a los del ²⁰¹Tl (80-82% y 75-82% respectivamente)^{9,10}. Los resultados de sensibilidad de la SPECT con ^{99m}Tc-MIBI y ^{99m}Tc-tetrofosmina en nuestra experiencia son muy similares. La sensibilidad para el diagnóstico de enfermedad coronaria aumenta en función del número de vasos estenóticos: 81-84% para un vaso, 84-91% para dos vasos y 93-96% para tres vasos^{11,12}. Para el diagnóstico de las estenosis correspondiente a cada arteria coronaria los defectos de perfusión de la región antero-septal se atribuyen a la descendente anterior, los de la región lateral a la circunfleja y los de la región inferior a la coronaria derecha. Naturalmente estos criterios tienen limitaciones sobre todo atribuibles a la distribución de las arterias coronarias en cada paciente. En la tabla II se muestran nuestros resultados obtenidos en dos series realizadas con ^{99m}Tc-MIBI^{12,13}. En el diagnóstico global por vasos se obtienen resultados adecuados para la arteria coronaria derecha y descendente anterior pero el diagnóstico de la arteria circunfleja presenta más limitaciones. Probablemente ello es así debido a que la región lateral está situada más distante del detector y/o a la superposición de las regiones anteriores. Asimismo, el territorio que irriga la circunfleja es poco extenso cuando esta arteria no es dominante, lo que ocurre en un 85-90% de los pacientes.

Tabla II

	Eficacia diagnóstica de la SPECT con ^{99m} Tc-MIBI para cada arteria coronaria					
	Sensibilidad			Especificidad		
	DA	C	CD	DA	C	CD
Castell et al. ¹²	74%	45%	79%	85%	96%	85%
Santana-Boado et al. ¹³	68%	33%	65%	91%	96%	90%

CD: Coronaria derecha; C: Circunfleja; DA: Descendente anterior;

1.2.6. Seguimiento de la cardiopatía isquémica y pronóstico

Las indicaciones de **carácter pronóstico** de la gated-SPECT en medio hospitalario superan incluso a las indicaciones diagnósticas de esta exploración¹⁴. Los pacientes estudiados por **dolor torácico** que presentan una **SPECT de perfusión miocárdica normal tienen un buen pronóstico en los 2-3 años de seguimiento, con una mortalidad y una incidencia de infarto < 1% por año**. Ahora bien, en algunos casos excepcionales una SPECT aparentemente normal puede corresponder a una enfermedad coronaria de tres vasos con una disminución difusa pero homogénea de la perfusión. En estos casos el comportamiento del segmento ST suele ser claramente positivo y pueden existir otros signos en la gammagrafía que orientarán sobre esta posibilidad y que se exponen en la tabla III.

Tabla III

Criterios de severidad de la SPECT de perfusión miocárdica
1. Extensión de la isquemia. 2. Intensidad de la isquemia. 3. Isquemia en el territorio de la descendente anterior. 4. Captación pulmonar anómala. 5. Dilatación isquémica del ventrículo izquierdo. 6. Alteración de la función ventricular post-esfuerzo en la gated-SPECT. 7. Isquemia en reposo.

Los defectos de perfusión superiores a un 40% del perímetro ventricular, sobre todo si exceden del territorio de la descendente anterior, son indicativos de enfermedad multivaso. Cuando la actividad en un segmento determinado, después del esfuerzo, es similar a la actividad del fondo puede hablarse de un **intenso defecto de captación**. Este tipo de defecto suele acompañar a estenosis severas de la arteria coronaria correspondiente y se asocian a un peor pronóstico. También se ha demostrado un **peor pronóstico de los pacientes en los que los defectos de captación post-estrés se localizan en el territorio de la arteria descendente anterior**.

La presencia de **captación pulmonar post-estrés es un índice de disfunción ventricular izquierda y/o enfermedad multivaso con un elevado valor pronóstico**. La valoración de la misma puede ser visual o cuantitativa y debe realizarse precozmente después del ejercicio puesto que se ha demostrado que más allá de los 15 minutos después del esfuerzo puede existir ya una disminución de la actividad pulmonar. Debe considerarse el hecho de que existe una relación inversa entre la frecuencia cardíaca alcanzada durante la prueba de esfuerzo y el grado de captación pulmonar del talio, su aclaramiento y la relación entre la captación pulmonar y cardíaca del talio.

Otro signo de severidad de la SPECT de perfusión miocárdica es la **disfunción ventricular post-estrés**. En algunos pacientes la dilatación isquémica ventricular es bien aparente incluso a nivel de la simple observación visual y con la gated-SPECT existe la posibilidad de cuantificar los volúmenes ventriculares post-estrés y al cabo de unas horas. **La alteración segmentaria o global del engrosamiento y de la contractilidad ventricular izquierda en las imágenes de gated-SPECT post-estrés es un signo de aturdimiento miocárdico que puede observarse después de una isquemia severa secundaria a la maniobra de provocación**. Cuanto más extensa es la disfunción segmentaria la repercusión sobre la fracción de eyección del ventrículo izquierdo es mayor. Ello puede traducirse en una disminución clara de la fracción de eyección precoz post-estrés en comparación con la fracción de eyección tardía.

El valor pronóstico de la SPECT de perfusión miocárdica con dipiridamol, con adenosina y con dobutamina también ha sido confirmado en los pacientes con cardiopatía isquémica en fase crónica.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

1.2.7. Indicaciones

En 2.003 se publicaron las guías de la ACC/AHA/ASNC¹⁵, las cuales siguen los criterios clásicos de categorizar las indicaciones en las siguientes clases:

- Clase I: Condiciones en las que hay evidencia y/o acuerdo acerca de que un determinado procedimiento o tratamiento es útil y efectivo.
- Clase II: Condiciones en las que no hay una clara evidencia acerca de la utilidad/eficacia de un determinado procedimiento o tratamiento.
 - o Clase IIa: La evidencia es favorable sobre su utilidad/eficacia.
 - o Clase IIb: La eficacia no está bien establecida.
- Clase III: Condiciones en las que hay evidencia y/o acuerdo acerca de que un procedimiento o tratamiento no es útil ni efectivo.

Los niveles de evidencia para cada clase se dividen en:

- Nivel de evidencia A: Datos derivados de múltiples estudios clínicos aleatorizados.
- Nivel de evidencia B: Datos procedentes de un sólo estudio aleatorizado, o de varios estudios no aleatorizados.
- Nivel de evidencia C: Opinión consensuada de expertos.

Por otra parte, la ACCF/ASNC¹⁶ ha publicado la opinión de expertos en diferentes campos de la Cardiología y de la Medicina en general, donde se establece una puntuación entre 1 y 9 sobre los criterios de adecuación (uso apropiado) de la gated-SPECT:

- Indicación adecuada: Puntuación 7 – 9.
- Indicación incierta: Puntuación 4 – 6.
- Indicación inadecuada: Puntuación 1 – 3.

A continuación se exponen las indicaciones clase I y IIa de las ACC/AHA/ASNC con nivel de evidencia A o B, junto con las consideradas adecuadas por el Comité de Expertos de las ACCF/ASNC, con algunos comentarios a las mismas.

1.2.7.1. Síndrome coronario agudo

Dolor torácico en Urgencias.

La gated-SPECT de reposo precoz (< 3-6 horas de la finalización del dolor torácico) tiene un elevado valor predictivo negativo para descartar enfermedad coronaria en Urgencias¹⁷, pero la disponibilidad de esta prueba las 24 horas del día en nuestros hospitales es prácticamente nula.

A pesar de que la sensibilidad de la SPECT de estrés es alta su uso generalizado en las Unidades de dolor torácico no parece recomendable puesto que la prueba de esfuerzo convencional también tiene un elevado valor predictivo negativo en poblaciones con probabilidad pre-test baja¹⁸.

Indicaciones:

1. Gated-SPECT de reposo para la valoración del riesgo en pacientes con posible síndrome coronario agudo, con ECG y marcadores de daño miocárdico no diagnósticos (Clase I, nivel de evidencia A).
2. Gated-SPECT de estrés para el diagnóstico de enfermedad coronaria en pacientes con dolor torácico, con ECG no diagnóstico, marcadores negativos o SPECT en reposo normal (Clase I, nivel de evidencia B).
3. Gated-SPECT de estrés para pacientes con probabilidad pre-test intermedia, sin elevación del ST y con marcadores negativos (Puntuación 9).

Detección de infarto cuando los estudios convencionales no son diagnósticos.

La gated-SPECT de perfusión miocárdica en reposo tiene una elevada sensibilidad para el diagnóstico de infarto de miocardio, tanto con onda Q como sin ella¹⁹. Sin embargo los defectos de perfusión no permiten distinguir entre isquemia aguda, infarto agudo de miocardio o infarto previo.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

Pronóstico y valoración del tratamiento después del infarto agudo de miocardio con elevación del ST.

El pronóstico de estos pacientes está en función de la fracción de eyección, tamaño del infarto y miocardio en riesgo. Para la estratificación de riesgo es recomendable realizar la gated-SPECT de estrés antes del alta hospitalaria puesto que la mayor parte de las complicaciones tienen lugar durante el primer mes post-infarto^{20,21}.

Indicaciones:

1. Gated-SPECT en reposo para la valoración de la función ventricular (Clase I, nivel de evidencia B), cuando el ecocardiograma no es valorable (Puntuación 9).
2. Gated-SPECT de estrés después de tratamiento fibrinolítico sin cateterismo (Clase I, nivel de evidencia B) (Puntuación 8).
3. Gated-SPECT en reposo o de estrés si es posible para la valoración del tamaño del infarto y del miocardio viable residual (Clase I, nivel de evidencia B).

Pronóstico y valoración del tratamiento después del síndrome coronario agudo sin elevación del ST.

El cateterismo está indicado en estos pacientes cuando existen indicadores de alto riesgo y en ausencia de comorbilidad importante. En ausencia de criterios de alto riesgo es posible estratificar el riesgo mediante la gated-SPECT. Esta prueba es particularmente útil en pacientes con angina inestable una vez estabilizada y para valorar la lesión culpable si se plantea realizar un cateterismo²². La concordancia entre coronariografía y SPECT para el diagnóstico de la lesión culpable es buena, alrededor del 85% cuando ambas pruebas se realizan con un intervalo inferior a 3 meses²³, pero tiene sus limitaciones sobre todo en lo referente a la asignación del territorio infero-lateral a la coronaria derecha o a la circunfleja. La obtención de imágenes tridimensionales de fusión entre la SPECT y la coronariografía²⁴ o la angio-tomografía computarizada²⁵ probablemente va a ser útil en solventar estas discrepancias.

Indicaciones:

1. Gated-SPECT de estrés para valorar la severidad/extensión de la isquemia inducible en pacientes con angina estabilizada con tratamiento médico o en aquellos en que el diagnóstico no es claro (Clase I, nivel de evidencia A).
2. Gated-SPECT de estrés para identificar isquemia inducible y localización de la "lesión culpable" en pacientes con riesgo bajo o intermedio (Clase I, nivel de evidencia B).
3. Gated-SPECT de estrés para la valoración funcional de una determinada estenosis coronaria de significación angiográfica dudosa (Clase I, nivel de evidencia B) (Puntuación 9).
4. Gated-SPECT en reposo para la valoración de la función ventricular izquierda (Clase I, nivel de evidencia B), cuando el ecocardiograma no es valorable (Puntuación 9).
5. Gated-SPECT en reposo para valorar la severidad/extensión de la enfermedad en pacientes con síntomas sospechosos de isquemia cuando los cambios en el ECG no son diagnósticos (Clase IIa, nivel de evidencia B).
6. Cuando no se planee realizar cateterismo cardiaco (Puntuación 8,5).

1.2.7.2. Diagnóstico o sospecha de cardiopatía isquémica crónica

Desde el punto de vista diagnóstico la gated-SPECT está indicada en pacientes con probabilidad pre-test intermedia de padecer cardiopatía isquémica, ECG anormal de base, y resultados dudosos de la prueba de esfuerzo convencional (descenso del punto J con ST ascendente, angina sin cambios de ST, descenso de ST sin angina)²⁶. Aunque las guías de la AHA cifran en el 85% de la Frecuencia Cardíaca Máxima Teórica para la edad (FCMT) el nivel de taquicardización para considerar aceptable una prueba de esfuerzo, la eficacia diagnóstica de la gated-SPECT de perfusión miocárdica se ha demostrado que es alta a partir de unos niveles de taquicardización del 80% de la FCMT²⁷.

Por otra parte, se ha demostrado que en los pacientes capaces de realizar ejercicio pero que no alcanzan un nivel aceptable de taquicardización la administración de adenosina²⁸, dipiridamol⁵ o atropina²⁹ junto con el ejercicio ofrece un buen rendimiento diagnóstico como maniobra de provocación de isquemia.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

A continuación se detallan las indicaciones de la gated-SPECT de estrés según el nivel de frecuencia cardíaca que puedan alcanzar los pacientes.

Pacientes capaces de alcanzar una taquicardización del 80-85% en la prueba de esfuerzo.

La gated-SPECT de esfuerzo está indicada en los siguientes casos:

1. Pacientes con ECG basal anormal: pre-excitación, hipertrofia ventricular izquierda, tratamiento con digoxina, depresión del segmento ST. (Clase I, nivel de evidencia B).
2. Para valorar funcionalmente estenosis coronarias entre el 25% y el 75% (Clase I, nivel de evidencia B).
3. Pacientes con una puntuación de riesgo de Duke intermedia (Clase I, nivel de evidencia B) (Puntuación 9).
4. A los 3-5 años de la revascularización quirúrgica o percutánea en pacientes asintomáticos de alto riesgo (Clase IIa, nivel de evidencia B).
5. Como prueba inicial en pacientes de alto riesgo (diabéticos o con riesgo de complicaciones >20% en 10 años) (Clase IIa, nivel de evidencia B).
6. Pacientes con riesgo Framingham intermedio de enfermedad coronaria (Puntuación 9).
7. Asintomáticos con riesgo Framingham intermedio-alto de enfermedad coronaria y taquicardia ventricular (Puntuación 9).
8. Valoración de riesgo en pacientes con empeoramiento de la sintomatología, que tengan gated-SPECT o coronariografía previa anormal (Puntuación 9).
9. Pacientes con probabilidad pre-test alta y ECG interpretable (Puntuación 8).
10. Asintomáticos con alto riesgo de enfermedad coronaria (Framingham) y primer episodio de fibrilación auricular (Puntuación 8).
11. Asintomáticos con riesgo Framingham moderado-alto de enfermedad coronaria y profesión de riesgo (pilotos) (Puntuación 8).
12. Valoración de dolor torácico post-revascularización (Puntuación 8).
13. Asintomáticos después de 5 años post-revascularización (Puntuación 7,5).
14. Asintomáticos con riesgo alto de enfermedad coronaria (Framingham) (Puntuación 7,5).
15. Valoración de riesgo en pacientes asintomáticos o con síntomas estables, gated-SPECT o coronariografía anormal > 2 años y no revascularizados (Puntuación 7,5).
16. Valoración de riesgo en asintomáticos con una puntuación de Agatston ≥ 400 en la tomografía computarizada (Puntuación 7,5).
17. Valoración de riesgo en pacientes asintomáticos o con síntomas estables, riesgo alto (Framingham) y gated-SPECT normal > 2 años (Puntuación 7).
18. Pacientes con probabilidad pre-test intermedia y ECG interpretable (Puntuación 7).

La gated-SPECT con adenosina, ATP o dipiridamol está indicada en pacientes con bloqueo de rama izquierda o marcapasos (Clase I, nivel de evidencia B).

A pesar de que en presencia de bloqueo de rama izquierda existen falsos positivos para el diagnóstico de estenosis coronaria de la descendente anterior con gated-SPECT de esfuerzo, algunos autores siguen prefiriendo el ejercicio como maniobra de provocación, puesto que es más fisiológico que el estrés farmacológico y ofrece al cardiólogo unos datos clínicos (capacidad funcional, aparición precoz de angina, comportamiento de la presión arterial) imposibles de valorar con la administración de un agente vasodilatador en reposo⁸. La eficacia diagnóstica de la gated-SPECT no parece estar afectada por la presencia de bloqueo de rama derecha y/o hemibloqueo anterior³⁰.

En los pacientes con estenosis coronarias moderadas (50-75%) se han descrito un 58% de patrones isquémicos con la SPECT y en los pacientes con estenosis ligeras (< 50%) un 23%³¹. Hoiland-Carlsen et al.³² en un estudio en el que los hemodinamistas desconocían el resultado de la SPECT practicada previamente, observaron que hasta un 48% de cateterismos y un 19% de revascularizaciones podrían haberse evitado si hubieran tenido conocimiento previo de los resultados gammagráficos. Por ello pensamos que **sería recomendable que en todo paciente con cardiopatía isquémica estable e indicación de coronariografía se realizara previamente**

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

una prueba de valoración funcional. De esta forma, el hemodinamista, ante estenosis coronarias de dudosa significación, conocería aquellas funcionalmente significativas sin necesidad de realizar procedimientos más costosos y agresivos como son las guías de presión y Doppler, y los ultrasonidos intracoronarios.

La enfermedad coronaria es la principal causa de muerte en pacientes que han sufrido un accidente vascular cerebral transitorio. De hecho, el riesgo de sufrir un infarto agudo de miocardio durante los 5 años después de un accidente vascular cerebral es superior que el de fallecer de un nuevo ictus. La asociación entre enfermedad coronaria y aterosclerosis cerebral se da en alrededor de un 50% de casos³³. Se ha observado que la presencia de isquemia moderada-severa y de una fracción de eyección ventricular izquierda inferior al 50% en la gated-SPECT son predictores de complicaciones cardíacas en los pacientes **sin** diagnóstico previo de enfermedad coronaria que han sufrido un primer accidente vascular cerebral transitorio³⁴.

Pacientes incapaces de alcanzar una taquicardización del 80-85% en la prueba de esfuerzo.

En estos pacientes se puede practicar la gated-SPECT con prueba de esfuerzo submáxima añadiendo vasodilatadores (adenosina, ATP o dipiridamol) o atropina. Los vasodilatadores, o la dobutamina cuando éstos están contraindicados, pueden utilizarse desde el principio cuando el paciente no puede realizar ejercicio físico.

Indicaciones:

1. **Valorar la extensión, severidad y localización de la isquemia** (Clase I, nivel de evidencia B).
2. **Valorar funcionalmente estenosis coronarias entre el 25% y el 75%** (Clase I, nivel de evidencia B).
3. **A los 3-5 años de la revascularización quirúrgica o percutánea en pacientes asintomáticos de alto riesgo** (Clase IIa, nivel de evidencia B).
4. **Prueba inicial en pacientes de alto riesgo (diabéticos o con riesgo de complicaciones >20% en 10 años)** (Clase IIa, nivel de evidencia B).
5. **Pacientes con probabilidad pre-test intermedia y ECG no interpretable (Puntuación 9).**
6. **Pacientes con probabilidad pre-test alta y ECG no interpretable (Puntuación 9).**

Llama la atención que en las guías internacionales sólo se mencionen 6 indicaciones de la gated-SPECT con estrés farmacológico cuando con ejercicio se especifican muchas más. De hecho, creemos que aquellas indicaciones pueden aplicarse a los pacientes incapaces de realizar ejercicio empleando, en este caso, estrés farmacológico.

Indicaciones de la gated-SPECT antes de la cirugía no cardíaca.

Su indicación en pacientes con riesgo intermedio es controvertida ya que la utilización de betabloqueantes ha demostrado disminuir el riesgo de estos enfermos, mientras que la revascularización coronaria previa a la cirugía no parece mejorar claramente su pronóstico.

Indicaciones:

1. **Como prueba inicial en pacientes con probabilidad pre-test intermedia y ECG anormal o imposibilidad de realizar una prueba de esfuerzo** (Clase I, nivel de evidencia B) (Puntuación 8).
2. **Valoración pronóstica en pacientes con sospecha o diagnóstico de enfermedad coronaria y con ECG anormal o imposibilidad de realizar una prueba de esfuerzo** (Clase I, nivel de evidencia B).
3. **Valoración de pacientes con cambio de sintomatología y ECG anormal o imposibilidad de realizar una prueba de esfuerzo** (Clase I, nivel de evidencia B).
4. **Gated-SPECT con adenosina, ATP o dipiridamol en pacientes con bloqueo de rama izquierda y probabilidad pre-test intermedia** (Clase I, nivel de evidencia B).
5. **Pacientes con baja tolerancia al ejercicio (< 4 METs)** (Puntuación 8).
6. **Gated-SPECT con adenosina, ATP o dipiridamol en la valoración pronóstica en pacientes con diagnóstico o sospecha de enfermedad coronaria y bloqueo de rama izquierda** (Clase I, nivel de evidencia B).

1.2.7.3. Insuficiencia cardíaca

En la población adulta la insuficiencia cardíaca está asociada frecuentemente a enfermedad coronaria. En estos enfermos **la gated-SPECT permite valorar la función y el grado de remodelado ventricular izquierdo,**

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

el componente de isquemia y la viabilidad miocárdica. Para el diagnóstico de miocardio viable se pueden usar las siguientes modalidades: talio-201 estrés-redistribución-reinyección, talio-201 reposo-redistribución, talio-201 estrés redistribución tardía, MIBI o tetrofosmina reposo, MIBI o tetrofosmina estrés-reposo. Siempre que sea posible es recomendable la realización de estrés puesto que la detección de reversibilidad en la perfusión es también un signo de viabilidad³⁵. Si la exploración se realiza en reposo es recomendable la administración previa de nitroglicerina para aumentar la sensibilidad de la prueba.

Indicaciones:

1. **Valorar la viabilidad miocárdica en vistas a revascularización en pacientes con enfermedad coronaria y disfunción sistólica sin angina** (Clase I, nivel de evidencia B).
2. **Diagnóstico de enfermedad coronaria en pacientes sin angina** (Clase IIa, nivel de evidencia B).
3. **Valorar la función ventricular si el ecocardiograma es de mala calidad** (Puntuación 9).
4. **Valorar la viabilidad en pacientes con enfermedad coronaria apta para revascularizar** (Puntuación 8,5).
5. **Diagnóstico de enfermedad coronaria en pacientes con insuficiencia cardiaca inicial y dolor torácico** (Puntuación 8).
6. **Diagnóstico de enfermedad coronaria en pacientes sin angina con riesgo Framingham intermedio y en los que no se prevea realizar cateterismo** (Puntuación 7,5).

Las guías de la ACC/AHA/ASNC hacen mención a la posibilidad de utilizar la gated-SPECT para el **diagnóstico etiológico** de algunas causas específicas de miocardiopatías dilatadas como la **enfermedad coronaria obstructiva post-trasplante, la enfermedad de Chagas y la sarcoidosis cardíaca** (Clase IIb, nivel de evidencia B), y para el diagnóstico de enfermedad coronaria en los pacientes con miocardiopatía hipertrófica (Clase IIb, nivel de evidencia B). Aunque el valor predictivo negativo de la gated-SPECT en esta última enfermedad es aceptable, la especificidad de la prueba es demasiado baja³⁶. Ahora bien, debe señalarse la elevada reproducibilidad de la gated-SPECT, siempre que se utilice la misma metodología, para el seguimiento de los volúmenes ventriculares y de la fracción de eyección^{37,38}.

2. ESTUDIO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR

Se puede valorar mediante tres técnicas distintas: 1) **estudio de primer paso**, que sigue el trayecto de un bolo radiactivo desde su llegada al corazón por la vena cava superior hasta su salida por la aorta; 2) **ventriculografía isotópica en equilibrio**, que permite construir de forma dinámica un ciclo cardíaco promedio a partir del fraccionamiento de múltiples ciclos consecutivos, y 3) **gated-SPECT de perfusión miocárdica** que, mediante la sincronización con el ECG de un estudio de perfusión miocárdica, también permite la valoración de los volúmenes y la fracción de eyección del ventrículo izquierdo³⁹.

2.1. ESTUDIO DE PRIMER PASO

Para realizar un estudio de primer paso es necesario que la administración del **tecnecio-99m** (período de semidesintegración: 6 horas) se realice en unas condiciones determinadas: el paciente debe hallarse colocado bajo la gammacámara en proyección anterior u oblicua anterior derecha, la actividad que se va a inyectar ha de estar contenida en un volumen inferior a 1 mL y la inyección debe realizarse en forma de bolo. De esta forma podrá registrarse su primer paso a través de las cavidades derechas, pulmones y cavidades izquierdas sucesivamente.

La delimitación de áreas de interés sobre ambos ventrículos permitirá obtener curvas actividad/tiempo de alta resolución temporal (25-32 imágenes/s), que son una representación proporcional de las variaciones del volumen sanguíneo durante el ciclo cardíaco en el área estudiada (Figura 7). De ahí que sea posible la ob-

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

tención del parámetro más utilizado en la práctica para valorar la función sistólica ventricular: la fracción de eyección. El cálculo se realiza sustituyendo en la fórmula clásica de la fracción de eyección, los volúmenes por la actividad detectada, una vez sustraída la actividad de fondo:

$$FE = \frac{(\text{actividad de diástole} - \text{fondo}) - (\text{actividad de sístole} - \text{fondo})}{(\text{actividad de diástole} - \text{fondo})}$$

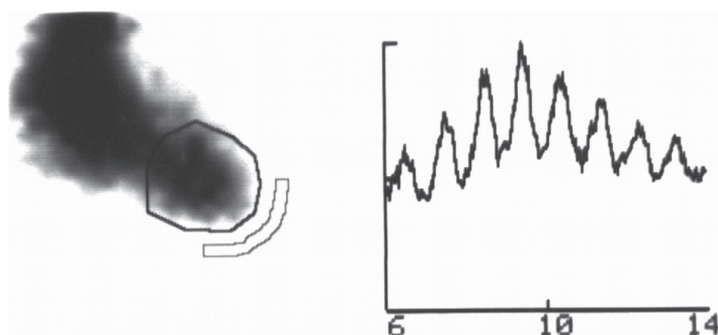


Figura 7. Estudio de primer paso. A la izquierda se delimita el área del ventrículo izquierdo y un área de fondo apical. A la derecha se muestra la gráfica de actividad/tiempo que abarca 7 ciclos cardiacos.

La técnica de primer paso se utiliza también en el estudio de los **cortocircuitos izquierda-derecha** a través de la relación perfusión pulmonar (QP)/perfusión sistémica (QS). Esta cuantificación guarda una aceptable correlación con el eco-Doppler y la hemodinámica para valores comprendidos entre 1,3 y 3.

2.2. VENTRICULOGRAFÍA ISOTÓPICA EN EQUILIBRIO

La ventriculografía o angiocardiógrafía en equilibrio consiste en el **estudio de los cambios de actividad, emitida por un trazador vascular, que se producen dentro del corazón durante el ciclo cardíaco**. Ello permite obtener imágenes y parámetros que, como la fracción de eyección, reflejan de forma precisa y reproducible la función ventricular.

Para la realización de esta técnica puede utilizarse cualquier radiofármaco que no difunda fuera del espacio vascular. Esta condición la cumplen diferentes trazadores, de los cuales los más utilizados son la albúmina sérica humana y los hematíes, ambos marcados con tecnecio-99m. El marcaje de hematíes "in vitro" es el que produce imágenes de mayor calidad y estabilidad temporal. La gammacámara, conectada al ordenador, se coloca sobre el área precordial del paciente en la proyección oblicua anterior izquierda que ofrezca mejor visualización del septum interventricular (generalmente entre 30° y 45°), lo que permite obtener una buena separación espacial de ambos ventrículos. Dado que el trazador está diluido en el volumen sanguíneo corporal, en un ciclo la actividad detectada en el área cardíaca es muy escasa. Este hecho comporta una de las características fundamentales de la técnica: la necesidad de sumar múltiples ciclos para obtener una secuencia de imágenes representativas de la dinámica cardíaca. La detección se realiza de forma sincronizada con la onda R del ECG, lo que permite al computador sumar ordenadamente la actividad de 300 a 400 ciclos y componer las imágenes que conforman el estudio.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

La mejor manera de iniciar el análisis de la contractilidad ventricular consiste en la visión directa de las imágenes del ciclo cardíaco representativo presentadas consecutivamente (modo cine). Ello proporciona una idea de la calidad de la exploración, del tamaño, morfología, situación y contracción de los ventrículos y de sus relaciones anatómicas con las estructuras vasculares vecinas. La inspección visual es subjetiva y, por tanto, no es suficiente para el seguimiento evolutivo de los pacientes, para comparar los resultados en reposo con los del esfuerzo u otras maniobras de estrés, ni para el análisis conjunto de los resultados en grupos de pacientes.

Otro aspecto importante que debe resaltarse, es que la ventriculografía en equilibrio se realiza en proyección oblicua anterior izquierda ($30^\circ - 45^\circ$) para separar ambos ventrículos y calcular la fracción de eyección correctamente. Ello es un **inconveniente para la valoración de la contractilidad por territorios** ya que existe una notable superposición de segmentos ventriculares que hace necesaria la práctica de otras proyecciones para evaluar directamente la contractilidad de la cara anterior e infero-posterior.

Mediante sistemas manuales, semiautomáticos o totalmente automatizados, se puede analizar la variación de actividad del ventrículo derecho o izquierdo durante el ciclo cardíaco representativo. Dado que el trazador utilizado está uniformemente distribuido en el torrente circulatorio, las variaciones de actividad son proporcionales a las variaciones de volumen. Por tanto, a la representación gráfica de la actividad contenida en un ventrículo durante el ciclo cardíaco, se la denomina curva de actividad/tiempo o de volumen ventricular (Figura 8).

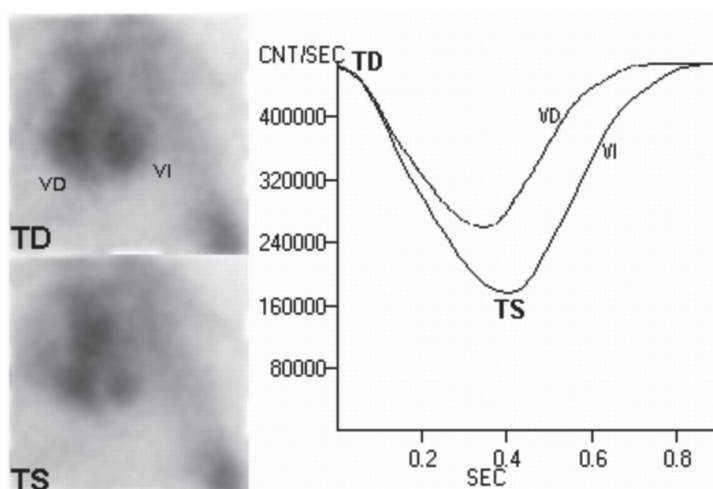


Figura 8. Ventriculografía isotópica en equilibrio. Áreas de interés del ventrículo derecho (VD) e izquierdo (VI) y curvas de actividad/tiempo generada para cada una de ellas. TD: Telediástole. TS: Telesístole.

La fracción de eyección es el parámetro que mejor refleja la función sistólica ventricular. Representa la fracción de volumen diastólico que el ventrículo expulsa en cada latido. En reposo, se acepta el **55% como límite inferior de la normalidad para el ventrículo izquierdo**. Este valor varía con el esfuerzo, y, partiendo de valores basales normales, se considera una respuesta normal al esfuerzo un aumento superior al 5% aunque si la fracción de eyección es muy elevada en reposo (más de 70%) pueden ser normales incrementos inferiores al 5%.

La ventriculografía isotópica en equilibrio permite calcular la fracción de eyección del ventrículo derecho si se tiene cuidado en excluir la actividad auricular que, en la proyección oblicua anterior izquierda, se solapa con la ventricular. **El valor de la fracción de eyección del ventrículo derecho es discretamente inferior a la del izquierdo, (límite inferior: 40%).**

La correlación de la fracción de eyección isotópica con la determinada mediante otras técnicas es muy buena y los programas automatizados de análisis consiguen una reproducibilidad inter e intraobservador superior a cualquier otra exploración. Así pues, en la práctica, la **ventriculografía isotópica en equilibrio es la**

exploración no invasiva de elección para un seguimiento preciso de la fracción de eyección. Dado que al final de la detección el trazador permanece en la corriente sanguínea es posible, sin necesidad de administrar una nueva dosis, repetir la prueba en condiciones diferentes, como el esfuerzo u otras maniobras de provocación.

2.3. GATED-SPECT DE PERFUSIÓN MIOCÁRDICA.

La ventaja fundamental de la adquisición tomogammagráfica sincronizada con el ECG, o gated-SPECT de perfusión miocárdica, radica en la posibilidad de analizar la **variación de la actividad del corazón durante el ciclo cardíaco, concretamente de las paredes ventriculares en los estudios de perfusión miocárdica y de la cavidad ventricular en los estudios ventriculográficos**. Ello permite evaluar el movimiento, el incremento de la actividad/pixel durante la sístole (debido al engrosamiento sistólico de la pared), los cambios volumétricos y, mediante programas basados en la estimación geométrica del volumen de la cavidad, determinar los principales parámetros hemodinámicos del ventrículo izquierdo: volúmenes diastólicos, sistólicos, y fracción de eyección (Figura 9).

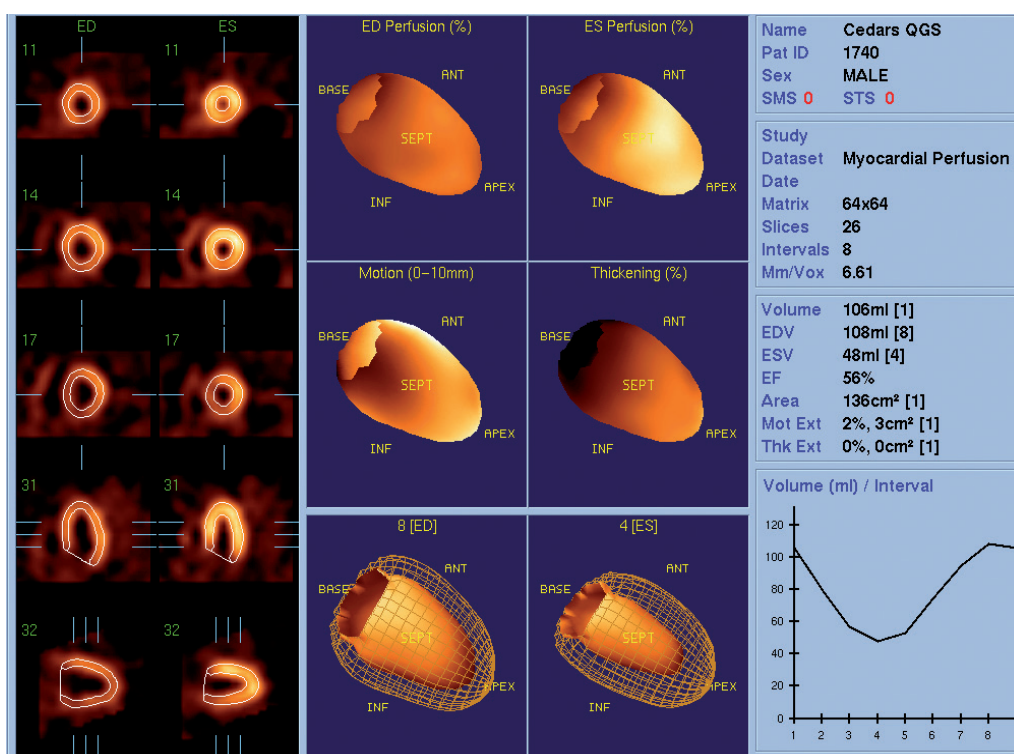


Figura 9. Gated-SPECT de perfusión miocárdica. Arriba las imágenes de contorno endocárdico con superposición de la malla de telediástole en las proyecciones oblicua anterior derecha y oblicua anterior izquierda. En el centro los cortes seleccionados en telediástole (ED) y telesístole (ES) junto a la curva de volumen obtenida y a los valores cuantitativos calculados. Abajo los mapas polares de perfusión, fracción de eyección regional, motilidad y engrosamiento sistólico. EDV: Volumen telediastólico, ESV: Volumen telesistólico, EF: Fracción de eyección.

El número de imágenes por ciclo cardíaco que forman la curva de volumen ventricular está directamente relacionado con la exactitud del valor de la fracción de eyección. La ventriculografía isotópica en equilibrio emplea de 24 a 32 imágenes/ciclo, lo que proporciona una resolución temporal de unos 25 ms/imagen, que permiten una muy buena delimitación de la sístole y suficientes puntos para evaluar los parámetros de fun-

ción diastólica. Estas características son actualmente imposibles de alcanzar en los estudios de gated-SPECT, no obstante, estudios comparativos muestran una excelente concordancia con la ventriculografía isotópica en equilibrio y con otras técnicas de imagen utilizando 16 imágenes/ciclo. La variabilidad en la duración de cada ciclo cardíaco (anormalidades en el ritmo cardíaco) con respecto al tiempo fijado por proyección representa la mayor limitación para la obtención de una adecuada estadística de conteo. En estos casos la reproducibilidad de la técnica es subóptima.

Los métodos cuantitativos propuestos para los estudios de gated-SPECT de perfusión miocárdica han sido fundamentalmente de dos tipos: **Métodos basados en la densidad de cuentas y métodos basados en modelos geométricos**. Los métodos basados en modelos de densidad de cuentas se fundamentan en el cálculo del engrosamiento de la pared miocárdica asumiendo que los cambios en los espesores de dicha pared son lineales a los cambios en la densidad de cuentas en la misma región. Los métodos basados en modelos geométricos consisten en la posibilidad de aproximar y ajustar geometrías elipsoidales-cilíndricas a la forma del ventrículo izquierdo para la determinación de los contornos de la superficie epicárdica y endocárdica. Actualmente se dispone de programas totalmente automatizados para el cálculo de los parámetros de la función sistólica ventricular izquierda.

El cálculo de volúmenes basado en sistemas de ajuste a figuras de volumen conocido presenta limitaciones cuando la cavidad ventricular se remodela como consecuencia de la enfermedad isquémica y se aleja del volumen de las figuras geométricas regulares. En el caso de los estudios con trazadores de perfusión se da otra circunstancia que puede dificultar más la delimitación ventricular. Los defectos de perfusión que se extienden a toda una pared ventricular o aquellos que afectan a una gran área apical con morfología divergente de las paredes que conservan la captación, normalmente las zonas basales, hacen que los algoritmos de localización de los bordes ventriculares puedan errar y, con ello, proporcionar cifras incorrectas de los parámetros funcionales, siendo esta alteración más importante en los algoritmos geométricos que en los basados en la densidad de cuentas. Se impone, pues, una inspección visual de cómo se ajustan los contornos a la pared miocárdica para dar por buenos los resultados de los volúmenes ventriculares y de la fracción de eyección.

Con esta técnica, la cuantificación de la contractilidad regional se realiza generalmente determinando el movimiento de la pared ventricular y el engrosamiento sistólico en base al desplazamiento de los bordes ventriculares a lo largo del ciclo cardíaco y del incremento de cuentas por pixel detectado en los radios trazados desde el centro de la cavidad ventricular. La forma de presentación habitual es la de los mapas polares que representan la fracción de eyección regional, la motilidad y el engrosamiento (Figura 9). En este caso se trata de imágenes paramétricas que representan en cada uno de los segmentos de los anillos del mapa el valor cuantitativo de cada una de las magnitudes descritas.

La correlación entre los valores de la fracción de eyección y de los volúmenes obtenidos mediante gated-SPECT de perfusión miocárdica y mediante ventriculografía isotópica en equilibrio es buena y la reproducibilidad de los valores obtenidos con estas metodologías de cálculo es excelente en ritmo sinusal³⁸ y con ciertas limitaciones en presencia de fibrilación auricular⁴⁰.

La obtención de valores de función sistólica global y regional representa un importante valor añadido al análisis de la perfusión. Así pues, la gated-SPECT de perfusión miocárdica presenta un perfil costo/beneficio excelente, ya que en un sólo estudio se pueden evaluar las variables más relevantes de un paciente con cardiopatía isquémica: intensidad y localización de la isquemia, fracción de eyección y volúmenes del ventrículo izquierdo, y estudio de la viabilidad miocárdica regional, mediante el análisis de la contractilidad y engrosamiento sistólico.

2.4. INDICACIONES

La práctica de la ventriculografía isotópica en equilibrio está indicada en cualquier circunstancia en la que se desee conocer y/o seguir con precisión la función sistólica ventricular. Las principales aplicaciones clínicas de esta exploración se muestran en la Tabla IV y las de la gated-SPECT de perfusión miocárdica se han detallado en el apartado correspondiente^{15,16}.

Tabla IV

Aplicaciones clínicas de la ventriculografía isotópica
CARDIOPATÍA ISQUÉMICA - Estratificación de riesgo post-infarto según la FE y los volúmenes ventriculares. - Valoración de la contractilidad regional: áreas de hipocinesia, acinesia o discinesia y detección del infarto de ventrículo derecho. - Control evolutivo de la función ventricular en la cardiopatía isquémica crónica (respuesta a tratamiento farmacológico o intervencionista). VALVULOPATÍAS - Control evolutivo de la función y volúmenes ventriculares. TRASTORNOS DE CONDUCCIÓN - Valoración de la función ventricular y descripción de la secuencia de contracción miocárdica en marcapasos y resincronización. MIOCARDIOPATÍAS - Valoración de la evolución de la función ventricular en cualquier tipo de miocardiopatía. - Control de la función ventricular según la dosificación de quimioterápicos cardiotóxicos.

3. DETECCIÓN DE DAÑO MIOCÁRDICO ACTIVO

Los radiofármacos utilizados para la detección gammagráfica «positiva» de la lesión miocárdica, en especial por infarto de miocardio, son básicamente dos: los **fosfatos marcados con tecnecio-99m y los anticuerpos antimiosina con indio-111⁴¹**.

De la gammagrafía cardíaca con fosfatos marcados con tecnecio-99m se dispone de más experiencia, puesto que fue la primera de estas técnicas en desarrollarse. Los mecanismos por los que los radiofosfatos se fijan al miocardio necrótico no están bien definidos, pero se ha observado una buena correlación entre la captación y el contenido cálcico. Así pues, en la lesión miocárdica el fosfato tiende a fijarse en las zonas que presentan una elevada concentración de precipitados fosfocálcicos (cristales de hidroxapatita en las mitocondrias). El otro factor que rige la incorporación del trazador al miocardio necrótico es el flujo regional. La obtención de las imágenes gammagráficas se realiza al cabo de unas 3 h de la inyección del radiofármaco. Es recomendable practicar la exploración entre el segundo y el quinto días después del infarto, puesto que es cuando la sensibilidad de la técnica es mayor.

La interpretación de las imágenes cardíacas en el infarto se basa en el análisis de la intensidad y en la localización de la captación patológica en el tórax (Figura 10). La amiloidosis cardíaca, las miocarditis, las miocardiopatías dilatadas idiopáticas y los aneurismas ventriculares pueden producir también imágenes difusamente positivas. La sensibilidad de la técnica, cuando se practica entre las 24 y las 72 h del inicio del dolor, es del 90-96% para los infartos con onda Q y claramente inferior para los infartos sin onda Q. La especificidad varía entre el 60 y el 80%.

La gammagrafía cardíaca con anticuerpos antimiosina marcados con indio-111 es una técnica que consiste en la administración y **detección gammagráfica de fragmentos Fab de inmunoglobulina monoclonal marcados con indio-111** (período de semidesintegración: 67 h). Los fragmentos se obtienen tras sensibilizar a un ratón con miosina humana de cadáver. La miosina es una proteína compleja, de elevado peso molecular y poco soluble, que, cuando se rompe la integridad de la membrana celular, tiende a permanecer en el interior de la célula. Si en este momento se administra por vía intravenosa el anticuerpo antimiosina, éste

se unirá a la miosina y se concentrará en el interior de la célula. A diferencia del pirofosfato, los anticuerpos antimiosina se incorporan al miocardio necrosado en proporción inversa al flujo regional, localizándose preferentemente en las zonas con grave restricción del flujo (regiones centrales y subendocárdicas de la necrosis).

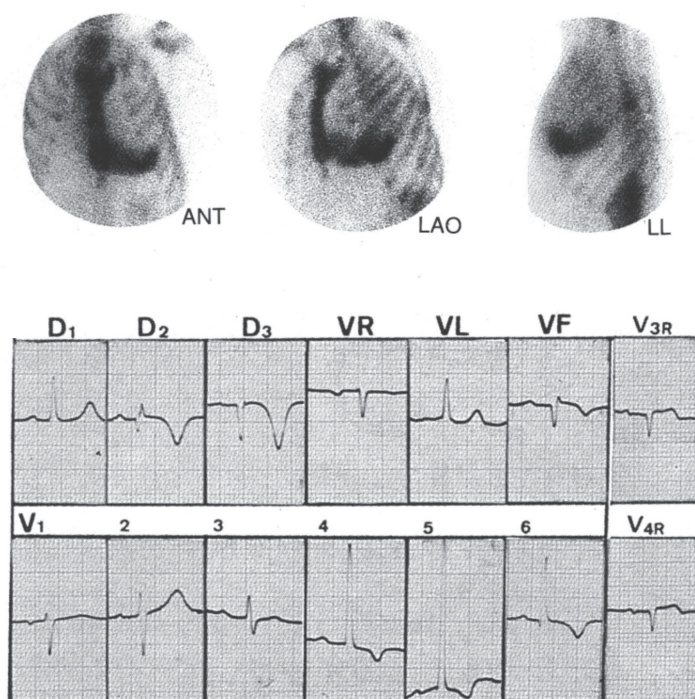


Figura 10. Gammagrafía cardíaca con pirofosfato de tecnecio-99m correspondiente a un paciente con un infarto agudo de miocardio inferior y extensión al ventrículo derecho. En la proyección oblicua anterior izquierda (LAO) la zona que corresponde al ventrículo derecho contacta con el esternón. ANT: Proyección anterior. LL: Proyección lateral izquierda.

Los anticuerpos antimiosina marcados con indio-111 se han empleado en el diagnóstico del infarto de miocardio, del rechazo del trasplante cardíaco y de las miocarditis. Su sensibilidad y especificidad para el diagnóstico del infarto de miocardio, con onda Q o sin ésta, no son significativamente diferentes a las de los fosfatos de tecnecio-99m, por lo que su elevado precio con respecto a esta última exploración no justificaba su utilización generalizada en este campo y han dejado de comercializarse.

3.1. INDICACIONES

Con el paso de los años, las exploraciones con **trazadores del daño miocárdico han ido perdiendo relevancia y en la actualidad se solicitan en contadas situaciones**. No obstante es bueno conocer que pueden ser útiles en algunos casos: 1/ En el diagnóstico de los pacientes que acuden pasadas las 48 h del inicio dolor, cuando los marcadores de daño miocárdico y el ECG pueden no ser diagnósticos de una necrosis aguda, especialmente en aquellos casos con antecedentes de infarto en los que el ecocardiograma o la SPECT de perfusión miocárdica no permite diferenciar si existe una nueva necrosis. 2/ En los infartos sin onda Q, de pequeño tamaño, en los que el ecocardiograma no detecta defectos regionales de la contractilidad e interesa localizar la necrosis. 3/ En aquellos casos en los que no es posible localizar la necrosis a través del ECG por bloqueo de rama izquierda, síndrome de Wolf Parkinson White o marcapasos. 4/ En el diagnóstico del infarto agudo de miocardio peroperatorio. En estos casos los enzimas se elevan de forma invariable, los síntomas no pueden valorarse y es frecuente la aparición de ondas Q en el ECG que en ocasiones no corresponden a verdaderas necrosis. 5/ También puede emplearse en el diagnóstico de extensión del infarto inferior al ventrículo derecho (Figura 10). Otra situación en la que puede ser interesante la ayuda de la gammagrafía con fosfatos es el diagnóstico de la amiloidosis cardíaca y de las miocarditis.

4. VALORACIÓN DE LA VIABILIDAD MIOCÁRDICA

La evidencia experimental y clínica de que puede existir **miocardio viable no contráctil**, ha puesto de manifiesto la **necesidad de diferenciar con precisión las áreas del ventrículo izquierdo que han sufrido una necrosis irreversible de aquellas que son potencialmente recuperables desde el punto de vista funcional**.

Fundamentalmente existen dos situaciones en las que se produce esta situación: el **aturdimiento y la hibernación miocárdicas**. El aturdimiento responde a la **depresión contráctil consecuencia de una interrupción transitoria del flujo coronario**. Tras la reperfusión precoz se produce una situación de **déficit funcional aunque con preservación de la vitalidad celular**, que puede durar desde horas a varias semanas y que se recupera espontáneamente. Este modelo, bien caracterizado en experimentos de oclusión-reperfusión, corresponde a la **situación clínica del infarto tratado eficazmente con fibrinolíticos o a episodios de angina prolongada**. El término **hibernación** hace referencia a la **isquemia grave y crónica que conduce al miocardio a una situación de supervivencia metabólica**, generalmente con modificación de los sustratos energéticos, y anulación de la contractilidad. La situación más habitual es aquella en la que, tras un episodio de infarto agudo de miocardio, la **arteria responsable queda permeable pero con una grave reducción del flujo**. El tejido que ha sobrevivido al episodio isquémico, tras pasar posiblemente por una fase de aturdimiento, ya no recupera su función dada la precariedad de su soporte energético. Solo una intervención revascularizadora puede devolver la capacidad contráctil a estas regiones. Diversos estudios y metaanálisis han demostrado el incremento de mortalidad de los pacientes con miocardio viable no revascularizados. Así pues, la selección de pacientes con disfunción ventricular potencialmente reversible como candidatos a revascularización es el objetivo primordial de las técnicas de identificación del miocardio viable^{42,43}. En la práctica, **la cuestión que se plantea es como detectar la presencia de miocardio viable en territorios en los que se ha producido un infarto de miocardio y en los que se constata una acinesia o discinesia**.

4.1. ESTUDIOS CON EMISORES DE POSITRONES

La técnica nuclear de referencia aceptada mayoritariamente para el estudio de la viabilidad miocárdica es la **tomografía por emisión de positrones (PET)**². Esta exploración permite estudiar con detalle la perfusión y el metabolismo miocárdico. **Regiones que aparecen muy hipoperfundidas en las imágenes obtenidas con trazadores de perfusión como el ¹³N-amonio o el ⁸²Rb, pueden presentar captación de ¹⁸F-flúor-desoxiglucosa (¹⁸FDG)**, hecho indicativo de que existe miocardio viable y de que éste ha debido cambiar el sustrato metabólico habitual (ácidos grasos) por la obtención de energía a través de la vía de la glucólisis anaerobia. El patrón específico que define el miocardio hibernado es el **"mismatch" flujo/metabolismo** (Figura 11). **Las regiones acinéticas con grados variables de hipoperfusión con captación total o parcialmente conservada de FDG se definen como viables, independientemente del compromiso de flujo**. En diversos estudios de seguimiento se comprobó que estos territorios, una vez revascularizados, recuperan su motilidad en una elevada proporción. Las variaciones en los porcentajes de recuperación funcional se deben a diferentes factores. Por un lado se conoce que las alteraciones metabólicas del miocardio hibernado pueden tardar meses en recuperarse tras la revascularización, por lo que si el momento en el que se evalúa la contractilidad es cercano a la revascularización puede infravalorarse la recuperación funcional. La extensión de las regiones de cicatriz respecto a las de miocardio viable también condicionan las posibilidades de recuperación. Existen diversos estudios en los que se requiere una proporción al menos de un 15-20% de miocardio viable, para que pueda esperarse un incremento significativo de la función sistólica post-revascularización. Por otro lado, la intensidad del remodelado ventricular es determinante en la recuperación funcional. **Unos volúmenes ventriculares muy aumentados determinan una situación prácticamente irreversible de la disfunción ventricular**^{44,45}.

La investigación en el campo de la PET prosigue y, actualmente se están ensayando nuevos trazadores de flujo como el **fluorpiridaz marcado con ¹⁸F**. El ⁸²Rb que es un trazador clásico de flujo, se incorpora a los mioцитos normales pero sufre un "lavado" rápido si no existe tejido viable. Así pues, con este radionúclido sería posible estudiar perfusión y viabilidad con un perfil económico y de tiempo muy favorable. Por otro lado,

también se ha constatado que los ácidos grasos mantienen un cierto grado de captación en el miocardio viable. Los análisis comparativos con ^{11}C -acetato han dado paso a la utilización de otros ácidos grasos marcados con ^{123}I , que es un emisor gamma de fotón único que se detecta mediante técnica SPECT.

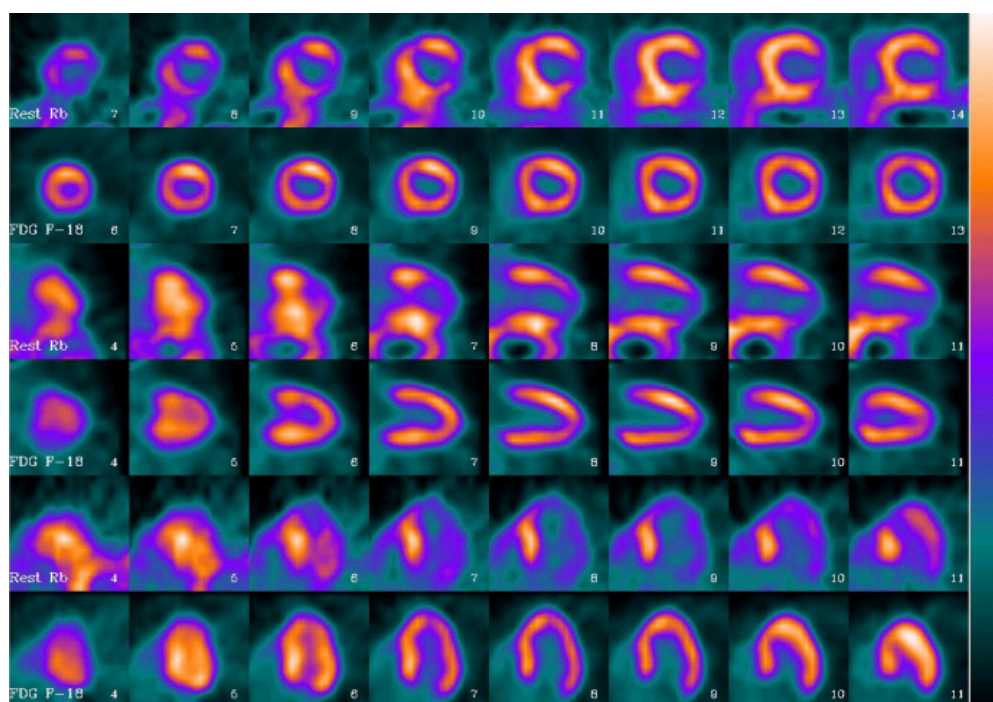


Figura 11. Ejemplo de un patrón perfusión-metabolismo discordante ("mismatch") en la tomografía con emisores de positrones (PET). Puede observarse un defecto de captación de rubidio-82 (Rest Rb) en las regiones lateral y antero-apical y una captación normal de fluorodeoxiglucosa (FDG F-18). Este patrón es indicativo de la presencia de miocardio viable en estos territorios.

Ahora bien, la PET es una técnica costosa ya que los trazadores empleados son mayoritariamente producidos en un ciclotrón. Ello reduce notablemente su utilización asistencial, aún en aquellos países en que está disponible, en razón de su elevado coste económico y de la reducida proporción de pacientes que pueden ser explorados.

4.2. ESTUDIOS CON TALIO-201

La farmacocinética del talio presenta unas características que lo hacen interesante para el estudio de la viabilidad de tejidos sometidos a bajo flujo. Tras la inyección intravenosa su biodistribución responde al grado de perfusión de cada órgano. En el caso del corazón, existe una evidente diferencia entre las regiones con arterias normales de aquellas dependientes de vasos gravemente estenóticos, sobre todo si la inyección de talio se realiza durante una maniobra de estrés (de esfuerzo o farmacológico). Pero como se ha descrito anteriormente, este radionúclido presenta una característica peculiar: no es retenido en el citosol y, durante su permanencia en el organismo, mantiene una relación de equilibrio entre su concentración celular y sanguínea. Ello condiciona una permanente presencia de talio en el plasma durante las horas siguientes a su administración. Las zonas del miocardio normoperfundido que incorporan inicialmente más trazador presentan un

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

proceso de lavado con pérdida de contenido de talio en términos absolutos, hasta alcanzar progresivamente la concentración de talio correspondiente a la situación de reposo. Por el contrario, las áreas con bajo flujo que inicialmente presentan una escasa captación de talio, sobre todo en comparación con territorios con capacidad de multiplicar varias veces su perfusión basal, reciben una oferta limitada pero constante de trazador que, pasado un tiempo más o menos prolongado (hasta 24 horas), alcanza unos niveles de concentración tisular que pueden ser detectados mediante imágenes gammagráficas (fenómeno de redistribución) y con ello constatar la presencia de miocardio viable.

Se ha puesto de manifiesto que, siguiendo el protocolo exploratorio convencional, alrededor de un 50% de los segmentos que no presentan redistribución a las 3-4 horas, sí lo hacían a las 18-24 horas o captaban ^{18}F FDG en estudios PET. Esta notable infraestimación del miocardio viable requiere detecciones muy tardías para ser corregida, lo que representa un serio inconveniente para la calidad de las imágenes obtenidas a las 24 horas, sobre todo si se emplea metodología SPECT. Pero a partir de los trabajos en que introdujeron la **reinyección de talio, se dispone de un método que proporciona un rendimiento más cercano a la PET en términos de detección de miocardio viable**. Una vez transcurrido el tiempo convencional de redistribución (3-4 horas) se administra una dosis suplementaria de trazador (1 mCi) que incrementa la oferta en reposo y, desde un punto de vista práctico, acelera el proceso de redistribución tardía que finalmente permitiría visualizar el miocardio intensamente hipoperfundido (Figura 12).

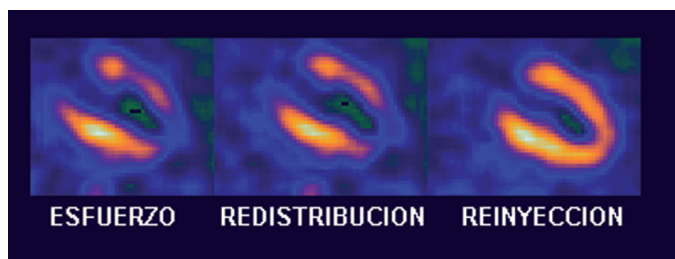


Figura 12. Estudio con talio-201 de un paciente con antecedentes de infarto anterior. Cortes de eje largo vertical en esfuerzo, redistribución a las 3 horas y reinyección. Se observa un defecto moderado anterior y ausencia de captación antero-apical. A las 3 horas se aprecia leve redistribución en la cara anterior y persistencia del defecto antero-apical. La reinyección produce una reversibilidad completa anterior y apical. Este patrón es indicativo de la presencia de miocardio viable en estos territorios.

Un aspecto importante que debe recalcarse ante la interpretación de los estudios de perfusión con talio es el de la intensidad de los defectos post-esfuerzo y su comportamiento en reposo. Una hipoperfusión ligera o moderada que no presenta redistribución o que, incluso, se acentúa en las imágenes obtenidas a las 3 horas (patrón paradójico), debe interpretarse como indicativa de miocardio viable. La explicación a este tipo de fenómenos es compleja, pero fundamentalmente se interpreta como que el miocardio que sobrevive a una necrosis y que no queda en situación de isquemia intensa, ya sea porque el vaso responsable está permeable, o por colaterales, es capaz de aumentar su captación de talio durante el estrés y de presentar lavado en las horas siguientes, de forma que el contraste entre el defecto (coexistencia de miocardio y tejido necrosado) y el resto de los territorios es mayor en la imagen de redistribución que en la post-esfuerzo. Los defectos leves y moderados presentan un porcentaje bajo de reversibilidad, pero prácticamente siempre son viables. Por el contrario los defectos intensos (captación inferior al 50% de la máxima) sin redistribución requieren de la reinyección para comprobar si realmente son o no viables.

En conjunto se puede decir que **el talio es un buen trazador de viabilidad miocárdica**, pero deben reconocerse sus limitaciones que, fundamentalmente, provienen de sus características radiofísicas. La coincidencia entre la captación de talio y ^{18}F FDG respecto a la existencia o no de miocardio viable en el territorio antero-septal es elevada, con discordancias entorno al 15% en los defectos intensos y del 10% en cuanto a catalogar pacientes como portadores o no de miocardio viable en las regiones con grave reducción de la contractilidad.

4.3. ESTUDIOS CON COMPUESTOS MARCADOS CON TECNECIO-99M

Los isonitrilos presentan la característica de ser captados por las células miocárdicas en función de su viabilidad y flujo coronario y pueden ser marcados con tecnecio-99m (**MIBI**: metoxi-isobutil-isonitrilo y tetrofosmina). La principal ventaja que presentan respecto al talio es que su flujo fotónico es mucho mayor, lo que permite obtener imágenes tomográficas de mejor calidad. Ello se debe a que el tecnecio-99m posee un período de semidesintegración corto (6 horas) que posibilita administrar dosis de 10-15 mCi a los pacientes, y una energía de 140 KeV, más penetrante que la del talio y, por tanto con menores problemas de atenuación. Otra característica diferencial con el talio es que **prácticamente no presentan el fenómeno de la redistribución**. El MIBI es un catión monovalente que difunde de forma pasiva a través de la membrana celular y mitocondrial y es retenido mayoritariamente en las mitocondrias mientras se mantengan la polarización de los potenciales de membrana. Los insultos que conllevan una afectación metabólica celular que despolarice la membrana mitocondrial originan una reducción en la retención celular de MIBI, que puede llegar a ser nula cuando no existen células viables. Por otro lado, también se ha demostrado experimentalmente tanto en modelos de oclusión reperusión (miocardio aturdido) como en situaciones de reducción crónica e intensa del flujo coronario (miocardio hibernado), que la captación de MIBI se mantiene proporcional a la del flujo coronario, de forma paralela a la de talio, exista o no profunda disfunción sistólica.

Desde su introducción en la práctica asistencial, el MIBI ha demostrado su eficacia en el diagnóstico y valoración de la extensión de la enfermedad arterial coronaria. Se ha ido extendiendo su uso merced a las excelentes condiciones que ofrece para la SPECT desde un punto de vista técnico y clínico. La gran calidad de las imágenes tomográficas permite una excelente precisión diagnóstica en la delimitación de los territorios isquémicos, en diversos estudios superior al talio-SPECT.

En nuestro país se llevó a cabo un ensayo multicéntrico^{46,47} con la finalidad de evaluar el rendimiento de los estudios tomográficos de perfusión en la predicción de la recuperación funcional post-revascularización. Los resultados demostraron que no existe una barrera nítida en el umbral de captación entre el miocardio viable y no viable, tanto para el talio como para el MIBI. Así para niveles de captación inferiores al 30% solo mejora el 33% de los segmentos tras la revascularización mientras que para captaciones superiores al 50% se produce una recuperación contráctil en el 72% de los casos. **Existe una estrecha correlación entre la presencia histológica de miocardio viable y la captación de MIBI** en una serie de corazones explantados tras un trasplante cardíaco, en pacientes que unas horas antes habían recibido una dosis de MIBI. Sus resultados parecen estar muy de acuerdo con los resultados del estudio español de viabilidad, mostrando una **práctica ausencia de miocardio viable cuando la captación es inferior al 30%** y coexistencia de zonas de cicatriz y tejido miocárdico en proporción paralela al grado de captación de MIBI entre el 30 y el 85% de captación. **Cuando ésta fue superior al 85%, el tejido miocárdico es normal en todos los segmentos.**

La tetrofosmina es un compuesto catiónico que presenta propiedades muy parecidas al MIBI, si bien su aclaramiento hepático y sanguíneo es más rápido. Se ha comprobado que en el modelo porcino **este trazador presenta captaciones inferiores al 30% en las áreas de necrosis respecto al miocardio normoperfundido**⁴⁸. Cuando para este trazador se toma el dintel del 45% de captación con respecto a la máxima del ventrículo izquierdo se obtiene una concordancia en el 88% de los segmentos, en su catalogación como viables o no viables, con respecto al talio-201.

Diversos trabajos han valorado el efecto de la administración de nitratos previa a la administración de radiotrazadores para mejorar la sensibilidad en la detección de miocardio viable. **El consenso actual es que, aunque el incremento del número de segmentos que aumentan su grado de captación respecto a los estudios obtenidos en reposo sin vasodilatadores es moderado, se recomienda la administración de nitratos previa a la inyección de la dosis de reposo (con tecnecio-201) o a la reinyección (talio-201).**

Una ventaja adicional de la gated-SPECT es la de poder obtener imágenes representativas del movimiento y engrosamiento de la pared ventricular durante el ciclo cardíaco. Esta metodología tiene especial importancia en cuanto a la valoración de viabilidad, ya que permite analizar no sólo el grado de captación de una región ventricular, sino su movimiento y engrosamiento (incremento de actividad en sístole). **El aumento de cuentas por unidad de área se debe al engrosamiento sistólico de la pared miocárdica y, por tanto, su existencia es un indicador de viabilidad** (Figuras 13A y 13B).

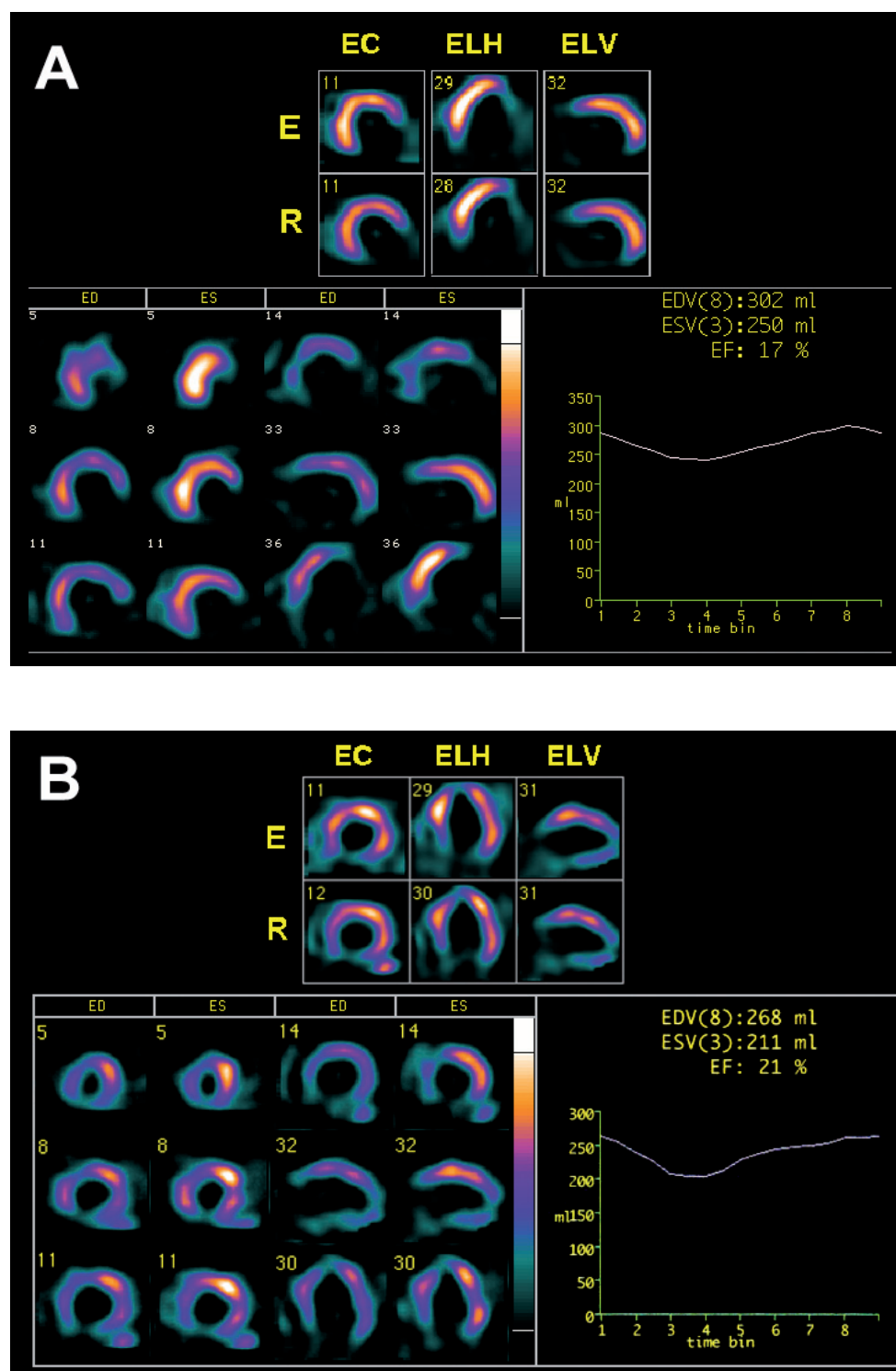


Figura 13. Estudios de viabilidad miocárdica mediante gated-SPECT con compuestos tecnecio. Se muestran dos pacientes con infarto previo y disfunción sistólica severa. A/ Criterios de no viabilidad: Defecto extenso con ausencia de actividad en esfuerzo (E) y en reposo (R) en la región infero-lateral sin evidencia engrosamiento sistólico. B/ Criterios de viabilidad: Defecto de menor intensidad en esfuerzo, con leve reversibilidad en reposo en la región infero-apical y que muestra engrosamiento sistólico. EC: Eje corto, ELH: Eje largo horizontal, ELV: Eje largo vertical, ED: Telediástole, ES: Telesístole, EDV: Volumen telediastólico, ESV: Volumen telesistólico, EF: Fracción de eyección

4.4. INDICACIONES

El estudio de la viabilidad miocárdica debe plantearse en aquellos pacientes con disfunción sistólica ventricular izquierda debida a zonas extensas de hipocinesia severa, acinesia o discinesia y con arterias aptas para poder ser revascularizadas percutánea o quirúrgicamente^{15,16}.

5. ESTUDIOS CON TRAZADORES DE INERVACIÓN

La metayodo-benzil-guanidina (mIBG) es un análogo de la guanetidina, un fármaco que bloquea la liberación de norepinefrina, que es captado en tejidos donde se concentran ésta y otros neurotransmisores. Viene siendo empleada como un agente de imagen para la médula adrenal debido a su elevada captación en tumores de la cresta neural y de origen neuroendocrino (feocromocitomas, neuroblastomas, paragangliomas, carcinoma medular del tiroides y tumores carcinoides). Una vez inyectado el fármaco es extraído rápidamente de la circulación, acumulándose en tejidos inervados adrenérgicamente, como la médula adrenal, las glándulas salivales, el corazón, el bazo y los pulmones. Se excreta mayoritariamente por los riñones, con un aclaramiento inicial rápido y luego, en una segunda fase más lenta, a medida que la mIBG es liberada de otros compartimentos. Su marcaje radioactivo se realiza con ¹²³I, un radionúclido producido en ciclotrón, con una vida media física de 13,2 horas⁴⁹.

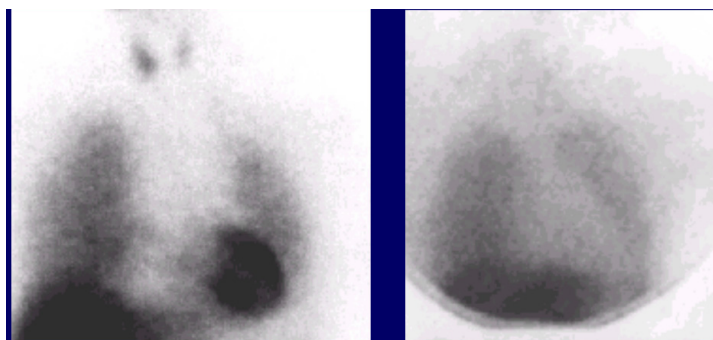
Al ser un análogo fisiológico de la norepinefrina, refleja su actividad nerviosa en el miocardio depositándose inicialmente en las vesículas pre-sinápticas de las terminaciones nerviosas simpáticas para liberarse posteriormente en respuesta a estímulos específicos. Dentro de las variables analizadas interesan particularmente la relación de captación entre el miocardio y el mediastino, que representa el grado de depleción de los depósitos de noradrenalina, y su tasa de lavado, que se incrementa cuando aumenta la actividad del sistema nervioso simpático. La dosis a administrar es de 9-11 mCi (333-407 MBq) en reposo, en forma de inyección intravenosa, durante 1-2 minutos, a través de una cánula en una vena del brazo (antecubital preferentemente). En general, es aconsejable la adquisición de imágenes planares precoces (15-25 minutos post-administración del compuesto), en proyecciones anterior y OAI y tardías (a las 4 horas), pudiendo complementarse con imágenes tomográficas y sincronizadas.

Desde el punto de vista clínico interesan fundamentalmente dos índices gammagráficos:

1. La captación miocárdica (valorada en relación con la captación del mediastino), aceptándose como punto de corte un índice >1,6 como normal (Figura 14).
2. El lavado miocárdico, que se determina valorando la captación de las imágenes miocárdicas tardías en relación con las precoces, considerándose un 35-70% como normal.

$$\text{Lavado} = \frac{\text{captación miocárdica precoz} - \text{captación miocárdica tardía}}{\text{captación miocárdica precoz}} \times 100$$

Figura 14. Gammagrafías de inervación cardiaca con ¹²³I-mIBG. A la izquierda captación cardiaca normal. A la derecha disminución manifiesta de la captación miocárdica con un índice corazón/mediastino claramente anormal (< 1,6) en un paciente con insuficiencia cardiaca.



Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

En la insuficiencia cardíaca existe una actividad aumentada del sistema nervioso simpático, con mayor cantidad de norepinefrina a nivel de la hendidura sináptica lo que, a su vez, produce una regulación a la baja de los receptores pre y post-sinápticos. Ambos fenómenos tienen una correlación directa con los índices citados previamente, con una menor captación por una parte y un mayor lavado por otra, exagerándose en ambos casos cuanto más avanzada sea la enfermedad, lo que permite una cuantificación del deterioro de la inervación cardíaca y un peor pronóstico⁵⁰.

Se ha observado que algunos fármacos que mejoran la capacidad funcional y la tasa de complicaciones relacionadas con la insuficiencia cardíaca, también mejoran la inervación miocárdica al cabo de un tiempo, especialmente los beta-bloqueantes (y entre estos especialmente el carvedilol).

La muerte súbita de origen cardíaco es responsable de hasta un 50% de los fallecimientos de causa cardiovascular y las taquiarritmias ventriculares, desencadenadas frecuentemente por eventos coronarios agudos, explican la mayoría de estas muertes. La terapia con cardiodesfibriladores implantables ha demostrado beneficios de sobrevida en comparación con los fármacos antiarrítmicos. Sin embargo, un análisis de coste-efectividad basado en estudios multicéntricos ha demostrado que es necesario implantar 16 de estos dispositivos para salvar una vida, lo que supone un gasto desproporcionado para cualquier sistema sanitario que desee aplicar esta estrategia de prevención en pacientes post-infarto seleccionados únicamente en base a una fracción de eyección <30%.

También se ha observado daño neuronal simpático en la angina inestable, demostrándose que la denervación cardíaca se extiende no solamente en las áreas necróticas de los pacientes con infarto de miocardio previo, sino también en las áreas isquémicas. Estas observaciones sugieren que la disfunción simpática dentro del miocardio viable, en el contexto de isquemia aguda, puede ser causada por el simple hecho de que las neuronas son más sensibles a la isquemia que los miocitos. Existen, por otro lado, múltiples datos que relacionan un mayor riesgo de muerte post-infarto agudo de miocardio cuando los parámetros de función autonómica están afectados, datos que se repiten también en el caso de la angina inestable, abriéndose así la posibilidad de una nueva aplicación clínica de la ¹²³I-MIBG en la estratificación pronóstica de los síndromes coronarios agudos.

La prevalencia de neuropatía autonómica cardíaca en la diabetes mellitus es del 22-34%, con una mortalidad asociada muy elevada con respecto a los pacientes sin esta afectación. Sin embargo, el diagnóstico de disfunción autonómica cardíaca mediante pruebas clásicas como la maniobra de Valsalva, respuesta de la frecuencia cardíaca a los cambios posicionales y a la inspiración profunda, caída postural de la tensión arterial, hand-grip y, finalmente, el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca a través de Holter, no deja de ser complicado en la práctica. La gammagrafía con ¹²³I-MIBG ofrecería la posibilidad de detectar denervación cardíaca en estos pacientes incluso sin que existiera afectación de la perfusión miocárdica.

5.1. INDICACIONES

Aunque en el momento actual no existen unas indicaciones bien establecidas de esta exploración en las guías clínicas, su principal interés clínico se centra en la valoración pronóstica de los pacientes con insuficiencia cardíaca y disfunción sistólica severa, tributarios de la colocación de un cardiodesfibrilador implantable^{50,51}. En los pacientes con infarto de miocardio se han observado áreas de denervación que sobrepasan ampliamente los límites del área de necrosis y que presentan una mayor probabilidad de arritmias ventriculares, frente a los pacientes sin esta característica.

También se podría considerar como paso previo a la indicación del tratamiento con beta-bloqueantes y en la valoración de la respuesta al tratamiento farmacológico en la insuficiencia cardíaca. Más cuestionable, en función de su coste/beneficio, sería su posible aplicación en la estratificación del riesgo en síndromes coronarios agudos y en la valoración de la neuropatía autonómica cardíaca de la diabetes.

BIBLIOGRAFÍA

1. PÉREZTOL-VALDÉS O, ORTEGA-ALCALDE D. *Bases físicas e instrumentación*. En: Candell-Riera J, Castell-Conesa J, Aguadé-Bruix S, eds. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 5-46.
2. SANTANA-BOADO CA, GARCÍA EV. *Tomografía por emisión de positrones en Cardiología*. En: Candell-Riera J, Castell-Conesa J, Aguadé-Bruix S, eds. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 187-224.
3. CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S. *Estudio de la perfusión miocárdica*. En: Candell-Riera J, Castell-Conesa J, Aguadé-Bruix S, eds. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 5-46.
4. CANDELL-RIERA J, OLLER-MARTÍNEZ G. *Pruebas de esfuerzo y de provocación en Cardiología Nuclear*. En: Candell-Riera J, Castell-Conesa J, Aguadé-Bruix S, eds. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 225-258.
5. CANDELL-RIERA J, SANTANA-BOADO C, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S, OLONA M, PALET J, CORTADELLAS J, GARCÍA-BURILLO A, SOLER-SOLER J. *Simultaneous dipyridamole/maximal subjective exercise with 99mTc-MIBI SPECT: Improved diagnostic yield in coronary artery disease*. J Am Coll Cardiol 1997; 29: 531-536.
6. CERQUEIRA MD, WEISSMAN NJ, DILSIZIAN V, JACOBS AK, KAUL S, LASKEY WK, PENNELL DJ, RUMBERGER JA, RYAN T, VERANI MS. *Standardized Myocardial Segmentation and Nomenclature for Tomographic Imaging of the Heart. A Statement for Healthcare Professionals From the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association*. Circulation 2002;105:539-542.
7. Pereztol-Valdés O, Candell-Riera J, Santana-Boado C, Angel J, Aguadé-Bruix S, Castell-Conesa J, García EV, Soler-Soler J. *Correspondence between left ventricular 17 myocardial segments and coronary arteries*. Eur Heart J 2005; 26: 2637-2643.
8. CANDELL-RIERA J, OLLER-MARTÍNEZ G, ROSSELLÓ J, PEREZTOL-VALDÉS J, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S, SOLER-PETER M, SIMÓ M, SANTANA-BOADO C, GARCÍA-BURILLO A, SOLER-SOLER J. *Standard provocative maneuvers in patients with and without left bundle branch block studied with myocardial SPECT*. Nucl Med Commun 2001; 22: 1029-1036.
9. KIAT H, MADDAHI J, ROY LT, VAN TRAIN K, FRIEDMAN J, RESSER K, BERMAN DS. *Comparison of technetium 99m methoxy isobutyl isonitrile and thallium 201 for evaluation of coronary artery disease by planar and tomographic methods*. Am Heart J 1989; 117: 1-11.
10. ISKANDRIAN AS, HEO J, KONG B, LYONS E, MARSCH A. *Use of technetium-99m isonitrile (RP-30A) in assessing left ventricular perfusion and function at rest and during exercise in coronary artery disease, and comparison with coronary arteriography and exercise thallium-201 SPECT imaging*. Am J Cardiol 1989; 64: 270-275.
11. VAN TRAIN KF, GARCÍA EV, MADDAHI J, ARCEDA J, COOKE CD, KIAT H, SILAGAN G, FOLKS R, FRIEDMAN J, MATZER L, GERMANO G, BATEMAN T, ZIFFER J, DEPUY DG, FINK-BENNETT D, CLONINGER K, BERMAN DS. *Multicenter trial validation for quantitative analysis of same-day rest-stress technetium-99m-sestamibi myocardial tomograms*. J Nucl Med 1994; 35: 609-618.
12. CASTELL J, SANTANA-BOADO C, CANDELL-RIERA J, AGUADÉ BRUIX S, OLONA M, CANELA T, GARCÍA BURILLO A, GONZÁLEZ JM, DOMÈNECH TORNÉ FM, SOLER SOLER J. *La tomogammagrafía miocárdica y el ECG de esfuerzo en el diagnóstico de la enfermedad coronaria multivaso*. Rev Esp Cardiol 1997; 50: 635-642.
13. SANTANA-BOADO C, CANDELL-RIERA J, CASTELL J, GARCÍA BURILLO A, OLONA M, PALET J, AGUADÉ BRUIX S, FRAILE M, ORTEGA ALCALDE D, SOLER SOLER J. *Diagnóstico de la enfermedad coronaria mediante la tomogammagrafía de esfuerzo con isonitritos-99m*. Med Clín (Barc.) 1995; 105: 201-204.
14. DIEGO-DOMÍNGUEZ M, MUXÍ-PRADAS MA. *Pronóstico de la enfermedad coronaria crónica mediante gated-SPECT de perfusión miocárdica*. Rev Esp Cardiol 2008; 8: 258-348.
15. KLOCKE FJ, BAIRD MG, LORELL BH, BATEMAN TM, MESSER JV, BERMAN DS, O'GARA PT, CARABELLO BA, RUSSELL RO, CERQUEIRA MD, SUTTON MGS, DEMARIA AN, UDELSON JE, KENNEDY JW, VERANI MS, WILLIAMS KA. *ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging – Executive Summary. A report of the American College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of cardiac Radionuclide Imaging)*. Circulation 2003;108:1404-1418.
16. HENDEL RC, BERMAN DS, DI CARLI MF, HEIDENREICH PA, HENKIN RE, PELLIKKA PA, POHOST GM, WILLIAMS KA. *ACCF / ASNC / ACR / AHA / ASE / SCCT / SCMR / SNM 2009. Appropriate use criteria for cardiac radionuclide imaging*. J Am Coll Cardiol 2009;3:2201-2229.
17. CANDELL-RIERA J, OLLER-MARTÍNEZ G, PEREZTOL-VALDÉS O, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S, GARCÍA-ALONSO C, SEGURA R, MURILLO J, MORENO R, SURIÑACH J, SOLER-SOLER J. *Gated SPET precoz de perfusión miocárdica en los pacientes con dolor torácico y ECG no diagnóstico en Urgencias*. Rev Esp Cardiol 2004;57:225-233.
18. CANDELL-RIERA J, OLLER-MARTÍNEZ G, DE LEÓN G, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S. *Yield of Early Rest and Stress Myocardial Perfusion Single Photon Emission Computed Tomography, and Electrocardiographic Exercise Test in Patients with Atypical Chest Pain, Non-diagnostic Electrocardiogram and Negative Biochemical Markers, in the Emergency Department*. Am J Cardiol 2007; 99: 1662-1666.
19. CANDELL-RIERA J, RODRÍGUEZ J, PUENTE A, PEREZTOL-VALDÉS O, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S. *SPECT de perfusión miocárdica en los pacientes diagnosticados de infarto de miocardio sin onda Q*. Med Clin (Barc) 2005;125:574-577.
20. CANDELL-RIERA J, PERMANYER-MIRALDA G, CASTELL J, RIUS-DAVÍ A, DOMINGO E, ALVAREZ -AUÑÓN E, OLONA M, ROSSELLÓ J, ORTEGA D, DOMÈNECH-TORNÉ FM, SOLER-SOLER J. *Uncomplicated first myocardial infarction: Strategy for comprehensive prognostic studies*. J Am Coll Cardiol 1991;18:1207 - 19.
21. CANDELL-RIERA J, LLEVADOT J, SANTANA C, CASTELL J, AGUADÉ S, BERMEJO B, ET AL. *Prognostic assessment of uncomplicated first myocardial infarction by exercise echocardiography and 99mTc-tetrofosmin gated SPECT*. J Nucl Cardiol 2001;8:122-128.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

22. CANDELL-RIERA J, SANTANA-BOADO C, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S, OLONA-CABASES M, DOMINGO E, PERMANYER-MIRALDA G, SOLER-SOLER J. *Culprit lesion and jeopardized myocardium: Correlation between coronary angiography and single photon emission computed tomography*. Clin Cardiol 1997;20:345-350.
23. CANDELL-RIERA J, PEREZTOL-VALDÉS O, SANTANA-BOADO C, MISORICCI M, OLLER-MARTÍNEZ G, AGUADÉ-BRUIX S, ET AL. *Relationship between the location of the most severe myocardial perfusion defects, the most severe coronary artery stenosis, and the site of subsequent myocardial infarction*. J Nucl Med 2001; 42: 558-63.
24. AGUADÉ S, CANDELL-RIERA J, FABER TL, ANGEL J, SANTANA C, KLEIN JL, CASTELL J, GARCIA EV. *Superposición en tres dimensiones de las imágenes de perfusión miocárdica y de la coronariografía*. Rev Esp Cardiol 2002; 55: 258-265.
25. FABER TL, SANTANA CA, SIRINENI G, VERDES L, CANDELL-RIERA J, GARCIA EV. *Quantitative validation of an algorithm to fuse coronary arteries from CTCA with epicardial surfaces from perfusion SPECT*. J Nucl Cardiol 2006; 13: S19.
26. CASÁNS-TORMO I, JURADO-LÓPEZ JA. *Diagnóstico de la enfermedad coronaria mediante gated-SPECT de perfusión coronaria mediante gated-SPECT de perfusión miocárdica*. Rev Esp Cardiol 2008; 8: 15B-24B.
27. SANTANA-BOADO C, CANDELL-RIERA J, CASTELL-CONESA J, OLONA M, PALET-BALART J, AGUADÉ-BRUIX S, CASTELL-CONESA J, SIMÓ M, DíEZ-CASTRO MJ, SOLER-SOLER J. *Importancia de los parámetros ergométricos en los resultados de la tomografía de perfusión miocárdica*. Med Clín (Barc.) 1997; 109: 406-409.
28. PENNELL DJ, MAVROGENI SI, FORBAT SM, FORBAT SM, KARWATOWSKI SI, UNDERWOOD SR. *Adenosine combined with dynamic exercise for myocardial perfusion imaging*. J Am Coll Cardiol 1995;25:1300-1309.
29. DE LEÓN G, AGUADÉ-BRUIX S, ALIAGA V, CUBERAS-BORRÓS G, ROMERO-FARINA G, CASTELL-CONESA J, GARCÍA-DORADO D, CANDELL-RIERA J. *Prueba de esfuerzo submáxima y atropina en la SPECT de perfusión miocárdica*. Rev Esp Cardiol 2010; en prensa.
30. PAREDES E, CANDELL-RIERA J, OLLER-MARTÍNEZ G, DE LEÓN G, AGUADÉ-BRUIX S, CASTELL-CONESA J. *SPECT de perfusión miocárdica en el bloqueo de rama derecha y en el hemibloqueo anterior*. Rev Esp Cardiol 2004; 57: 1117-1120.
31. RODÉS-CABAU J, CANDELL-RIERA J, ANGEL J, DE LEÓN G, PEREZTOL O, CASTELL-CONESA J, SOTO A, ANÍVARRO I, AGUADÉ S, VÁZQUEZ M, DOMINGO E, TARDIF JC, SOLER-SOLER J. *Myocardial ischemia and non-significant coronary lesions by angiography: false positive results or underestimated atherosclerosis? Insights from intravascular ultrasound and coronary pressure measurements*. Am J Cardiol 2005; 96: 1621-1626.
32. HØILUND-CARLSEN PF, JOHANSEN A, CHRISTENSEN HW, VACH W, MØLDRUP M, BARTRAM P, VEJE A, HAGHELT T FOR THE MYOCARDIAL ISCHEMIA LOGISTICS EVALUATION STUDY (MILES) GROUP. *Potential impact of myocardial perfusion scintigraphy as gatekeeper for invasive examination and treatment in patients with stable angina pectoris: observational study without post-test referral bias*. Eur Heart J 2006; 27: 29-34.
33. ARENILLAS JF, CANDELL-RIERA J, ROMERO-FARINA G, MOLINA CA, CHACÓN P, AGUADÉ-BRUIX S, MONTANER J, DE LEÓN G, CASTELL-CONESA J, ALVAREZ SABIN J. *Silent myocardial ischemia in patients with symptomatic intracranial atherosclerosis. Associated factors*. Stroke 2005; 36: 1201-1206.
34. CANDELL-RIERA J, ARENILLAS JF, ROMERO-FARINA G, AGUADÉ-BRUIX S, DE LEÓN G, CASTELL-CONESA J, MOLINA CA, MONTANER J, ROVIRA A, ÁLVAREZ-SABIN J. *Prognostic value of myocardial perfusion gated-SPECT in patients with symptomatic intracranial large artery atherosclerosis*. Cerebrovasc Dis 2007; 24: 247-254.
35. CANDELL-RIERA J, CASTELL-CONESA J, GONZÁLEZ JM, ROSSELLÓ-URGELL EN REPRESENTACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO DE CARDIOLOGÍA NUCLEAR. *Eficacia del SPET miocárdico esfuerzo-reposo con 99mTc-MIBI en la predicción de la recuperabilidad de la función contráctil posrevascularización. Resultados del protocolo multicéntrico español*. Rev Esp Cardiol 2000; 53: 903-910.
36. ROMERO-FARINA G, CANDELL-RIERA J, PEREZTOL-VALDÉS O, AGUADÉ-BRUIX S, CASTELL-CONESA J, ARMADANS L, REINA D, GALVE E, PALET J, SOLER-SOLER. *Tomogammagrafía miocárdica de esfuerzo en los pacientes con miocardiopatía hipertrófica*. Rev Esp Cardiol 2000; 53: 1589-1595.
37. CANDELL-RIERA J, SANTANA-BOADO C, BERMEJO B, ARMADANS L, CASTELL J, CASÁNS I, JURADO JA, MAGRIÑÁ J, NUÑO DE LA ROSA JA. *Impacto de los datos clínicos y concordancia interhospitalaria en la interpretación de la tomogammagrafía miocárdica de perfusión*. Rev Esp Cardiol 1999; 52: 892-897.
38. CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S, GARCÍA-BURILLO A, GONZÁLEZ JM, CANELA MT, OLLER G, DíEZ MJ, ROCA I, CANDELL-RIERA J. *Reproducibilidad de la gated-SPECT de perfusión miocárdica en la valoración de la función ventricular y su comparación con la ventriculografía isotópica*. Rev Esp Cardiol 2004; 57: 931-938.
39. AGUADÉ-BRUIX S, ORTEGA-ALCALDE D. *ESTUDIO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR*. EN: CANDELL-RIERA J, CASTELL-CONESA J, AGUADÉ-BRUIX S, EDS. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 136-186.
40. AGUADÉ-BRUIX S, ROMERO-FARINA G, CUBERAS-BORROS G, MILÀ-LÓPEZ M, PUBUL-NUÑEZ V, CIURANA-ESCUER R, GARCÍA-DORADO D, CANDELL-RIERA J. *Interassay reproducibility of myocardial perfusion gated-SPECT in patients with atrial fibrillation*. J Nucl Cardiol 2010; 17: 450-458.
41. CANDELL-RIERA J, DE LEÓN G. *Infarto agudo de miocardio*. Diagnóstico y pronóstico. En: Candell-Riera J, Castell-Conesa J, Aguadé-Bruix S, eds. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 405-455.
42. CASTELL-CONESA J, CANDELL-RIERA J. *Estudio de la viabilidad miocárdica mediante SPET*. En: Candell-Riera J, Castell-Conesa J, Aguadé-Bruix S, eds. *Cardiología Nuclear en la práctica clínica*. Madrid: Aula Médica 2.003; pág: 311-341.
43. ALBERT-BERTRAN FX, CASTELL-CONESA J. *Valoración de la viabilidad miocárdica mediante gated-SPECT de perfusión miocárdica*. Rev Esp Cardiol 2008; 8: 35B-48B.
44. SANTANA CA, FABER TL, SOLER-PETER M, SANYAL R, ESTEVES FP, ORNELAS M, FOLKS RD, VERDES L, SANTANA LF, CANDELL-RIERA J, GARCÍA EV. *Prognostic performance of quantitative PET tools for stratification of patients with ischemic cardiomyopathy undergoing myocardial viability assessment*. Nucl Med Commun 2008; 29: 970-981.
45. CANDELL-RIERA J, ROMERO-FARINA G, AGUADÉ-BRUIX S, CASTELL-CONESA J, DE LEÓN G, GARCÍA-DORADO D. *Prognostic value of myocardial perfusion-gated SPECT in patients with ischemic cardiomyopathy*. J Nucl Cardiol 2009; 16: 212-221.

Cardiología nuclear. Tipos de estudio e indicaciones

Jaume Candell Riera

46. CASTELL J, CANDELL-RIERA J, ROSELLÓ-URGELL J, FRAILE LÓPEZ-AMOR M, HORNERO-SOS F, AGUADÉ-BRUIX S, GONZÁLEZ JM. *Valoración de la viabilidad miocárdica mediante tecnecio-99m isonitrilo y talio-201. Resultados del protocolo multicéntrico español.* Rev Esp Cardiol 1997; 50: 320-330.
47. GONZÁLEZ JM, CASTELL-CONESA J, CANDELL-RIERA J, ROSELLÓ-URGELL J (ON BEHALF OF THE SPANISH WORKING GROUP OF NUCLEAR CARDIOLOGY). *Relevance of 99mTc-MIBI rest uptake, ejection fraction and contractile abnormality location in predicting myocardial recovery after revascularization.* Nucl Med Commun 2001; 22: 795-805.
48. CINCA J, GARCIA-BURILLO A, CARREÑO A, CASTELL J, WARREN M, CANDELL-RIERA J, DOMINGO A, SOLER-SOLER J. *Differential uptake of myocardial perfusion radiotracers in normal, infarcted, and acutely ischemic peri-infarction myocardium.* Cardiovasc Res 1998; 38: 91-97.
49. PATEL AD, ISKANDRIAN AE. *MIBG imaging.* J Nucl Cardiol 2002; 9: 75-94.
50. JACOBSON AF, SENIOR R, CERQUEIRA MD, WONG ND, THOMAS GS, LOPEZ VA, AGOSTINI D, WEILAND F, CHANDNA H, NARULA J ON BEHALF OF THE ADMIRE-HF INVESTIGATORS. *Myocardial Iodine-123 Meta-Iodobenzylguanidine imaging and cardiac events in heart failure. Results of the prospective ADMIRE-HF (AdreView Myocardial Imaging for Risk Evaluation in Heart Failure) Study.* J Am Coll Cardiol 2010; 55: 2212-2221.
51. BOOGERS MJ, BORLEFFS JW, HENNEMAN MM, VAN BOMMEL R, VAN RAMSSHORST J, BOERSMA E, DIBBETS-SCHNEIDER P, STOKKEL MP, VAN DER WALL EE, SCHALIJ MJ, BAX JJ. *Cardiac sympathetic denervation assessed with 123-Iodine metaiodobenzylguanidine imaging predicts ventricular arrhythmias in implantable cardioverter-defibrillator patients.* J Am Coll Cardiol 2010; 55: 2769-2777.