

# Evaluación de la perfusión miocárdica con tomografía computarizada por emisión de fotones individuales (SPECT) cardíaco: utilidad del protocolo sólo-estrés

Enrique Vallejo\*, César Acevedo, Samuel Varela, José Carlos Alburez y David Bialostozky

Servicio de Cardiología Nuclear, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, México, D.F.

## Resumen

*La evaluación de la perfusión miocárdica con single photon emission computed tomography (SPECT) está indicada en pacientes con sospecha de cardiopatía isquémica (CI). Sin embargo, el costo del estudio, el tiempo de adquisición y la radiación limitan su indicación. **Objetivos:** Demostrar que el protocolo sólo-estrés del SPECT cardíaco es suficiente para establecer el diagnóstico en pacientes con sospecha de CI, optimizando los recursos en cardiología nuclear. **Métodos:** 122 pacientes con sospecha de CI fueron evaluados con el protocolo sólo-estrés. Para evaluar los valores diagnóstico y pronóstico de este protocolo, los pacientes con SPECT anormal fueron evaluados con angiografía invasiva y los pacientes con SPECT normal fueron evaluados clínicamente durante tres años. **Resultados:** Con el protocolo sólo-estrés se obtuvo el diagnóstico en el 30% del tiempo requerido por el protocolo convencional, con un costo un 40% menor y con un 55% menos de radiación. La certeza diagnóstica y el valor pronóstico del protocolo sólo-estrés fueron comparables con los del protocolo convencional: valor predictivo positivo para enfermedad arterial coronaria (EAC) del 85% y valor predictivo negativo para eventos coronarios del 97%. **Conclusiones:** En pacientes con riesgo intermedio para CI, evaluar la perfusión miocárdica sólo con la fase de estrés es una estrategia que optimiza los recursos en cardiología nuclear y conserva el valor diagnóstico y pronóstico de la prueba.*

**PALABRAS CLAVE:** Enfermedad arterial coronaria. Perfusion miocárdica. SPECT cardíaco. Imagen de estrés

## Abstract

*Single photon emission computed tomography (SPECT) myocardial perfusion imaging is widely used for diagnosing coronary artery disease (CAD). However, SPECT costs, imaging time, and radiation exposure, limit SPECT indications. **Objective:** Determine whether a stress-only SPECT imaging would be enough to obtain a diagnosis of CAD improving nuclear laboratory efficiency. **Methods:** 122 patients with unknown CAD were evaluated with stress-only SPECT imaging. In order to evaluate diagnostic accuracy and the prognostic value of the stress-only protocol, patients with abnormal SPECT underwent invasive angiography and patients with normal SPECT were followed-up during 3 years. **Results:** Diagnosis time, SPECT cost, and radiopharmaceutical dosage were significantly lower as compared with the conventional SPECT imaging protocol (30, 40 and 55%, respectively). Diagnostic accuracy and cardiac prognosis information were comparable to those obtained with the conventional imaging protocol (positive predictive value for CAD of 85% and negative predictive value for cardiac events of 97%). **Conclusions:** In patients with intermediate risk for CAD, stress-only SPECT imaging will significantly improve nuclear laboratory efficiency, and with similar accuracy than that the one obtained with the conventional protocol.*

**KEY WORDS:** Coronary artery disease. Myocardial perfusion. Cardiac SPECT. Stress-only imaging.

### Correspondencia:

\*Enrique Vallejo

Servicio de Cardiología Nuclear y Tomografía Cardíaca

Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez

Juan Badiano, 1

Col. Sección XVI, C.P. 14080, México, D.F.

e-mail: vallejo.enrique@gmail.com

Fecha de recepción: 18-02-2011

Fecha de aceptación: 23-08-2011

## Introducción

La evaluación de la perfusión miocárdica con *single photon emission computed tomography* (SPECT) cardíaco es un método no invasivo, confiable y reproducible<sup>1-3</sup> para el diagnóstico, seguimiento y estratificación del riesgo coronario<sup>4-6</sup> en pacientes con EAC y/o CI. El SPECT cardíaco requiere de dos inyecciones del radiotrazador y de la adquisición respectiva de dos imágenes de perfusión (protocolo convencional); una de estas imágenes es adquirida 45-60 min después de la administración del radiotrazador en reposo y la otra, 30-45 min después de la administración del radiotrazador durante el estrés (físico y/o con vasodilatación farmacológica)<sup>7-11</sup>. Con la primera imagen se analiza la perfusión miocárdica en reposo (esto es [i.e.], evaluación indirecta del flujo coronario basal) y en pacientes con historia de infarto, la presencia de tejido viable. Con la segunda imagen se analiza la perfusión miocárdica en estrés (i.e., evaluación indirecta del flujo coronario máximo). En general, el diagnóstico de isquemia se obtiene cuando la imagen de estrés es anormal y la imagen de reposo es normal (i.e., disminución del flujo de reserva coronario)<sup>12</sup>.

El SPECT cardíaco tiene algunas limitaciones tales como el costo elevado del estudio, el tiempo prolongado de adquisición y la radiación administrada al paciente<sup>7</sup>. El costo por estudio, calculado en el Servicio de Cardiología Nuclear del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, es de 6,000 pesos y el tiempo mínimo de adquisición, de 4 h<sup>8</sup>. En nuestro servicio se realizan, en promedio, 12.5 estudios por día o 2,500 estudios anuales. El 85% de los pacientes referidos a este servicio son portadores conocidos de EAC y/o CI; por tanto, el SPECT cardíaco está indicado para el seguimiento y/o estratificación del riesgo coronario (10.6 pacientes por día). El otro 15% de los pacientes son referidos con el diagnóstico de dolor precordial en estudio y el SPECT cardíaco está indicado para descartar o confirmar la presencia de CI (1.8 pacientes por día). Es decir, que el Servicio de Cardiología Nuclear de nuestra institución invierte aproximadamente 2,160,000 pesos anuales y utiliza 1,600 h por año para obtener el diagnóstico definitivo en este grupo de pacientes, utilizando el protocolo de imagen convencional (Fig. 1 A).

Una alternativa para optimizar los recursos y mejorar la eficiencia del Servicio de Cardiología Nuclear es utilizar únicamente la fase de estrés y obtener el diagnóstico definitivo con una sola imagen en pacientes

con sospecha de CI (protocolo sólo-estrés [Fig. 1 B]). Si esta imagen no demuestra defectos de perfusión, se infiere que el flujo de reserva coronario es normal y que no existe CI; si la imagen demuestra defectos de perfusión, se infiere que el flujo de reserva coronario es anormal y el paciente es portador de CI, y se procede con el tratamiento definitivo<sup>13</sup>. En ambas situaciones, la imagen de reposo no aporta mayor información diagnóstica al estudio y, por tanto, es innecesaria<sup>14</sup>.

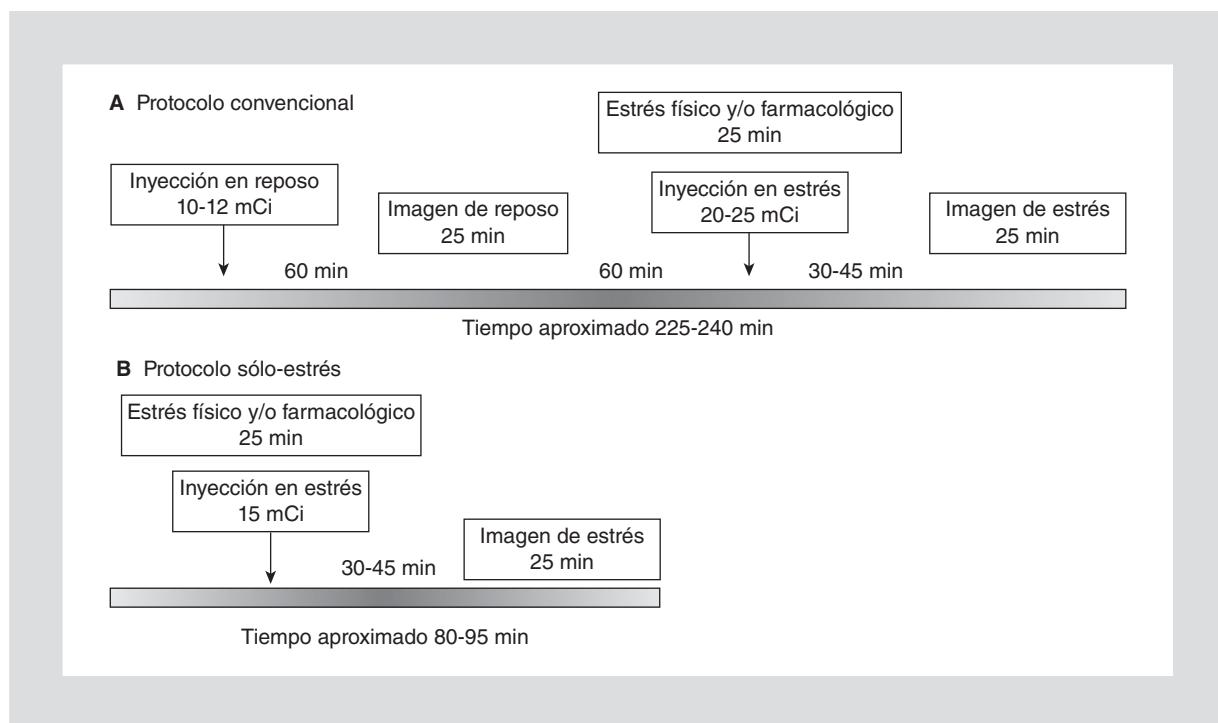
El objetivo de este estudio es demostrar que el protocolo sólo-estrés es suficiente para establecer el diagnóstico definitivo, estratificar el riesgo coronario y optimizar los recursos utilizados en cardiología nuclear para la evaluación de la perfusión miocárdica en pacientes con dolor torácico y sospecha de CI.

## Material y métodos

En un periodo de nueve meses se evaluaron 320 pacientes consecutivos referidos al Servicio de Cardiología Nuclear del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez por dolor precordial y sospecha de CI. En este protocolo fueron incluidos aquellos pacientes con riesgo preprueba intermedio para CI obtenido con base en la estratificación de riesgo propuesta por Diamond y Forrester<sup>15</sup>, con electrocardiograma (ECG) en ritmo sinusal, sin alteraciones en la conducción y/o ondas anormales. Fueron excluidos los pacientes que rechazaron participar en el estudio o bien aquellos en los que el médico tratante solicitó la evaluación con el protocolo SPECT estándar.

## Protocolo de imagen

Todos los pacientes fueron evaluados únicamente con la fase de estrés, realizada mediante esfuerzo físico en banda sin fin con el protocolo de Bruce o bien, en caso de existir alguna contraindicación a la prueba de esfuerzo en banda sin fin<sup>16</sup>, con vasodilatación farmacológica utilizando la infusión intravenosa de dipiridamol (0.56 mg/kg durante 4 min)<sup>11</sup>. El radiotrazador utilizado en todos los estudios fue sestamibi marcado con tecnecio-99 metaestable (Tc99m), inyectando 15 mCi (555 MBq) al momento de alcanzar el 85% de la frecuencia cardíaca (FC) calculada de acuerdo a la edad del paciente o bien 3 min después de finalizada la infusión del dipiridamol. Las imágenes postestrés fueron adquiridas 30 min después de la inyección del radiotrazador en los pacientes sometidos a estrés físico, o bien 45 min después en los pacientes sometidos a estrés farmacológico con dipiridamol.



**Figura 1. A:** se esquematiza la secuencia del protocolo convencional, compuesto por una fase de reposo (1.<sup>a</sup> inyección y 1.<sup>a</sup> imagen) y una fase de estrés (2.<sup>a</sup> inyección y 2.<sup>a</sup> imagen). **B:** ilustra que el protocolo sólo-estrés está compuesto únicamente por una inyección del radiotrazador durante la fase de estrés y su respectiva imagen.

## Adquisición y procesamiento de las imágenes

Las imágenes fueron adquiridas en sincronización con el ECG (SPECT-gated [SPECT-G]) utilizando una gammacámara de dos detectores (Hawkeye, General Electric), equipada con un tomógrafo de baja resolución para corrección de atenuación (SPECT/CT). Se utilizó el modo de adquisición secuencial (*step and shoot*) con un tiempo parcial de 40 s por imagen y un tiempo total de 21 min (más 4 min requeridos para la colocación del paciente en la gammacámara). La ventana energética fue simétricamente establecida al 20% sobre el valor máximo de energía fotónica para el Tc99m, que es de 140 KeV. El tamaño de la matriz de adquisición fue de 64 x 64 píxeles. Las imágenes fueron reconstruidas con un filtro de bajas frecuencias (Butterworth orden: 5; frecuencias de corte: 0.5 ciclos por píxel) y un filtro de altas frecuencias (filtro de rampa en la proyección posterior). Las imágenes planares dinámicas (*raw data*) fueron evaluadas en dos ocasiones (de forma posterior a la adquisición del estudio y durante la interpretación) para la detección de artificios de imagen. En todos los pacientes fueron evaluadas las imágenes postestrés sin corrección y con corrección para atenuación, utilizando el mapa

tomográfico creado automáticamente durante la reconstrucción de las imágenes<sup>17</sup>.

## Análisis de las imágenes

Las imágenes fueron analizadas utilizando un modelo de 17 segmentos<sup>18</sup>. Las imágenes fueron evaluadas independientemente por dos observadores utilizando una calificación semicuantitativa basada en 5 puntos: 0 = normal, 1 = defecto pequeño, 2 y 3 = defecto moderado y 4 = ausencia de captación. La evaluación final fue obtenida por la suma de las calificaciones de cada uno de los 17 segmentos analizados («índice de perfusión»). Las imágenes de estrés fueron consideradas como normales si el índice de perfusión era igual o menor a 3. El resultado fue considerado como anormal si el índice de perfusión postestrés era igual o mayor a 4 (defecto ligero: entre 4 y 8, defecto moderado: entre 9 y 13, defecto grave: mayor de 13)<sup>19</sup>.

## Seguimiento de los pacientes

El seguimiento de cada uno de los pacientes se realizó durante los siguientes 36 meses posteriores a la fecha del SPECT cardíaco, mediante la revisión del expediente clínico o una entrevista telefónica cada

seis meses. Se registraron todos los eventos de hospitalización por angina y/o revascularización coronaria (eventos menores), así como infarto y/o muerte (eventos mayores), sucedidos 60 días después del SPECT cardíaco. Los procedimientos de revascularización coronaria realizados en los siguientes 60 días al estudio de perfusión no fueron reportados como eventos adversos, sino como parte de la terapia establecida como consecuencia del resultado del SPECT cardíaco. Los resultados de la angiografía diagnóstica en estos pacientes fueron útiles para el análisis de la certeza diagnóstica de este protocolo. Los procedimientos de revascularización realizados después de 60 días del SPECT cardíaco fueron considerados como eventos mayores debido al deterioro en las condiciones clínicas de los pacientes. Para el cálculo de la certeza diagnóstica se utilizaron los hallazgos de la angiografía invasiva en aquellos pacientes que fueron sometidos a cateterismo por un resultado anormal del SPECT (valor predictivo positivo). En pacientes con perfusión normal en el SPECT el cateterismo cardíaco no está justificado y, por tanto, la certeza diagnóstica fue evaluada mediante el seguimiento clínico del paciente (valor predictivo negativo).

### Análisis estadístico

Los valores numéricos fueron expresados en promedio  $\pm$  desviación estándar (DE). La prueba *t* de Student, pareada y no pareada, fue utilizada para comparar los valores intragrupales e intergrupales, respectivamente. La concordancia de las calificaciones semicuantitativas de las imágenes fue analizada con la prueba de  $\kappa$ . El análisis del seguimiento clínico se realizó mediante la curva de sobrevida de Kaplan-Meier. La certeza diagnóstica y los valores predictivos positivo y negativo fueron calculados de forma convencional. Un valor de *p* menor de 0.05 fue considerado estadísticamente significativo.

### Resultados

#### Características de los pacientes

De los 320 pacientes evaluados en este periodo de tiempo, 105 (33%) fueron excluidos del estudio por alteraciones basales en el ECG, 63 (20%) porque el médico tratante solicitó la realización del estudio completo y 30 (9%) porque rechazaron ser parte de este protocolo. La población final del estudio quedó constituida por 122 pacientes: 71 del sexo femenino (58%) y 51 del sexo masculino (42%). El promedio de edad fue de

Tabla 1. Características clínicas de la población

n	122
Edad (años)	58 $\pm$ 8
Hombres	51 (42%)
FEVI (%)	61 $\pm$ 6%
Factores de riesgo	
DM	30 (25%)
Hipertensión arterial	80 (66%)
Tabaquismo	29 (24%)
Dislipidemia	30 (25%)
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	
20-25	88 (72%)
25-30	22 (18%)
> 30	12 (10%)
Estrés	
Físico	83 (68%)
Farmacológico	39 (32%)
Resultado del SPECT	
Normal	96 (79%)
Anormal	26 (21%)

DM: diabetes mellitus.

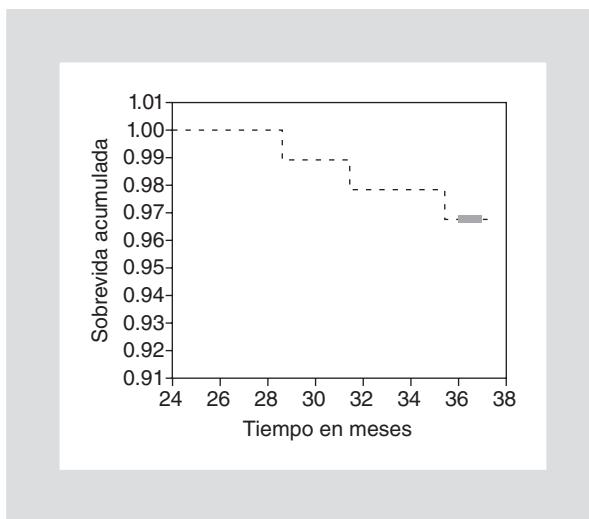
58  $\pm$  8 años. Con base en la estratificación de Diamond y Forrester, el riesgo clínico de ser portador de CI fue de 0.50  $\pm$  0.17 (i.e., riesgo intermedio). Las características clínicas de esta población se resumen en la tabla 1.

#### Fase de estrés

La fase de estrés se realizó con esfuerzo físico en 83 pacientes (68%). El promedio del tiempo de ejercicio fue de 7.5  $\pm$  3.4 min y el gasto energético, de 8.6  $\pm$  1.8 METS. En 16 pacientes (19%) se observó infradesnivel del punto J mayor de 1 mm con rectificación del segmento ST en el ECG. La fase de estrés se realizó con vasodilatación farmacológica en 39 pacientes (32%). En ninguno de los pacientes se observaron cambios en el ECG.

#### Resultados del estudio SPECT

Los pacientes fueron divididos en dos grupos: grupo 1: enfermos con SPECT anormal (*n* = 26, 21%) y



**Figura 2.** La curva de Kaplan-Meier demuestra la sobrevida acumulada libre de eventos coronarios durante el periodo de seguimiento de los pacientes con SPECT normal evaluados con el protocolo sólo-estrés. La sobrevida anualizada libre de eventos fue del 1%.

grupo 2: pacientes con SPECT normal ( $n = 96$ , 79%). En 89 pacientes (73%) el diagnóstico definitivo se obtuvo con sólo una imagen (imagen postestrés no corregida para atenuación). En cinco pacientes del grupo 1 y en 28 del grupo 2 ( $n = 33$  pacientes, 27%) se requirió de las imágenes postestrés corregidas para atenuación. El análisis semicuantitativo de las imágenes SPECT de los pacientes del grupo 1 demostró, en promedio, un índice de perfusión de  $10.01 \pm 3.10$  (i.e., perfusión anormal). El análisis semicuantitativo de la perfusión en los pacientes del grupo 2 demostró, en promedio, un índice de perfusión de  $3.12 \pm 0.62$  (i.e., perfusión normal). La concordancia del análisis semicuantitativo entre los dos observadores fue significativa ( $k = 0.8$ ; intervalo de confianza [IC] 95%: 0.223-1.231;  $p < 0.05$ ).

### Correlación angiográfica y seguimiento clínico

Todos los pacientes del grupo 1 fueron evaluados con angiografía coronaria. En 22 de estos enfermos el estudio angiográfico demostró lesiones coronarias significativas en por lo menos un vaso (valor predictivo positivo: 85%). En dos pacientes con SPECT anormal se demostraron lesiones no significativas de la coronaria derecha (obstrucción menor al 50% de la luz vascular) y en los otros dos no se demostraron placas ateromatosas. El seguimiento clínico de los pacientes del grupo 2 se completó en 94 sujetos (98%) con una duración de  $36 \pm 3$  meses. Durante este periodo,

cuatro pacientes fallecieron por causas no cardíacas y tres fueron internados con el diagnóstico de angina. La angiografía invasiva de estos enfermos demostró EAC significativa en el territorio de la circunfleja (dos pacientes) y en el de la coronaria derecha (un paciente). No se reportaron eventos coronarios mayores (valor predictivo negativo: 97%). La sensibilidad del protocolo sólo-estrés fue del 88% y la especificidad, del 95%. La incidencia anualizada de eventos coronarios fue del 1% (Fig. 2).

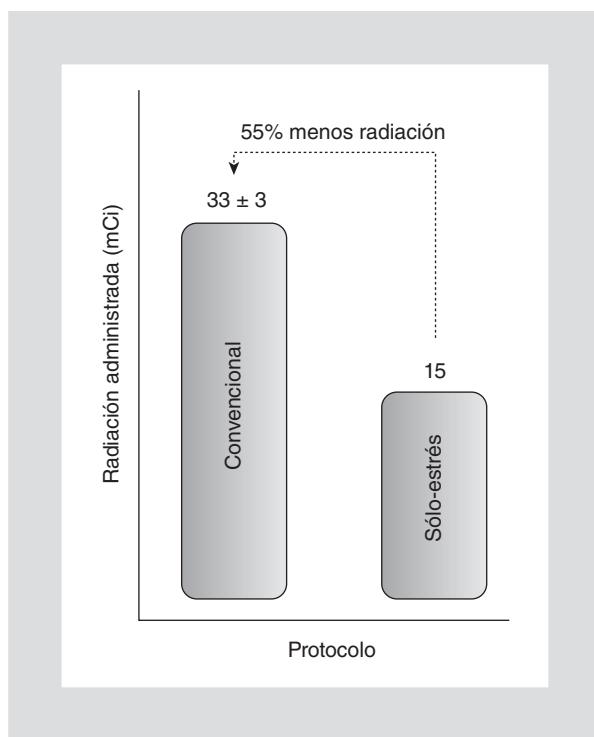
### Optimización de los recursos

Con el protocolo sólo-estrés, el diagnóstico final se obtuvo en menor tiempo que con el protocolo de dos imágenes (59.7 vs 204.7 min;  $p < 0.001$ ). El costo calculado para obtener el diagnóstico definitivo con el protocolo sólo-estrés fue de 439,200 pesos (3,600 pesos por estudio) en comparación con los 732,000 pesos que se hubieran necesitado para evaluar a estos 122 pacientes con el protocolo convencional. Es decir, que utilizando sólo la imagen postestrés los costos en la evaluación de la perfusión miocárdica se redujeron en un 40%.

Finalmente, con el protocolo sólo-estrés se administraron únicamente 15 mCi a cada uno de los pacientes y, en comparación con el protocolo convencional, la exposición a la radiación se redujo en un 55%. La calidad de la imagen obtenida con el protocolo sólo-estrés fue diagnóstica en todos los estudios e incluso la calidad del SPECT-G fue suficiente para evaluar la función ventricular izquierda de acuerdo a los parámetros establecidos previamente<sup>20</sup> (Fig. 3).

### Discusión

La certeza diagnóstica y el valor pronóstico del SPECT cardíaco han establecido esta técnica como una herramienta confiable en la evaluación no invasiva de los pacientes con sospecha de CI<sup>1-6</sup>. Sin embargo, el tiempo prolongado de adquisición, el costo elevado del estudio y la radiación administrada al paciente limitan sus indicaciones. Por tanto, es necesario evaluar nuevos protocolos de imagen que modifiquen favorablemente estas limitaciones. Los resultados de nuestro estudio demostraron que la certeza diagnóstica y el valor pronóstico del protocolo sólo-estrés son comparables al protocolo convencional en la evaluación de pacientes con sospecha de CI, pero con menor costo, menor tiempo de adquisición y menor radiación administrada al paciente.



**Figura 3.** La exposición a la radiación se reduce en un 55% con el protocolo sólo-estrés en comparación con el protocolo convencional. Esto se debe a que los pacientes evaluados con el protocolo sólo-estrés recibieron 15 mCi, en comparación con los  $33 \pm 3$  mCi que hubieran sido administrados en caso de utilizar el protocolo convencional.

### Optimización del tiempo de adquisición del estudio

Al reducir el tiempo que los pacientes permanecen en el Servicio de Cardiología Nuclear, se reduce también el tiempo de ocupación del personal médico y paramédico, y el tiempo de uso de la gammacámara. Con el protocolo sólo-estrés el diagnóstico definitivo se obtuvo con el 30% del tiempo requerido por el protocolo convencional. Uno de los grandes problemas de atención en nuestras instituciones de salud es el continuo incremento en la demanda de servicios, lo que ocasiona la saturación de los mismos y el retraso en la programación de los estudios. Este protocolo de imagen ofrece una solución a este problema. Por ejemplo, si en nuestro servicio se atiende un promedio de 360 pacientes anuales con sospecha de CI y, con base en nuestros resultados, se utilizarían 1,228 h para realizarles este estudio, con el protocolo sólo-estrés podríamos atender a este mismo número de pacientes en 368 h al año; en las 860 h «ahorraditas» se podría atender a otros 252 pacientes con sospecha de CI.

En consecuencia, en un año podríamos atender a 612 pacientes en nuestro servicio.

### Optimización de los costos del estudio

El análisis de nuestros resultados demostró que el diagnóstico definitivo, utilizando el protocolo sólo-estrés, se obtuvo con un costo un 40% menor al del protocolo convencional. Es decir, que en la evaluación de este grupo de pacientes se ahorraron 292,800 pesos. Sin embargo, si el tiempo de inclusión de pacientes al estudio hubiera sido de 12 meses y todos los pacientes y/o médicos tratantes hubieran aceptado el protocolo sólo-estrés, la cifra de pacientes incluidos en el año del estudio habría sido de 287, con un ahorro aproximado de 688,800 pesos en su evaluación diagnóstica. Finalmente, en el año siguiente al del estudio se realizaron en nuestra institución 463 estudios en pacientes con sospecha de CI (i.e., un incremento del 8%). Excluyendo el 30% de estos pacientes por ser portadores de un ECG basal anormal, 324 pacientes con sospecha de CI podrían haberse estudiado con el protocolo sólo-estrés; por tanto, en ese año el ahorro calculado sería de 777,600 pesos.

### Optimización de la radiación administrada

En los últimos años se ha incrementado el uso de auxiliares diagnósticos por imagen; por tanto, resulta indispensable asumir el precepto *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA)<sup>21</sup> y ocuparnos por exponer a los pacientes a la menor radiación posible. Con el protocolo sólo-estrés se logró reducir en un 55% la radiación administrada al paciente. Esta cifra fue alcanzada gracias a que, a diferencia de estudios previos<sup>14,22</sup>, administramos en estos pacientes sólo el 45% de la dosis utilizada con el protocolo convencional (15 vs 33 mCi), sin un impacto negativo en la calidad de la imagen. Actualmente se acepta que un estudio de imagen con alta exposición a la radiación es cuando se administra al paciente una dosis efectiva de 20-50 mSv<sup>23</sup>. La evaluación de la perfusión miocárdica con SPECT y protocolos convencionales con sestamibi o tetrofosmin alcanza una dosis efectiva de 13 mSv, y un protocolo dual (reposo con talio-201/estrés con sestamibi) o estrés/redistribución con talio-201 implica una dosis efectiva superior a los 20 mSv<sup>24</sup>. Con el protocolo sólo-estrés la dosis efectiva administrada al paciente es inferior a los 7 mSv. Este concepto es aún más importante en la evaluación de mujeres con riesgo bajo y/o intermedio para CI, ya que los efectos adversos de la

radiación son más frecuentes en la mujer que en el hombre; por tanto, el protocolo sólo-estrés es una mejor alternativa en esta situación<sup>23,24</sup>.

### Valor diagnóstico y pronóstico del protocolo sólo-estrés

Independientemente de que los recursos en cardiología nuclear fueran optimizados con este protocolo, era necesario confirmar que la certeza diagnóstica y el valor pronóstico del protocolo sólo-estrés son comparables con los obtenidos mediante el protocolo convencional. Los resultados de este estudio confirman que el valor predictivo positivo del sólo-estrés para identificar a los pacientes con EAC es del 85%, cifra comparable a la obtenida con el protocolo convencional<sup>1-4</sup>. Por otro lado, en los 36 meses de seguimiento de los pacientes con resultado normal sólo se registraron tres eventos de angina y no se reportaron eventos mayores (infarto y/o muerte). La incidencia anualizada de eventos coronarios fue del 1%, cifra que también es comparable con la reportada en la literatura utilizando el protocolo convencional<sup>25-27</sup>.

### Limitaciones del estudio

En las instituciones de tercer nivel, como el Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, que son hospitales de referencia para enfermos con padecimientos cardiovasculares y EAC establecida, la aplicación rutinaria del protocolo sólo-estrés tiene limitaciones, ya que la imagen de reposo tiene un gran valor pronóstico en este grupo de enfermos. En consecuencia, en estos hospitales el número de enfermos que se benefician de este protocolo es menor. El protocolo sólo-estrés ofrece mayor beneficio a centros hospitalarios en donde se establece el primer contacto con el paciente que acude con dolor precordial y sospecha de CI; sin embargo, en muchos de estos hospitales no existe la tecnología para realizar el SPECT cardíaco.

Por otra parte, la mayoría de nuestros pacientes fueron evaluados con esfuerzo físico en banda sin fin (68%). La especificidad que ofrece la combinación de una imagen de perfusión normal con una prueba de esfuerzo físico normal es superior a la obtenida con la fase de estrés mediante vasodilatación farmacológica. Así mismo, en el 30% de nuestros pacientes se analizaron las imágenes corregidas para atenuación (SPECT/CT), con lo cual también se incrementa la especificidad del diagnóstico. Está claro que estos dos aspectos influyeron favorablemente en nuestros resultados.

Finalmente, con el protocolo sólo-estrés existe el riesgo de obtener una imagen «seudonormalizada» y perder la oportunidad de identificar otros hallazgos asociados con enfermedad trivascular, tales como la dilatación transitoria de la cavidad ventricular izquierda<sup>28</sup>. Sin embargo, estudios previos han demostrado que el análisis de la perfusión miocárdica conjuntamente con la evaluación del tamaño de la cavidad ventricular izquierda, la fracción de expulsión ventricular izquierda (FEVI) obtenida con SPECT-G y la evaluación de la movilidad regional excluyen esta posibilidad con una certeza diagnóstica del 97%<sup>29</sup>.

En resumen, la evaluación de la perfusión miocárdica con SPECT es un método no invasivo, confiable y reproducible para obtener el diagnóstico y pronóstico de los pacientes con sospecha de CI. Sin embargo, el costo del estudio, el tiempo prolongado de adquisición y la exposición a la radiación limitan sus indicaciones. En pacientes con riesgo intermedio y sospecha de CI es posible obtener el diagnóstico definitivo sólo con la imagen de estrés. El protocolo sólo-estrés optimiza los recursos en cardiología nuclear y reduce la exposición a la radiación del paciente, conservando la certeza diagnóstica y el valor pronóstico del protocolo convencional del SPECT cardíaco.

### Bibliografía

1. Salerno M, Beller GA. Noninvasive assessment of myocardial perfusion. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2009;2:412-24.
2. Camici PG, Rimoldi OE. The clinical value of myocardial blood measurement. *J Nucl Med*. 2009;50:1076-87.
3. Des Press RD, Shaw LJ, Gillespie RL, et al. Cost-effectiveness of myocardial perfusion imaging: A summary of the currently available literature. *J Nucl Cardiol*. 2005;12:750-9.
4. Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ, et al. Optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention to reduce ischemic burden: results from the Clinical Outcomes Utilizing Revascularization and Aggressive Drug Evaluation (COURAGE) trial nuclear substudy. *Circulation*. 2008;117:1283-91.
5. Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation*. 2003;107:2900-7.
6. Johansen A, Holund-Carlsen PF, Christiansen HW, Vach W, Moldrup M, Haghfelt T. Use of myocardial perfusion imaging to predict the effectiveness of coronary revascularization in patients with stable angina pectoris. *Eur J Nuc Med Mol Imaging*. 2005;32:1363-70.
7. Hanel RC, Berman DS, DiCarli MF, et al. ACCF/ASNC/ACR/AHA/ASE/SCCT/SCMR/SNM 2009 appropriate use criteria for cardiac radionuclide imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2009;53:2201-29.
8. Vallejo E. Optimización de los recursos en cardiología nuclear. *Arch Cardiol Mex*. 2001;73:S148-50.
9. Hansen CL, Goldstein RA. Myocardial perfusion and function: Single photon emission computed tomography. ASNC Guidelines for Nuclear Cardiology Procedures. *J Nucl Cardiol*. 2007;14:e39-60.
10. American Society of Nuclear Cardiology. Imaging guidelines for nuclear cardiology procedures. *J Nucl Cardiol*. 2006;13:e25-41.
11. Henzlova M, Cerqueira M, Mahmarian J, Yao S. Stress protocols and tracers. En: DePuey EG, ed. *Imaging guidelines for nuclear cardiology procedures: a report from the nuclear cardiology quality assurance committee*. American Society of Nuclear Cardiology; 2006, p. 171.

12. Matsuo S, Watanabe S, Kadosaki T, et al. Validation of collateral fractional flow reserve by myocardial perfusion imaging. *Circulation*. 2002;105:1060-5.
13. Hachamovitch R, Hayes S, Friedman JD, et al. Determinants of risk and its temporal variation in patients with normal stress myocardial perfusion scans: what is the warranty period of a normal scan? *J Am Coll Cardiol*. 2003;41:1329-40.
14. Gibson PB, Demus D, Noto R, Hudson W, Johnson LL. Low event rate for stress-only perfusion imaging in patients evaluated for chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:999-1004.
15. Diamond DA, Forrester JS. Analysis of probability as an aid in the clinical decisions of coronary artery disease. *N Eng J Med*. 1979;300:1350-6.
16. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, et al. Exercise standards for testing and training. A statement for healthcare professional from the American Heart Association. *Circulation*. 2001;104:1694-740.
17. Massoud Y, Liu YH, DePuey G, et al. Clinical validation of SPECT attenuation correction using x-ray computed tomography-derived attenuation maps: Multicenter clinical trial with angiographic correlation. *J Nucl Cardiol*. 2005;6:676-86.
18. American Heart Association writing group on myocardial segmentation and registration for cardiac imaging. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professional from the cardiac imaging committee of the council on clinical cardiology of the American Heart Association. *Circulation*. 2002;105:539-42.
19. Berman DS, Abidov A, Kan X, et al. Prognostic validation of a 17-segment score derived from a 20-segment score for myocardial perfusion SPECT interpretation. *J Nucl Cardiol*. 2004;11:414-23.
20. Vallejo E, Dione DP, Sinusas AJ, Wackers FJ. Assessment of left ventricular ejection fraction with quantitative gated SPECT: accuracy and correlation with first-pass radionuclide angiography. *J Nucl Cardiol*. 2000;7:461-70.
21. Fazel R, Krumholz HM, Wang W. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures. *N Engl J Med*. 2009;361:849-57.
22. Chang SM, Nabi F, Xu J, Raza U, Mahmorian JJ. Normal stress-only versus standard stress/rest myocardial perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55:221-30.
23. Haussleiter J, Meye T, Hermann F, et al. Estimated dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA*. 2009;301:500-7.
24. Beller GA. Importance of consideration of radiation doses from cardiac imaging procedures and risks of cancer. *J Nucl Cardiol*. 2010;17:1-3.
25. Shaw LJ, Hachamovitch R, Heller GV, et al. Noninvasive strategies for the estimation of cardiac risk in stable chest pain patients. The Economics of Noninvasive Diagnosis (END) Study Group. *Am J Cardiol*. 2000; 6:1-7.
26. Shaw LJ, Heller GV, Travlin MI, et al. Cost analysis of diagnostic testing for coronary artery disease in women with stable chest pain. Economics of Noninvasive Diagnosis (END) Study Group. *J Nucl Cardiol*. 1999;6:559-69.
27. Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ, et al. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation*. 1998;6:535-43.
28. Bestetti A, Di Leo C, Alessi A, Triulzi A, Tagliabue L, Tarlo GL. Post-stress en-systolic left ventricular dilation: a marker of endocardial post-ischemic stunning. *Nucl Med Commun*. 2001;22:685-93.
29. Berman DS, Kang X, Slomka PJ, Germano G, Hachamovitch R. Underestimation of ischemia by gated SPECT myocardial perfusion imaging in patients with left main coronary artery disease. *J Nucl Cardiol*. 2007; 14:521-8.