

**INSTITUTO NACIONAL DE ONCOLOGIA Y RADIOBIOLOGIA**

## **Imágenes funcionales con cámara gamma (I)**

*Dra. Rosalía Durán Sarduy, Lic. Mercedes Borrón Molinos, Lic. Joaquín González González, Lic. Ángel Pérez Vázquez*

Durán Sarduy, R. y otros: *Imágenes funcionales con cámara gamma (I)*.

Este trabajo constituye el primero de una serie, relacionado con las imágenes funcionales obtenidas con cámara gamma y sus aplicaciones a diferentes sistemas del organismo humano. Se presentan algunos de los métodos utilizados actualmente en Medicina Nuclear, para la evaluación funcional de un órgano y sus posibles anomalías.

### **INTRODUCCION**

La imagen que se obtiene en una cámara gamma, es una proyección bidimensional de la distribución espacial de actividad de un órgano, mediante la detección de las radiaciones procedentes del mismo, después de suministrarle al paciente un radiofármaco selectivo del órgano en estudio, que se discrimina a través de circuitos electrónicos asociados, la posición del punto de incidencia en el cristal de INa(T 1) del detector y la energía de cada uno de los fotones gamma que inciden en el mismo, para formar los pulsos que después de seleccionados son observados en la pantalla de un osciloscopio como puntos luminosos, que constituyen el equivalente eléctrico de la posición espacial del destello que se produjo en el cristal del detector de centelleo. Se conforma así la imagen de un conjunto de puntos que representan la distribución de actividad del radiofármaco en el órgano de interés.

### **DIGITALIZACION DE LA IMAGEN**

Para digitalizar la imagen así obtenida, se crea mediante el *software* una matriz o enrejado de celdas (*pixel*), que divide el cristal en pequeñas áreas, cada una de las cuales es capaz, potencialmente, de medir las radiaciones procedentes de áreas específicas de la zona estudiada. Cada celda detecta las radiaciones incidentes a través de los orificios

\*Doctora en Ciencias Físicas. Investigadora Auxiliar.

\*\*Licenciada en Física. Investigadora Agregada,

\*\*\*Licenciado en Física. Investigador Aspirante.

del colimador que coinciden sobre esa área. Las señales de posición x,y se transfieren a un formato digital, mediante un conversor analógico-digital situado entre la cámara gamma y la computadora, ya que, los pulsos generados por los circuitos de posición de la cámara no son compatibles con la computadora. Estos conversores, uno para cada señal de posición, producen números binarios en correspondencia con la magnitud de los pulsos (xy) generados.

Se utilizan 2 modos diferentes para la adquisición de los datos digitalizados: el modo evento por evento (modo LIST,) y el modo de imágenes seriadas (modo FRAME). En el modo LIST, las señales de posición x,y y digitalizadas, se almacenan en la memoria de la computadora en forma secuencial y constituyen una lista de datos que van entrando en la memoria de la computadora y permite que otros datos, tales como las señales fisiológicas puedan entremezclarse con la lista de coordenadas de posición x,y. Con estos pares de datos x,y almacenados en la memoria de la computadora, se construye posteriormente la imagen y se preserva la información original. Esto es ventajoso, pero requiere una gran capacidad de memoria y cierto tiempo para la reconstrucción de la imagen. En el modo FRAME, las x,y y generadas por los conversores analógico-digitales se envían a un dispositivo de la interfase entre la cámara y la computadora, denominado directorio, donde se asigna a una localización de memoria una posición (x,y) del evento original producido y se incrementa su contenido en 1, cada vez que se produce un nuevo evento de radiación en dicha posición y finalmente, el número registrado en cada una de las localizaciones de la matriz es equivalente al número de fotones incidentes en la localización correspondiente, se forma así un arreglo de números que representan la imagen integrada a la distribución de actividad y permite de este modo la adquisición de imágenes seriadas que representan la distribución temporal del trazador. Estas imágenes pueden adquirirse al preseleccionar el número de conteos total a almacenar como es el caso de los estudios estáticos, los cuales generalmente, se presentan en formato de 64X64, 128X128 y 256X256 celdas, o prefijan el tiempo de adquisición a intervalos regulares, en los estudios dinámicos, en formato de 64X64 celdas. Las imágenes estáticas se utilizan principalmente, para observar estructuras y las dinámicas para estudios de función.

Aquellos eventos que ocurran muy unidos unos a otros en el cristal de la cámara, se registrarán como si hubieran ocurrido en la misma localización, desde el punto de vista de la digitalización de la imagen. Mientras mayor es la matriz, mejor será la resolución espacial, pero mayor será la memoria que se requiera y mucho más tiempo a utilizar. Además, existe una escala de colores, mediante la cual se establece una equivalencia entre el valor que tiene almacenado una celda de acuerdo a la actividad medida en un determinado punto y el color que le corresponde a la misma al observar la imagen.<sup>13</sup>

#### ANALISIS CUANTITATIVO DE LOS ESTUDIOS DINAMICOS

La evaluación funcional de un órgano y la detección de las posibles anomalías que puedan presentarse en el funcionamiento del mismo constituyen el objetivo de la

realización de los estudios dinámicos, pero la cumplimentación de este objetivo no es fácil debido a los problemas que se presentan por ser la imagen que se obtiene una representación bidimensional de una estructura tridimensional y además, porque la separación entre estructuras muy próximas es una tarea difícil.

Ahora bien, mediante el uso de la computadora y un *software* apropiado se han desarrollado varios métodos para la evaluación cuantitativa de las imágenes en los estudios dinámicos basados en el análisis matemático de las curvas de actividad contra tiempo.

#### *Construcción de regiones de interés (ROI) y cálculo de las curvas de actividad contra tiempo*

A través de este método, se trazan regiones de interés en forma automática o manual en una imagen determinada que representa las variaciones de actividad con el tiempo en esa región y se construye la curva correspondiente, según las regiones de interés que se generen. Estas curvas representan el tránsito del trazador radiactivo por el órgano bajo estudio y son susceptibles de ser sumadas, multiplicadas, divididas, suavizadas, etcétera, mediante la aplicación de diferentes programas de computación, se obtienen de ellas parámetros de interés para conocer el comportamiento en el tiempo de un proceso fisiológico (estudios renales) o de cómo un mismo sistema se comporta con respecto a 2 procesos diferentes (estudios de ventilación y perfusión pulmonar), ya que, generalmente, estas ROI se trazan al identificar alguna estructura específica en el estudio que se realiza.<sup>3-5</sup>

#### *Construcción de imágenes funcionales de parámetros característicos de las curvas de actividad-tiempo de cada celda*

Otra forma de enfocar el análisis de las imágenes es al tener en cuenta que la región de interés más **pequeña** que se puede **trazar** es la que corresponde a una celda y al obtener una curva de actividad-tiempo a este nivel elemental, buscar una función matemática que sea capaz de describir el comportamiento dinámico de todas las celdas en función de algunos parámetros, se generan así imágenes funcionales que **reproducen con acertada aproximación el proceso fisiológico de interés. Es decir**, las imágenes funcionales se desarrollan mediante la observación de determinados parámetros asociados con cada una de las celdas.<sup>4,7</sup> Un ejemplo de este tipo lo constituyen las imágenes de Fourier.

#### *Imágenes funcionales de Fourier*

Sabemos que una imagen que se representa como la intensidad en cada punto del espacio, se dice que está representada en el dominio espacial, y cuando se representa por la contribución de cada componente sinusoidal, se dice que está representada en el dominio de frecuencias.

Las imágenes funcionales obtenidas al tomar como base la técnica de Fourier se fundamentan en considerar que cualquier función periódica

F(t) de período T, o cualquier conjunto de datos discretos, pueden representarse por la suma de funciones armónicas, es decir, por una serie de componentes sinusoidales de diferentes frecuencias, amplitudes y fases, lo que equivale a decir que, dicha función está representada en el dominio de frecuencias. Ahora bien, para que F(t) pueda ser expresada mediante una serie de Fourier, debe cumplir las condiciones de Dirichlet, o sea, ser periódica, finita, univaluada y con un número finito de discontinuidades dentro de un período T, de forma tal que (figura 1).

$$F(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) \quad \text{Figura 1.}$$

donde  $A_n$  y  $B_n$  se definen por (figura 2):

$$A_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} F(t) \cos n\omega t \, dt$$

$$B_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} F(t) \sin n\omega t \, dt$$

Figura 2.

donde  $\omega$  es la frecuencia del armónico fundamental de Fourier (figura 3)

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} F(t) \, dt \quad \text{Figura 3.}$$

se ve que  $A_0$  es el valor medio de la función F(t), y corresponde a la amplitud del primer armónico (figura 4).

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad \text{Figura 4.}$$

es la amplitud del N-ésimo armónico y (figura 5)

$$\varphi_n = \arctan (-B_n/A_n) \quad \text{Figura 5.}$$

define el desfase del N-ésimo armónico.

Luego, la contribución de cada armónico está totalmente definida por su fase y amplitud, y la función que especifica el peso de cada frecuencia en la combinación lineal de sinusoides, se denomina transformada de Fourier de la distribución de intensidades.

Por lo tanto, el análisis de fase es un término que se refiere al método matemático que genera 2 imágenes funcionales conocidas como fase y amplitud, y para hacer esto se calcula para cada celda la fase y amplitud del primer armónico (o más), de la curva de actividad contra tiempo que corresponde al proceso fisiológico que ha sido descrito por una función periódica, como es el caso de la curva de volumen ventricular.<sup>6,8-9</sup>

Las figuras 6, 7 y 8 muestran la curva de volumen ventricular global, los parámetros calculados de la misma y las imágenes funcionales obtenidas del análisis de Fourier aplicado a la serie original obtenida con T c-99m-pirofosfato.

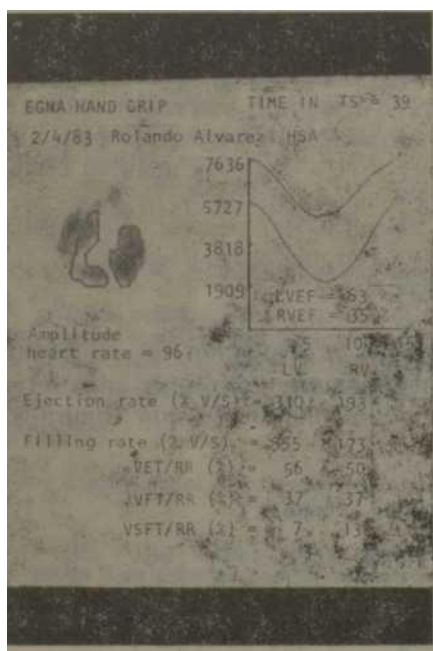


Figura 6.



Figura 7.

#### *Técnica de análisis factorial*

El análisis factorial es una técnica de las más recientemente aplicadas a los estudios dinámicos con cámara gamma, el cual nos ofrece imágenes funcionales de estructuras anatómicas fisiológicamente diferentes. Es por esa razón que esta técnica se ha aplicado al estudio de estructuras superpuestas anatómicamente. Mediante este método se considera la actividad registrada en cada celda de una matriz perteneciente a una serie de cada una de las estructuras observadas por el mismo.

Cada una de estas  $f_j(t)$  contribuyen a la actividad total  $f_i(t)$  con determinado peso  $\alpha_{ij}$ . Cada una de las funciones  $f_j(t)$  recibirá el nombre de componente fisiológico



Figura 8.

y representará una función característica de la evolución en el tiempo de la actividad en cada estructura fisiológicamente diferente que intervenga en el estudio. Así para la celda  $i$  podrá plantearse que (figura 9),

$$f_i(t) = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \phi_j(t) \quad \text{Figura 9.}$$

$n$  será el número de factores fisiológicos que intervengan en el estudio. Esto es posible para cada celda de la imagen, lo que da lugar a una ecuación matricial de la forma (figura 10).

$$F = I \Phi \quad \text{Figura 10.}$$

donde la matriz  $F$ , es la formada por las funciones  $f_i(t)$ , la matriz  $\Phi$  está formada por las funciones  $\phi_j(t)$  y la matriz  $I$  estará formada por los coeficientes.

Para cada factor fisiológico  $j$  se obtendrá un conjunto de valores de  $\alpha_{ij}$ ; en dependencia del número de celdas que se analicen. Así la distribución espacial de los  $\alpha_{ij}$  que corresponden sobre una matriz, da lugar a una imagen factorial representativa de la distribución del factor  $j$  sobre el campo visual de la cámara gamma.

Cada imagen factorial dará información diferente, en dependencia de la estructura que represente. Por lo tanto, el objetivo del análisis factorial será la obtención de las componentes de la matriz  $I$  mediante la previa estimación de los factores fisiológicos,  $j(t)$ .

Las imágenes factoriales se han utilizado en el estudio de diferentes estructuras dinámicas como el sistema hepatobiliar, también en el estudio de la función cardíaca, lo que ha permitido separar la superposición de la función ventricular y auricular; a su vez, se ha empleado en el estudio del sistema renal, del cual se ha podido obtener información independiente del sistema excretor y el parénquima renal.<sup>1,7,10,11</sup>

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los fundamentos fisicomatemáticos de la formación de imágenes con cámara gamma y algunos de los métodos utilizados actualmente, para generar imágenes funcionales capaces de describir diferentes procesos fisiológicos del organismo, así como de permitir la evaluación de parámetros de interés para el diagnóstico e investigación médica.

## SUMMARY

Durán Sarduy, R. et al. *Functional images with gamma camera (I)*.

The present paper is the first one of a series related to functional Images obtained with gamma camera and their applications to different systems of human organism. Some of the methods used at the present time in Nuclear Medicine, for the functional evaluation of organs and their possible anomalies, are presented.

## RÉSUMÉ

Durán Sarduy, R. et al.: *Images fonctionnelles obtenues au moyen d'un appareil gamma*

Ce travail est le premier d'une série concernant les Images fonctionnelles obtenues au moyen d'un appareil gamma et ses applications à différents systèmes de l'organisme humain. Il est présenté certaines méthodes utilisées actuellement en Médecine Nucléaire pour l'évaluation fonctionnelle d'un organe et de ses possibles anomalies.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Todd-Pokroped, A. et al.*: The use of computers for Image processing In nuclear medicine. IEEE Transactions on Nuclear Science, 29 (4): 1299, 1982.
2. *Di Paola, R. et al.*: New development in techniques for information processing In radionuclide imaging. Proc. Symp. Medical Radionuclide Imaging, IAEA, Vienna, 1981 Pp. 297-312.
3. *Goris, M. L.*: Functional or parametric images. J Nucl Med 23: 360-362, 1982.
4. *Durán, R. y otros*: Estudio de la función pulmonar mediante Xe-133. Revista Cubana de Física (en prensa).
5. *Barber, C. D. et al.*: The use of principal components in the quantitative analysis of gamma camera dynamic study.

6. *Wendt, R. E. et al.*: Interpretation of multigated Fourier functional images. J Nucl Med 23: 715, 1982.
7. *Callóles, F. et al.*: Factor analysis in gated cardiac studies. J Nucl Med 25 (10): 325, 1984.
8. *Borrón M. y otros*: Aplicaciones de las técnicas radioisotópicas al estudio de la función cardíaca: ventriculografía nuclear en equilibrio. Aplicación del análisis de Fourier al estudio del movimiento regional de la pared ventricular. Revista Cubana de Física (en prensa).
9. *Cárdenas, R.*: Assessment of Ventricular Function on Regional Wall Motion by Fourier Analysis of Equilibrium Gated Nuclear Angiography. Tesis para optar por el grado de Candidato a Doctor en Ciencias. Universidad de Karlo, Praga, 1984.
10. *Bazin, J. P. et al.*: Factor analysis of dynamic scintigraphic data as a modeling method. INSERM 88 , 345, 1980.
11. *Oppenheim, F. et al.*: Functional renal imaging through factor analysis. J Nucl Med 22: 417-423, 1981.

Recibido: 8 de noviembre de 1985

Aprobado: 4 de enero de 1986

Dra. *Rosalía Durán Sarduy*  
Corrales No. 10 Apto. 18, primer piso  
entre Egido y Zulueta. Municipio Habana Vieja  
Ciudad de La Habana 2  
Cuba.