

## ARTÍCULOS ORIGINALES

### Cuidados de enfermería en el paciente con cardiopatía isquémica en el diagnóstico de viabilidad miocárdica por tomografía de emisión de positrones

López Gandul Sergi\*, Pérez Moure Gumer\*, Simó Perdígó M, García Garzón JR, Soler Peter, Pons Beristain C, Castell Conesa J, Lomeña Caballero F.

DUE CETIR Grup Mèdic – Unitat PET. Esplugues de Llobregat. Barcelona.

Proyecto de investigación en Enfermería becado por la Sociedad Española de Cardiología y la Asociación Española de Enfermería Cardiológica 2003-2004 bajo el título: "Tomografía por emisión de positrones (PET): Definición y validación del protocolo de cuidados de enfermería en la realización de la PET con  $^{13}\text{N-NH}_3$  y  $^{18}\text{F-FDG}$  para el estudio de viabilidad miocárdica".

#### Resumen

Las técnicas de medicina nuclear han sido de particular importancia en el diagnóstico cardiológico, empleando un extenso abanico de estudios que incluyen la valoración de la función ventricular, el estudio de la perfusión miocárdica, la cuantificación de cortocircuitos, la identificación del infarto de miocardio y en la actualidad, la valoración del metabolismo miocárdico.

La Tomografía por Emisión de Positrones (PET) ha emergido como una herramienta diagnóstica de propiedades únicas, no invasiva, en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica. La PET es el método de elección para valorar "in vivo" el consumo miocárdico de glucosa/ácidos grasos y es considerada como "gold standard" en el diagnóstico de la viabilidad miocárdica.

El objetivo de este proyecto de investigación fue describir y validar las técnicas de enfermería utilizadas durante las diversas fases de un estudio PET en cardiología. Se estudiaron 25 pacientes diagnosticados de cardiopatía isquémica los cuales fueron remitidos a nuestro centro PET desde Noviembre 2003 hasta Octubre 2004, para el estudio del flujo y la viabilidad miocárdica. Este trabajo está basado en una beca concedida por la Sociedad Española de Cardiología y la Asociación Española de Enfermería Cardiológica en el año 2003-2004 al proyecto de investigación en enfermería titulado:

"TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES (PET): DEFINICIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOCOLO DE CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LA REALIZACIÓN DE LA PET CON  $^{13}\text{N-NH}_3$  Y  $^{18}\text{F-FDG}$  PARA EL ESTUDIO DE VIABILIDAD MIOCÁRDICA".

**Palabras clave:** PET (Tomografía por Emisión de Positrones), viabilidad miocárdica, infarto de miocardio,  $^{13}\text{NH}_3$  amonio, F-18-FDG- fluorodesoxiglucosa.

Recibido: 25-09-04  
Aceptado: 14-10-04

#### Summary

Nuclear medicine techniques plays an important role in heart diseases diagnosis to evaluate left ventricular function, myocardial perfusion, acute myocardial infarction identification, shunt quantification and currently, myocardial metabolism assessment.

Positron Emission Tomography (PET) provide a new non invasive tool into nuclear cardiology field to quantify myocardial flow "in vivo" and it is the unique technique that offers information about glucose and fatty acid myocardial consumption. PET-FDG is the "gold standard" technique for myocardial viability diagnosis.

The aim of this study was to describe and validate the nursing role during cardiac PET scan management. Twenty-five patients diagnosed by ischaemic cardiopathy underwent to flow and viability studies (from November 2003 to October 2004). This investigation is based on Sociedad Española de Cardiología and Asociación Española de Enfermería Cardiológica research fellowship 2003-2004 titled:

"CARDIAC POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET): DEFINITION AND VALIDATION OF THE NURSING MANAGEMENT DURING  $^{13}\text{N-NH}_3$  AND  $^{18}\text{F-FDG}$  PET SCAN FOR CARDIAC VIABILITY STUDY"

**Key words:** Positron Emission Tomography (PET), myocardial viability, acute myocardial infarction,  $^{13}\text{NH}_3$  ammonia, F-18-FDG-fluorodeoxyglucose.

Correspondencia:  
Sergi López Gandul  
CETIR.Unitat PET.  
Josep Anselm Clavé, 100  
08950 Esplugues de Llobregat (Barcelona)  
Tel. 93 503 54 11  
e-mail: slopezgandul@cetir.es

## Introducción

Las técnicas de medicina nuclear han sido de particular importancia en el diagnóstico cardiológico en la última década, empleando un extenso abanico de estudios que incluyen la valoración de la función ventricular, el estudio de la perfusión miocárdica, la cuantificación de cortocircuitos, la identificación del infarto de miocardio y en la actualidad, la medida del metabolismo miocárdico.

La cardiopatía isquémica es la enfermedad más frecuente y con más morbi-mortalidad en la actualidad en el mundo occidental. La consecuencia inmediata de la enfermedad arterial coronaria es la anormal perfusión miocárdica que puede provocar como manifestaciones clínicas la angina y el infarto de miocardio. Eventualmente se puede producir disfunción ventricular izquierda, lo que ensombrece el pronóstico de la enfermedad.

La PET ha emergido como una herramienta diagnóstica de propiedades únicas, no invasiva, en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica. La PET es el método de elección para valorar "in vivo" el consumo miocárdico de glucosa y de ácidos grasos (1,2). La aparición en España en los últimos años de nuevos centros PET y el papel decisivo de esta novedosa técnica como gold standard en la valoración de la viabilidad miocárdica, hace imprescindible la formación del diplomado en enfermería para poder atender con garantías al paciente con cardiopatía isquémica. Este tipo de estudios requieren de la aplicación de los conocimientos en cardiología nuclear y de las técnicas de enfermería por parte del diplomado. Por este motivo y ante el aumento incipiente de este tipo de exploraciones, se exige la instauración de registros estandarizados que sigan las directrices de un protocolo de cuidados de enfermería en la atención de los pacientes que se sometan a estudios de viabilidad miocárdica en unidades PET.

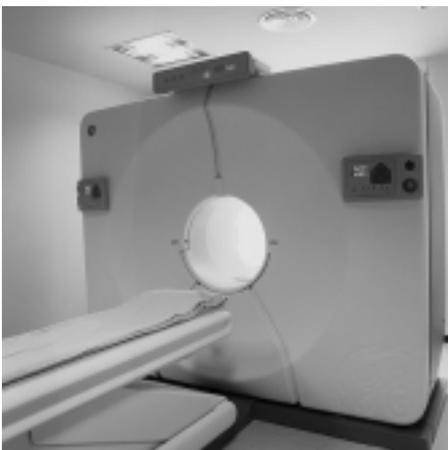


Fig1. Tomógrafo PET (Gentileza General Electric)

En las siguientes páginas intentaremos plasmar nuestra experiencia al instaurar un protocolo de enfermería en una unidad PET para la atención del enfermo cardiaco. La unidad PET de CETIR Grup Mèdic en la cual se ha desarrollado el proyecto de investigación becado por la Sociedad Española de Cardiología y la Asociación Española de Enfermería Cardiológica 2003-2004 bajo el título: "TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES (PET): DEFINICIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOCOLO DE CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LA REALIZACIÓN DE LA PET CON  $^{13}\text{N-NH}_3$  Y  $^{18}\text{F-FDG}$  PARA EL ESTUDIO DE VIABILIDAD MIOCÁRDICA".

## Desarrollo del proyecto

Este proyecto se inició el día 3 de Noviembre del 2003 en las instalaciones de CETIR Grup Mèdic – Unitat PET, sita en la calle Josep Anselm Clavé nº100 (Esplugues de Llobregat, Barcelona) y fue finalizado el 1 de Octubre del 2004.

En el estudio fueron incluidos 25 pacientes consecutivos remitidos a nuestra unidad PET para la valoración de viabilidad miocárdica, previamente diagnosticados de cardiopatía isquémica por cateterismo cardíaco. Se excluyeron aquellas pacientes con sospecha de embarazo o en periodo de lactancia, debido a medidas de radioprotección; y aquellos pacientes cuya cavidad cardiaca excedía el campo de adquisición o "field of view" del tomógrafo PET a consecuencia de su obesidad.

Se ha recogido toda la información aportada por los 25 pacientes: exploraciones previas cardiológicas tipo ecocardiografías, Holter, SPECT perfusión miocárdica, informes de cateterismos previos, etc. Se registraron los antecedentes patológicos de los pacientes, alergias y tratamiento.

Nuestro servicio de citación avisó a los pacientes vía telefónica para acordar fecha, hora y lugar de realización del estudio PET, valorándose el medio de transporte que requería el paciente (ambulancia, taxi, etc.). También hemos elaborado un documento tipo de consentimiento informado consensuado con el responsable de calidad de CETIR Grup Mèdic que debía ser firmado por los pacientes participantes en el estudio antes de someterse a la prueba PET.

En los siguientes párrafos describimos las bases fisiológicas para poder detectar miocardio viable mediante la PET y se explicaran las fases y acciones de enfermería que se han desarrollado durante la beca.

## La viabilidad miocárdica

La viabilidad miocárdica se define como la existencia de tejido miocárdico que presenta una severa alteración de la contractilidad, perfundido por arterias estenóticas, y que recupera la función si se restaura el flujo coronario. La utilidad clínica de la determinación de la viabilidad miocárdica es, en consecuencia, diferenciar las zonas de cicatriz de los segmentos miocárdicos viables que presentan alteraciones de la contractilidad, pero que conservan suficiente teji-

do vivo y que, por tanto, pueden beneficiarse de las técnicas revascularizadoras (3,4). La diferenciación del miocardio isquémico del necrótico presenta notables dificultades en el diagnóstico clínico. Los criterios clínicos, electrocardiográficos, coronariográficos, etc., presentan notables limitaciones. Es en este ámbito donde las técnicas de Medicina Nuclear, encabezadas por la PET, juegan un papel importante en la identificación del miocardio viable. En la actualidad se puede afirmar que no todos los pacientes con enfermedad coronaria y disfunción ventricular deben ser catalogados de patología irreversible y definidos como candidatos a trasplante cardíaco. La PET puede rescatar a un porcentaje de ellos, con miocardio viable y que van a beneficiarse de las técnicas de revascularización miocárdica.

### Metabolismo miocárdico

El miocardio requiere para realizar su función mecánica una primera fuente de energía que son los ácidos grasos. En menor medida, carbohidratos, lactatos, piruvatos y aminoácidos, que van a ser oxidados en la célula miocárdica para producir compuestos de alta concentración energética como el ATP. Este proceso metabólico requiere un importe proceso oxidativo que también es necesario para la eliminación de los productos derivados de la oxidación de estos sustratos. La contracción ventricular normal depende en consecuencia de la normal perfusión tisular. En estados de isquemia miocárdica hay una modificación del metabolismo, con mayor utilización de la glucosa a través de la glicólisis anaerobia. No obstante, la persistencia de este proceso va a conducir a la acumulación de lactato con inhibición de la vía glicolítica. Existen dos situaciones definidas del metabolismo miocárdico conocidas como "miocardio hibernado" y "miocardio aturdido". El término de miocardio hibernado fue utilizado por primera vez por Diamond (5) para describir la disfunción contráctil producida por la disminución crónica o reiterada del flujo sanguíneo coronario, que es potencialmente reversible con la restauración de este. En esas circunstancias el metabolismo celular utiliza en mayor medida la glicólisis anaerobia que los ácidos grasos. El miocardio aturdido es la alteración metabólica y de contractilidad que sigue a un episodio de isquemia miocárdica y que persiste a pesar de la restauración del flujo, mediante trombolisis o angioplastia. En estas condiciones, la perfusión puede ser normal pero la isquemia aguda ha provocado en estos casos alteraciones reversibles de la contractilidad. Desde el punto de vista metabólico se observa una disminución de la vía oxidativa.

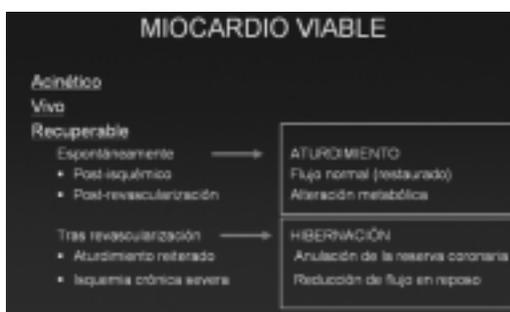


Fig2. Aturdimiento vs Hibernación miocárdica. Gentileza Dr.Castell

### Radiotrazadores

Los radiotrazadores de perfusión miocárdica utilizados en la realización de la PET, podrían dividirse en dos grandes grupos según el mecanismo por el cual proporcionan información. El primer grupo comprendería aquellos trazadores retenidos en el miocardio, ya sea en el compartimento intravascular o en el intracelular. El segundo grupo incluye aquellos trazadores que difunden libremente entre los compartimentos intravasculares e intracelulares.

Los radiofármacos más empleados en los estudios de perfusión coronaria son aquellos retenidos en el miocardio, como el N13-amonio y el Rb-82. Gracias a las características técnicas de la PET, estos métodos permiten obtener cuantificaciones absolutas de la perfusión miocárdica basal y del flujo coronario de reserva tras intervención fisiológica medicamentosa (6,7).

El corazón se caracteriza por poseer una demanda energética muy elevada. Cada 100 gramos de tejido miocárdico necesita entre 6-8 ml/min de oxígeno mientras que el músculo esquelético sólo requiere 0,15 ml/min por el mismo peso de tejido. Aproximadamente el 80% del consumo miocárdico de oxígeno se relaciona con el trabajo mecánico cardíaco, mientras que el restante 20% es utilizado en el mantenimiento de la actividad celular. La extracción miocárdica de oxígeno es alta por lo que en condiciones normales el flujo coronario debe estar cercano a los requerimientos energéticos cardíacos. En consecuencia, la relación entre el flujo coronario y el consumo miocárdico de oxígeno es lineal y el incremento del flujo es el único mecanismo para incrementar la oferta de oxígeno en el tejido.

En comparación con otras técnicas nucleares que valoran primordialmente la perfusión miocárdica como resultado de dos variables indistinguibles: flujo arterial e integridad celular, la PET permite el examen por separado del metabolismo miocárdico y su relación con el flujo coronario regional. Durante un episodio de isquemia, tanto el miocardio aturdido como el hibernado presentan, como hemos comentado, un incremento de la utilización de glucosa por vía anaerobia y una disminución de la beta-oxidación de los ácidos grasos libres. En consecuencia, se puede observar que el miocardio isquémico presenta un aumento de lactato y una disminución de la producción de anhídrido carbónico como expresión de una actividad oxidativa disminuida.

El trazador empleado para valorar el metabolismo miocárdico es la F-18-FDG, que tras administración por vía intravenosa, se incorpora a la célula miocárdica a través de proteínas transportadoras cuya actividad es sensible a la insulina. Una vez en el espacio intracelular es fosforilada por la acción de la hexoquinasa, formando un sustrato no adecuado para la síntesis de glucógeno, para

ser incorporado al ciclo de las pentosas. La captación de la F-18-FDG por el miocardio refleja la suma del transporte y fosforilación de la glucosa. El F-18-FDG es transportado de la sangre al miocardio en proporción a los niveles de glucosa. Tras 40-60 minutos de la inyección de F-18-FDG la concentración tisular representa la tasa de utilización o consumo regional de la glucosa.

Al producirse un acontecimiento isquémico en el infarto se observa un defecto de metabolismo en la región afectada mientras que en el miocardio capaz de recuperar la contractilidad, si se normaliza la perfusión (miocardio viable), se evidencia la actividad glicolítica. La PET proporciona una información fundamental: si se observan defectos de metabolismo en cualquier territorio miocárdico es señal inequívoca de apoptosis celular (necrosis), en cambio, la presencia de metabolismo en un territorio con defectos de perfusión es evidencia de viabilidad.

### Patrones metabólicos, isquemia, necrosis y tejido viable

El estudio de la viabilidad miocárdica mediante la PET se ha realizado siguiendo diferentes metodologías. La más empleada es la que implica al N-13-amonio como medidor de flujo y para la medición de la utilización miocárdica de glucosa se usa la F-18-FDG. Cuando se utiliza la PET, el área isquémica viable presenta un aumento de la captación de FDG, hecho diferencial con respecto a los estudios realizados con Talio-201 o Isonitrilos, donde el área patológica presenta una disminución en la captación (8). Algunos centros optan por realizar un SPET de perfusión miocárdica con tecnecios y un estudio de viabilidad con FDG.

Considerando el flujo regional y la captación de F-18-FDG, pueden obtenerse dos patrones (9):

1. Coincidencia Flujo-Metabolismo ("Flow-Metabolism Match")
2. Desajuste Flujo-Metabolismo ("Flow-Metabolism Mismatch")

Un patrón coincidente Flujo-Metabolismo puede representar tanto una situación de tejido miocárdico normal (flujo normal acompañado de captación normal de F-18-FDG), como la manifestación de tejido cicatricial (flujo disminuido acompañado de reducción en la captación de F-18-FDG).

El patrón denominado desajuste flujo-metabolismo que sugiere tejido isquémico pero viable, consiste en la disminución regional del flujo sanguíneo asociado a un incremento absoluto o relativo de la captación regional de F-18-FDG. Ese patrón representa la reducción del flujo sanguíneo regional con consumo de glucosa aumentado.

La técnica PET se ha utilizado en la fase aguda del infarto de miocardio, hallándose un patrón de desajuste flujo-metabolismo con captación aumentada de F-18-FDG, posiblemente secundaria a una mayor actividad de

las vías glicolíticas anaeróbicas en las regiones hipoperfundidas (10). La PET se ha convertido en la técnica diagnóstica más precisa para localizar el tejido miocárdico viable en pacientes con alteración de la función ventricular izquierda y ha adquirido un papel decisivo relevante en la identificación de los pacientes que se beneficiarán de la revascularización coronaria. En los últimos años diversos trabajos con seguimiento clínico prolongado han confirmado que la utilización de la caracterización mediante estudios de flujo-metabolismo permite seleccionar adecuadamente el tratamiento idóneo para cada paciente (11,12).

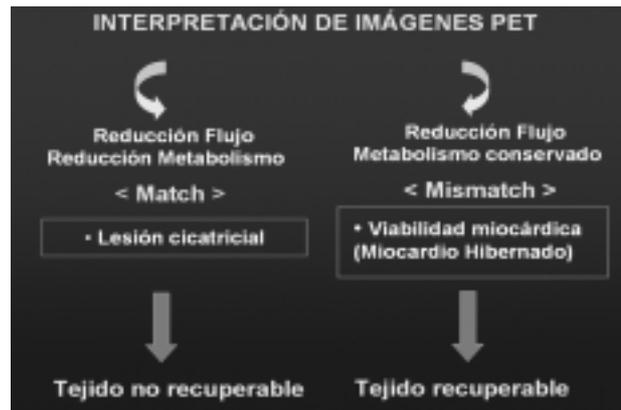
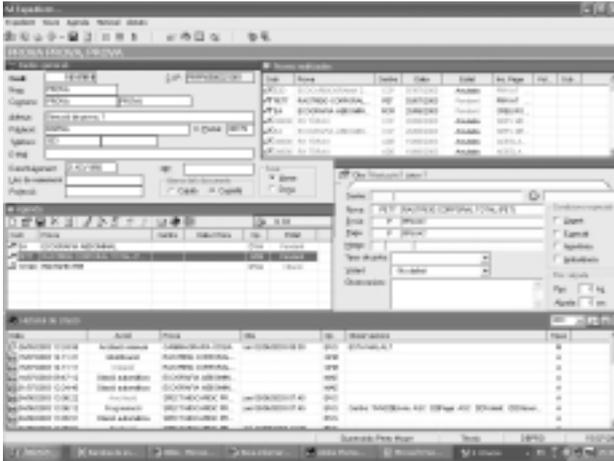


Fig3. Patrones de Match-Mismatch. Gentileza Dr. Simó

### Atención de enfermería durante la realización de la PET en cardiología

El personal de la unidad PET debe ser consciente que el paciente con cardiopatía isquémica es un paciente de alto riesgo y que estadísticamente existe posibilidad de muerte al efectuar pruebas con estrés farmacológico. Por este motivo la citación de este tipo de pacientes debe de ser muy meticulosa y se informará al paciente de la necesidad de firmar un documento de consentimiento informado, a través del cual deje constancia escrita a nivel legal de los riesgos que asume y que previamente ha sido informado de ellos por el equipo sanitario de la unidad.

La citación se realiza vía telefónica por las secretarías, preguntando por: posibilidad de embarazo, lactancia, necesidad de sedación, diabetes mellitus, etc.). Se proporcionará la información básica sobre el procedimiento, su duración, la preparación y los riesgos. En el registro de datos personales se indicará al paciente que porte al centro todas las exploraciones diagnósticas recientes (electrocardiogramas, ecocardiografías, prueba de esfuerzo, estudios SPECT de perfusión, coronariografías, biopsias, etc.) y informes médicos relacionados con su enfermedad cardíaca.



Los estudios PET con estimulación farmacológica (estudio del flujo coronario con  $^{13}\text{N}$ -amonio y adenosina), deben realizarse bajo supervisión de un cardiólogo y en un centro dotado con unidad de coronarias o UCI. Aquellas unidades PET que no estén ubicadas en un centro hospitalario y no dispongan de dichas unidades, deberán contactar con un servicio de UCI-móvil que este presente durante el test, por si surgieran complicaciones graves.

#### Medidas previas de preparación

- Ayuno
- Hidratación
- Medicación previa
- Pruebas complementarias

#### Ayuno

Se recomienda la necesidad de ayuno previo de un período mínimo de 4-6 horas. Está contraindicada la ingesta de café, té, colas y otros estimulantes 48 horas antes de la realización del estrés farmacológico con adenosina. El ayuno es muy importante para una correcta incorporación del radiotrazador  $^{18}\text{F}$ -FDG durante la fase del estudio de viabilidad miocárdica.

Debemos recordar que el metabolismo del miocito cardíaco se basa fundamentalmente en la Beta oxidación de los ácidos grasos, por este motivo, si el paciente no realiza un ayuno correcto, podría no visualizarse el corazón en el momento de la adquisición PET. El miocito seguiría nutriéndose de los ácidos grasos circulantes y la glucosa exógena la  $^{18}\text{F}$ -FDG) inyectada no se fijaría en el corazón.

#### Hidratación

Es recomendable haber realizado una buena hidratación (entre 0,5-1l. de agua) las dos horas previas a la realización del estudio PET.

#### Medicación previa

Como regla general no es necesario suspender ninguna medicación que tome el paciente, salvo que el cardiólogo prescriptor de la prueba desee realizar el test sin tratamiento farmacológico.

Es imprescindible dejar constancia de todos los medicamentos que toma el paciente. Algunos fármacos como los beta-bloqueantes pueden impedir que el corazón llegue a un porcentaje óptimo de taquicardización durante la fase del estudio con estrés farmacológico. Otros medicamentos como las xantinas son incompatibles con la administración de la Adenosina. Los pacientes con enfermedad obstructiva crónica (EPOC) y que utilicen broncodilatadores deberán comunicarlo previamente al personal del centro. También es muy imprescindible conocer si el paciente toma antiagregantes plaquetarios, hipolipemiantes, IECAS, antiarrítmicos, inmunosupresores en pacientes transplantados, antidiabéticos orales/insulina, etc.

#### Pruebas complementarias

En un principio pueden el paciente puede someterse a todo tipo de pruebas diagnósticas antes de la realización de un estudio PET en cardiología, aunque será el propio cardiólogo prescriptor de la prueba, el que valore este hecho (semanas post-infarto, tratamiento farmacológico, angina inestable, etc.)

#### Recepción del paciente

A la llegada al centro, la secretaria abre una historia administrativa, recoge las exploraciones aportadas y deriva al paciente al control de enfermería. Se informa a los familiares de la duración aproximada del test y el diplomado en enfermería explica la metodología que se va a seguir.

El personal de enfermería acompaña al paciente a un box y se realiza la historia detallada de enfermería. La realización de la historia al paciente cardiológico es de vital importancia para llevar a término con éxito la exploración y así, evitar cualquier acontecimiento grave.

#### Historia clínica y de enfermería

- Embarazo y lactancia
- Última menstruación
- Peso y altura
- Diabetes Mellitus
- Valoración de sondaje vesical
- Miorrelajantes. Sedación. Anestesia general.
- Administración de la dosis de  $^{13}\text{N}$ -amonio (estudio flujo coronario basal)
- Administración de la dosis de  $^{13}\text{N}$ -amonio (estudio flujo coronario con estrés farmacológico con Adenosina)

- Administración de la dosis de 18F – FDG en el estudio de viabilidad miocárdica
- Enfermedad actual. Motivo de la PET.
- Tratamientos complementarios
- Medicación actual
- Antecedentes patológicos

### Fases del estudio PET en cardiología. Preparación del paciente

Los estudios PET en cardiología pueden tener diversas finalidades pero las tres principales son:

1. Estudio de flujo coronario basal con 13N-amonio
2. Estudio de flujo coronario con 13N-amonio tras estrés farmacológico con adenosina
3. Estudio de viabilidad miocárdica con 18F-FDG

A continuación vamos a proceder a explicar las distintas fases del estudio PET en el paciente cardiológico, los cuidados y las técnicas de enfermería que se aplicarán en cada una de ellas.

#### 1. Estudio de flujo coronario basal

##### Técnicas de enfermería

Previa caterización de una vena antecubital en ambos brazos (preferiblemente con 2 abocaths de calibre grande, nº20) se coloca al paciente en posición decúbito supino en la camilla del tomógrafo. La correcta colocación del paciente en el campo de adquisición se realizará mediante un estudio previo de transmisión, de unos 2 minutos.

Uno de los mayores inconvenientes de las pruebas PET en cardiología es la posición de los brazos del paciente durante la adquisición tomográfica. Enfermería debe garantizar la permeabilidad de las vías en ambos brazos, ya que durante la obtención de las imágenes el paciente debe estar con los brazos en alto, sujetándose con las manos a una barra que actúa como asidero. Esta posición provoca bastante fatiga muscular al paciente. Ciertos pacientes pueden temblar debido a su bajo tono de su musculatura pectoral y brazos, por este motivo es muy importante alentar al paciente a permanecer lo más quieto posible, recordándole que entre las diversas fases del estudio existen períodos de descanso.

Otro de los problemas que enfermería puede encontrarse es que debido a la posición de los brazos, que las alarmas de ambas bombas de perfusión, una en cada brazo, se activen a consecuencia de la presión negativa originada por gravedad. También es posible que si el paciente no es cuidadoso con los movimientos de los brazos, las cánulas de los abocaths se doblen y toquen pared venosa lo que provoca la obstrucción al flujo de

perfusión. Con cambios posturales y manipulaciones manuales pueden solventarse estos pequeños problemas.

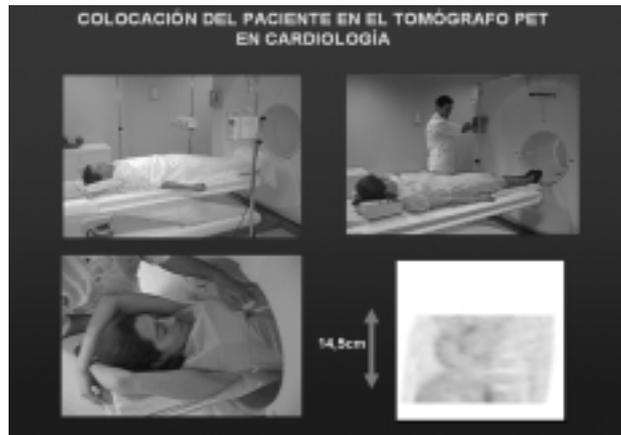


Fig4. Colocación del paciente en el PET. Gentileza Sr. López y Sr. Pérez

Finalizado el estudio de transmisión, y previa verificación de un correcto centrado del paciente, se inicia la administración intravenosa mediante bomba de perfusión del 13N-amonio. La dosis del 13N-amonio se calcula a razón de 0.25 mCi de 13N-amonio por Kg. de peso, con una dosis máxima de 20 mCi, diluyéndose en 50cc de suero fisiológico. La calibración y la preparación de la jeringa con la dosis se efectúa en la cámara caliente, adoptando las medidas de radioprotección oportunas (distancia, tiempo y blindaje). La administración del radiotrazador se realiza de forma lenta durante 2 minutos y 30 segundos. Inmediatamente, tras el inicio de la perfusión se empieza una detección dinámica de imágenes. La secuencia de imágenes establecida es de 1 imagen cada 10 segundos durante los dos primeros minutos; una imagen cada 30 segundos del minuto 3 al 5, seguido de 3 imágenes de 2 minutos y 4 imágenes de 5 minutos. La duración total del estudio será de 30 minutos. Posteriormente se efectúa un estudio de transmisión de 10 minutos, para la corrección por atenuación (13).

Durante esta fase se registraron las variables de cada paciente, ningún paciente presentó molestias al realizar la detección tomográfica. No se registró ninguna extravasación del radioisótopo, tan sólo un paciente presentó signos leves de flebitis en su extremidad superior izquierda debido a la posición de los brazos. La calidad de los estudios fue óptima en los 25 casos, por lo que se decidió proseguir con el protocolo establecido.

Al finalizar esta parte del estudio el paciente podrá descansar durante unos 30 minutos hasta que se inicie la segunda parte del test.

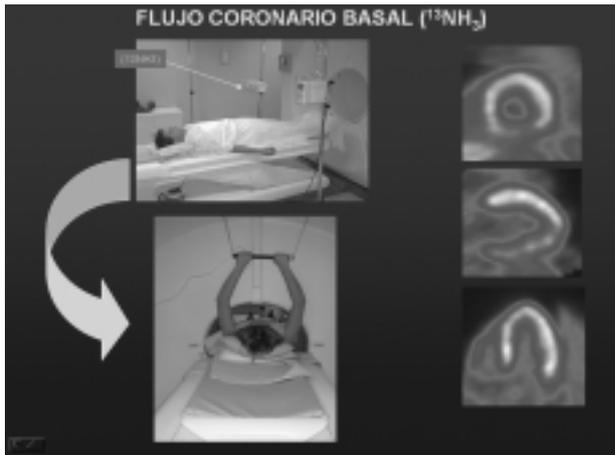


Fig5. Flujo coronario basal. Gentileza Sr. López y Sr. Pérez

## 2. Estudio de flujo coronario tras estrés farmacológico con adenosina

### Técnicas de enfermería

Finalizado el estudio del flujo coronario basal, deberá esperarse un mínimo de 30 minutos para que desaparezca la radiactividad del N13-amonio.

Bajo supervisión de un cardiólogo, se inicia la administración de la adenosina en bomba, a razón de 0.14 mg por Kg de peso y minuto, durante 6 minutos. La adenosina debe ser administrada sin diluir y se recomienda separar los puntos de administración intravenosa del radionúclido y realizar las determinaciones de la presión sanguínea en el brazo opuesto al de la perfusión de este vasodilatador coronario para evitar un efecto "bolus". Durante todo este período se realizará una correcta monitorización electrocardiográfica del paciente, con tomas seriadas de frecuencia cardíaca y tensión arterial.

Asimismo se registrarán todas las posibles incidencias destacables. Al inicio del tercer minuto de la administración de adenosina, se administrará la dosis de N13-amonio. La dosis y forma de administración del amonio se realizará de la misma manera al descrito con anterioridad en el estudio basal.

La adenosina (ADENOSCAN®) intravenosa es un vasodilatador coronario que incrementa el flujo sanguíneo en el músculo cardíaco. El profesional de enfermería debe conocer que este fármaco está contraindicado en pacientes con:

- Hipersensibilidad conocida a la adenosina
- Bloqueo A-V de segundo o tercer grado, síndrome del seno enfermo excepto en pacientes con marcapasos artificial funcionando
- Síndrome del QT largo
- Hipotensión grave

- Angina inestable no estabilizada satisfactoriamente con terapia médica
- Insuficiencia cardíaca descompensada
- EPOC con presencia de broncoespasmo (p.e. asma bronquial)
- Uso concomitante con Dipyridamol.

La administración de la adenosina junto a otros fármacos, alimentos o bebidas puede cambiar sus efectos. El personal de enfermería debe informarse sobre si el paciente está tomando dipyridamol, aminofilina, teofilina y otras xantinas, ya que estos fármacos deben evitarse durante las 48 horas previas al estrés farmacológico.

No deberá tomarse té, cola, café, o cacao ni comer chocolate durante, al menos, 12 horas antes de la exploración. La adenosina puede ser co-administrada con seguridad con otros medicamentos cardioactivos o vasoactivos. Los efectos relacionados con las características farmacológicas conocidas de la adenosina son frecuentes, pero generalmente auto-limitados y de corta duración.

Los más frecuentes son: rubor facial, dolor u opresión torácica y disnea. También se han registrado cefaleas, vértigos o sensación de mareo, molestias abdominales, torácicas, en el cuello y en la mandíbula. Con menor frecuencia broncoespasmo, hipotensión, bloqueo A-V, depresión del ST, arritmia (taquicardia ventricular sostenida o no sostenida), sudoración, congestión nasal, hormigueos, nerviosismo, parestesias, temblor, somnolencia, tinnitus, visión borrosa, sequedad de boca, sabor metálico, disconfort en piernas y brazos, debilidad y urgencia urinaria. Puede ser necesario interrumpir la perfusión. Las metilxantinas, tales como la aminofilina o la teofilina intravenosas, se han utilizado para poner fin a los efectos secundarios persistentes. Por este motivo el diplomado debe tenerla preparada a razón de 50-125 mg según peso y administrar en inyección intravenosa lenta. Durante esta fase se registraron las variables de cada paciente, 2 pacientes presentaron molestias precordiales tras la administración de adenosina endovenosa y 3 pacientes mostraron signos de vasodilatación periférica que remitieron tras la administración de eufilina. Durante esta fase enfermería monitorizó la tensión arterial y controló las perfusiones de ambas bombas así como el registro electrocardiográfico. No se existió ninguna extravasación del radioisótopo. A 2 pacientes se les tuvo que sustituir las vías debido a que involuntariamente se las habían arrancado. Estos 2 pacientes presentaron signos leves de flebitis. La calidad de los estudios fue óptima en los 25 casos, por lo que se decidió proseguir con el protocolo establecido.

Una vez finalizada la segunda parte del test se dejará descansar al paciente.



Fig. 6. Flujo coronario con adenosina. Gentileza Sr. López y Sr. Pérez

### 3. Estudio de viabilidad miocárdica con 18F-FDG

#### Técnicas de enfermería

Inmediatamente finalizado el estudio de 13N-amonio con adenosina, se iniciará el protocolo de viabilidad miocárdica con 18F-FDG. Dadas las particulares metabólicas del músculo cardíaco, y para conseguir una adecuada entrada del radiofármaco en la célula miocárdica, se realizará el método "clamp- hiperinsulinémico". Esta metodología se basa en la administración endovenosa simultánea, en bomba, de 50ui de insulina rápida, previamente diluida en 50cc de suero fisiológico y de un suero glucosado al 20% con CIK (280/Kg paciente).

La velocidad de administración inicial de la insulina, se calculará mediante la fórmula: peso del paciente en Kg./ 2.5ml/hora. La velocidad de la bomba de glucosa se calculará según la fórmula, peso del paciente (en Kg.) multiplicado por 1.2ml/hora. A los 4 minutos del inicio de la perfusión de insulina, se reducirá su velocidad a la mitad hasta llegar a una velocidad de Kg. de peso dividido 10ml/hora. La velocidad de la bomba de glucosa se irá modificando, con la finalidad de conseguir unos niveles de glucemia de entre 85 y 95mg/dl. Una vez obtenidos estos niveles, se administrará la dosis de 18F-FDG en bolus. La dosis administrada será de 0.125 multiplicado por el peso del paciente, con una dosis máxima de 10 mCi.

Tras la administración del radiotrazador, deberá esperarse aproximadamente unos 45 minutos, para una correcta incorporación de la FDG al miocardio. Posteriormente se iniciará la adquisición de las imágenes, mediante un estudio dinámico a razón de una imagen cada 10 minutos durante media hora. Durante toda la exploración, se realizarán determinaciones seriadas de glucemia, y se procederá en consecuencia ante situaciones adversas de hipoglucemias arritmias, etc. Una vez finalizado el estudio de emisión, se realizará un estudio de transmisión de 10 minutos.

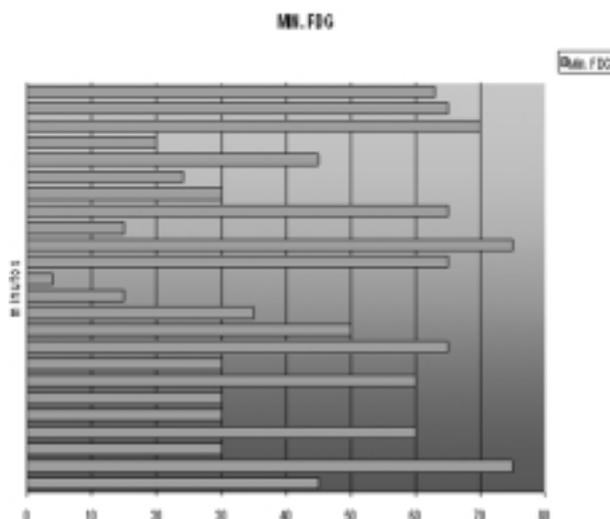


Gráfico1. Minuto de inyección de la 18F-FDG estudio viabilidad

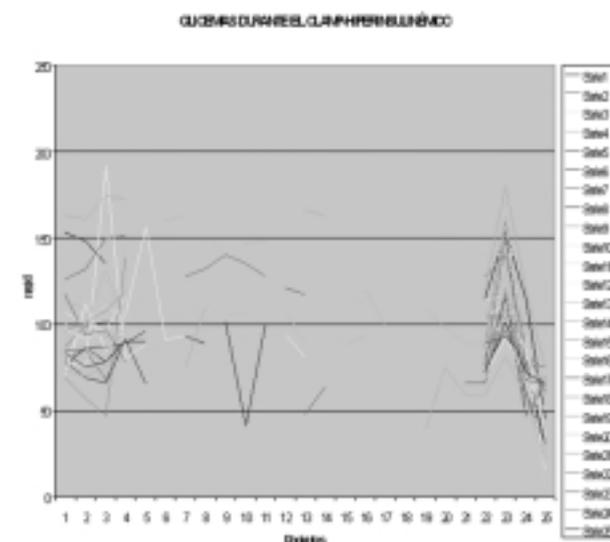


Gráfico2. Curvas de glicemias durante el clamp-hiperinsulinémico

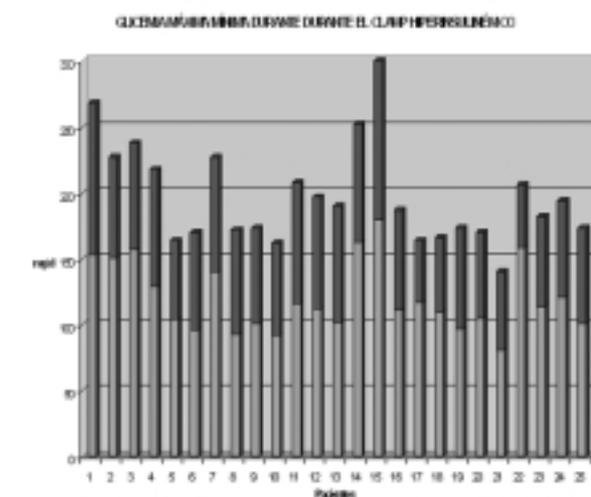


Gráfico3. Glicemia Máx. ./ Mín. durante el clamp-hiperinsulinémico

Protocolo Clamp-hiperinsulinémico:				80 kg.
TIEMPO 0	Bomba insulina (Gastro 25 mU/kg)	32 mU/kg	Glucemia =	87
TIEMPO 4	Bomba insulina (Gastro 25 mU/kg)	16 mU/kg	Glucemia =	91
	Infusión glucosa 20% (1g X 1 (2ml/kg) = 20g	mU/kg		
	Clamp + 200mg = 3.3. g	"Además 6 gr"		
TIEMPO 7	Bomba insulina (Gastro 25 mU/kg)	8 mU/kg	Glucemia =	115
TIEMPO 10			Glucemia =	117
TIEMPO 30			Glucemia =	108
TIEMPO 45			Glucemia =	89
TIEMPO 60			Glucemia =	83
TIEMPO 75			Glucemia =	80
TIEMPO 90			Glucemia =	82

Fig7. Ejemplo de plantilla confeccionada para el seguimiento del protocolo hiperinsulinémico. En este caso se muestran los valores de las glicemias y los cálculos de velocidades perfusión de un paciente de 80kg de peso. (Gentileza Sr. Pérez)

### Interpretación de imágenes tomográficas

En oncología son clásicos los cortes ortogonales con respecto a los ejes del cuerpo (sagital, transversal y coronal). Sin embargo en cardiología este tipo de cortes ofrecen una mala representación de las paredes ventriculares por lo que se ha de reorientar el ventrículo izquierdo siguiendo los propios ejes del corazón. Para estandarizar la tomografía cardíaca se han adoptado los ejes oblicuos que dependen de la orientación del corazón (Figura 8).

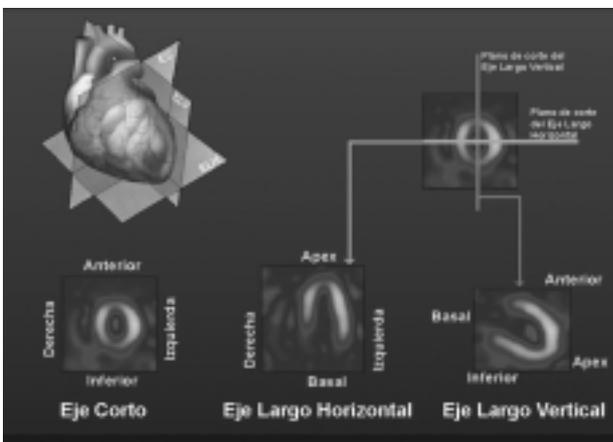


Fig8. Cortes tomográficos del corazón. Gentileza Dr. Ortega

### Imágenes PET. Caso

Paciente que sufrió un infarto de miocardio tratado con trombolisis y angioplastia primaria que fue remitido a nuestro centro PET para una valoración de la viabilidad miocárdica.

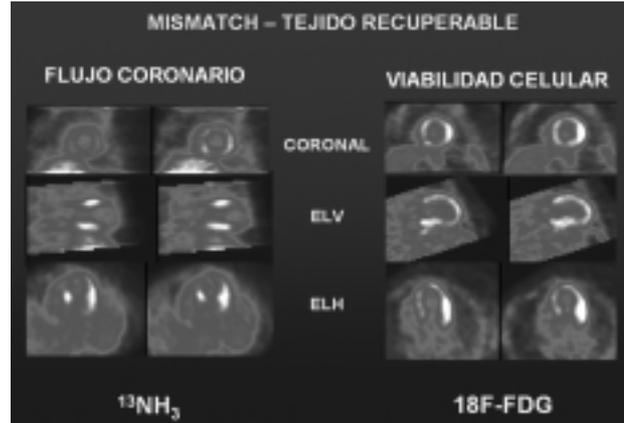


Fig9. Los cortes tomográficos obtenidos durante el estudio PET con adenosina muestran un extenso defecto de perfusión en los territorios antero-septo-apical e infero-apical. Al efectuar el estudio con FDG se visualiza una conservación del metabolismo celular en todo aquel territorio miocárdico que presentaba alteraciones del flujo. Se dictaminó que el paciente presentaba un patrón de viabilidad celular por lo que se aconsejó by-pass aortocoronario. Gentileza Dr. Simó. CETIR Grup Mèdic.

### Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento y efusiva felicitación a todo el equipo de la unidad PET de Cetir Grup Mèdic.

Dr. Francisco Lomeña Caballero, Dr. Marc Simó Perdigó, Dr. JR García Garzón, Dra. Marina Soler Peter, Dr. Carles Pons Beristain, Carmen Gahete Santiago, Judith Estela Galtés, Gumer Pérez Moure, Sergi López Gandul.

### Bibliografía:

- 1.-Bergman SR. Cardiac positron emission tomography. Semin. Nucl Med 1998 Oct; 28 (4): 320-40
- 2.-Gambhir SS, Czernin J, Silverman DH, Coleman RE, Phelps ME. A tabulated summary of the FDG PET literature. J Nucl Med, 2001 May; 42 (5 Suppl): IS-93S
- 3.-Dilsizian V. Myocardial Viability: Contractile reserve or cell membrane integrity? J Am Coll Cardiol 1996; 28:443-6.
- 4.- Braunwald E, Rutheford JD. Reversible ischemic left ventricular dysfunction: Evidence for the "hibernating myocardium". J Am Coll Cardiol 1986; 8: 1467-1470.
- 5.-Gropler RJ, Bergmann Sr. Myocardial Viability, What is the Definition? J Nucl Med 1991; 32:10-2
- 6.-Diamond GA, Forrester JS, de Luz P, Syatt HL, Swan HJ. Post-extrasystolic potentiation of ischemic myocardium by atrial stimulation. Am Hert J. 1978,95:204-9.
- 7.-Lee KS, Marwick TH, Cook SA et al. Prognosis of patients with left ventricular dysfunction, with and without viable myocardium after myocardial infarction. Relative efficacy of medical therapy and revascularization. Circulation 1994; 90: 2687/2694.
- 8.- Gelbard A, Clarke L, McDonald J Enzymatic synthesis and organ distribution studies with 13N-labeled L-glutamine and L-glutamic acid. Radiology 1975; 116:127-132
- 9.- Krivokapich J, Smith GT, Huang SC. 13N ammonia myocardial imaging at rest and with exercise in normal volunteers. Quantification of absolute myocardial perfusion with dynamic positron emission tomography. Circulation 1989; 80: 1328-1337