

Tema de actualidad

# Polarcardiografía, una forma novedosa de representar los vectores cardíacos

\* DR. JORGE LERMAN

## RESUMEN

*Existen varias formas de representar los vectores cardíacos. Las distintas técnicas empleadas no son excluyentes ni competitivas, más bien son complementarias. La información que recogen es la misma, pero a veces una la presenta en forma más explícita que las otras. La polarcardiografía constituye uno de los ejemplos más interesantes de la aplicación de las computadoras en Cardiología. Es un método racional, con una base conceptual sólida. Su difusión en la práctica ha sido escasa, probablemente debido al equipo sofisticado y costoso que requiere y a la gran familiaridad que ha adquirido el cardiólogo con el ECG. Pero quizás le esté reservado en el futuro un lugar prominente en el diagnóstico cardiológico.*

El estudio del campo eléctrico cardíaco ha sido y es una de las áreas más fértiles en cardiología, tanto desde el punto de vista de la investigación como del diagnóstico clínico. Tal es la magnitud de la información acumulada en este tema, que hoy constituye una verdadera sub-especialidad: la Electrocardiografía, que tiene su raíz en 1903 cuando Einthoven introdujo el electrocardiograma (ECG). A partir de entonces se diseñaron distintas técnicas para estudiar los vectores cardíacos, de los cuales sobresale el electrocardiograma de Frank, el vectorcardiograma (VCG), el polarcardiograma (PCG) y el módulograma-estereograma.

Cada uno de los vectores instantáneos puede ser definido en el espacio por las magnitudes X, Y, Z es decir, por su proyección en las tres coordenadas octogonales. Pero otra forma de definir esos vec-

tores es determinar su magnitud y dirección espaciales. La primera indica el voltaje absoluto del vector o, dicho gráficamente, la distancia espacial que separa la cabeza del vector del punto de voltaje cero. La dirección puede expresarse por medio de las coordenadas esféricas longitud y latitud, del mismo modo como se localiza un punto geográfico sobre la superficie de un planeta. La **magnitud, longitud y latitud** constituyen las coordenadas polares y su registro simultáneo a través del tiempo, el polarcardiograma. Esta técnica fue concebida y desarrollada por el Dr. Gordon Dower y el grupo de la Universidad de Columbia Británica, Canadá, en la década de 1950 y comenzó a aplicarse en clínica al construirse el primer polarcardiógrafo de uso práctico (1).

### Las coordenadas polares

Para construir las coordenadas polares es necesario considerar en el espacio dos polos y un ecuador, con los correspondientes meridianos que indican la longitud y paralelos que expresan la latitud. Las longitudes varían entre 0° y +180° y entre 0° y -180°, con lo que se completan 360°. Las latitudes, entre 0° y 90° en cada hemisferio. De este modo, la dirección de cada vector puede ser definida en términos de grados de longitud y latitud.

Las coordenadas polares pueden representarse de tres maneras distintas, según como esté orientado el plano ecuatorial (figura 1). En la representación frontal, hay un polo anterior y otro posterior. La longitud en este plano se denomina  $\alpha$ , siendo por convención los valores inferiores positivos y los superiores negativos. La longitud  $\alpha$

\* Encargado del Laboratorio de Ergometría y Rehabilitación. Sección Cardiología. Hospital de Clínicas José de San Martín. Universidad Nacional de Buenos Aires.

magnitud frontal (fm) está dada por la proyección del vector de la magnitud espacial (M) sobre el plano frontal.

Pueden hacerse descripciones análogas para las representaciones transversal y sagital. En la transversal hay un polo superior y otro inferior. Por lo tanto existen latitudes superior (S) e inferior (i). La longitud se denomina  $\beta$ , que tiene valores positivos hacia adelante y negativos hacia atrás. La magnitud transversal (tm) es la proyección de M sobre ese plano. En la proyección sagital, los polos y las latitudes son derechos (R) o izquierdos (L). La longitud, que se denomina  $\gamma$ , es positiva hacia abajo y negativa hacia arriba. La magnitud sagital (sm) es la proyección de M sobre el punto sagital.

### Método de procesamiento

El procesamiento de un PCG abarca varias etapas que incluyen la obtención, la conversión y la representación de las señales.

La **obtención** de los datos se efectúa colocando al paciente los electrodos según el método de Frank, poniendo especial cuidado en la ubicación del electrodo C, para cuya correcta colocación se utiliza un transportador torácico. La unidad de registro contiene el retículo de Frank, que obtiene las señales X, Y, Z y un grabador que registra esas señales en una cinta magnética de cuatro canales. Tres de ellos se utilizan para grabar X, Y, Z y el cuarto es de audio para grabar la identificación del trazado (nombre, fecha, velocidad y ganancia de registro, situación de reposo o ejercicio, etc.). Para verificar la correcta obtención de la grabación hay un pequeño monitor que muestra las asas vectocardiográficas frontal y sagital simultáneamente con el registro. Toda esta unidad posee un tamaño y peso que la hace fácilmente transportable. Este módulo de registro móvil evita tener que trasladar al paciente a la central de procesamiento, o viceversa, y es más simple que utilizar la transmisión telefónica.

La **conversión** matemática de las coordenadas ortogonales grabadas en la cinta, en coordenadas esféricas o polares se efectúa en una computadora analógica: el polarcardiógrafo \*. Esta unidad posee un circuito de "clampeo" que realiza el ajuste a cero de todos los trazados inmediatamente antes de la inscripción del QRS (figura 2).

La representación del PCG se obtiene mediante un polígrafo adecuado. El registro se hace en cuatro canales, que representan la latitud, la magnitud espacial, la magnitud planar (figura 2). Esto se repite para los tres planos sucesivamente. En realidad es la misma información que se reitera tres veces, pero "vista de tres ángulos diferentes". La utilidad de esta aparente redundancia reside en que hay fenómenos que se aprecian mejor en un plano que en los otros. Una manera más gráfica de representar la orientación vectorial es transportar las coordenadas esféricas a la proyección de la esfera de Aitoff (figura 3). Con este recurso se pueden realizar estudios estadísticos y representar las áreas de distribución de los vectores de P, QRS, ST y T en distintas poblaciones.

Contando con las señales X, Y, Z obtenidas en la unidad de registro, se puede efectuar una conexión a un amplificador adecuado y registrar VCG en los tres planos. Además Dower describió un método para "sintetizar" un ECG a partir de las señales X, Y, Z (2). Para ello es necesario conectar la unidad de registro a un "equipo simulador", que, utilizando la información contenida en dichas señales, efectúa automáticamente conversiones matemáticas y registra las 12 derivaciones del ECG convencional. Comparando el ECG obtenido en la forma clásica con otro "sintetizado" por este método en un mismo paciente, no se aprecian diferencias sustanciales, si se tienen ciertos recaudos previsibles respecto a la polaridad de la onda P y el voltaje del QRS (3). Finalmente existe la posibilidad de introducir la información en una computadora digital, que brindará los valores numéricos de las coordenadas de cada vector en cada proyección. Esto puede ser de utilidad en el análisis vectorial cuantitativo en el curso del tiempo. Vale decir que, disponiendo los distintos módulos de la manera descrita, se pueden obtener cuatro modos de representar la misma información: PCG, VCG, ECG simulado y datos numéricos. Lo asombroso es que todo esto surge de un simple registro de las señales X, Y, Z. \*\*

### Aplicaciones prácticas

El ECG convencional es la técnica electrocardiológica que ha tenido más amplia difusión, probablemente por que fue la primera y por la gran simplicidad que significa su



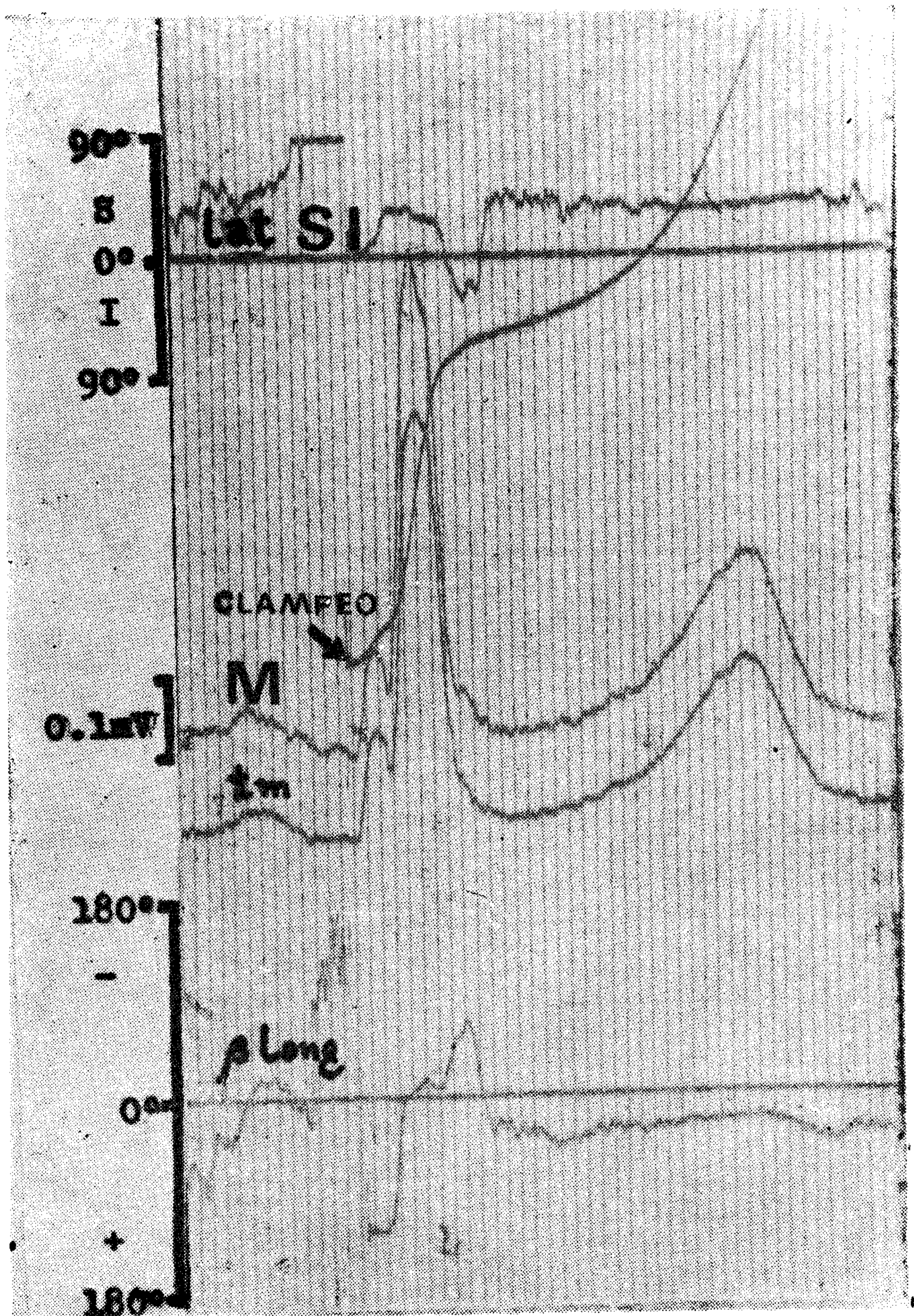


Figura 2. Trazado polarcardiográfico en proyección transversal. Arriba se observa la latitud superior-inferior (lat SI) con la escala correspondiente a los hemisferios superior (S) e inferior (I). En el centro los trazados de la magnitud espacial (M) y la magnitud transversal (tm), con la calibración correspondiente a 0,1 mV. Abajo se aprecia la longitud... con la escala y la polaridad de los hemisferios. El "clampeo" es el punto en que se ajustan todos los trazados a cero, inmediatamente antes del QRS

obtención y procesamiento. Pero deben aceptarse ciertas falencias. Una de ellas es la utilización de un número elevado de derivaciones, lo que inevitablemente conduce a redundancia de información. Por otra parte,

diariamente se observan dificultades derivadas de la falta de uniformidad en la ubicación de los electrodos precordiales.

Algunos autores han propuesto la utilización universal del ECG de Frank por con-



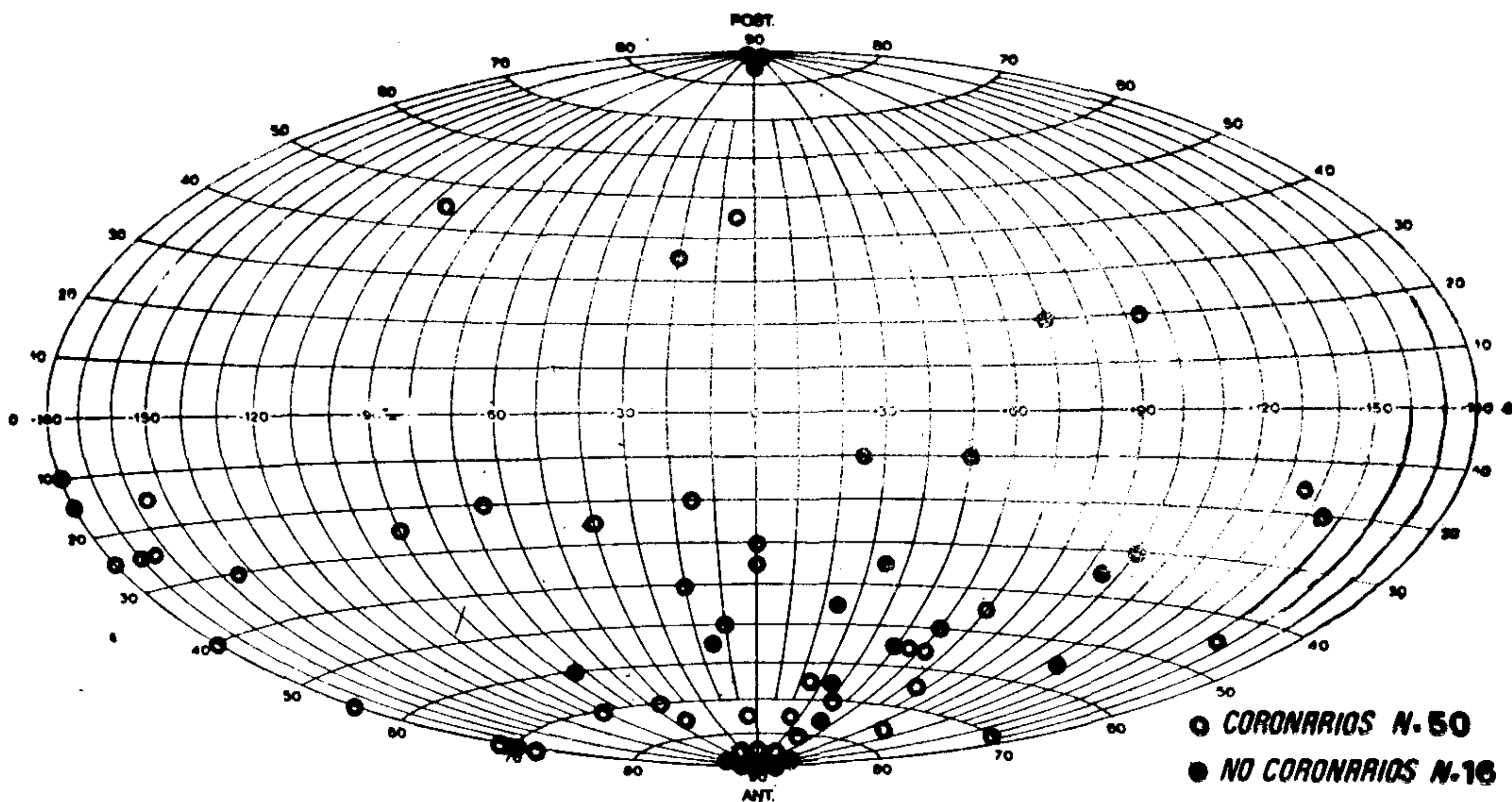


Figura 3. Proyección de la esfera de Aitoff, que representa todo el espacio en un plano. Los puntos representan la orientación espacial del vector ST 75 (el vector ubicado a 75 milisegundos del vértice del QRS) en un grupo de pacientes sometidos a cinecoronariografía. Los individuos no coronarios se concentran alrededor de los polos y en el hemisferio anterior, entre  $-80^\circ$  y  $+120^\circ$  de longitud... En cambio los pacientes coronarios (con obstrucción mayor del 75% de por lo menos una arteria) se dispersan más, adoptando muchos de ellos direcciones francamente anormales

siderarlo conciso y a la vez completo. En él existe uniformidad en la obtención y con sólo tres derivaciones, se dispone de toda la información en los tres ejes del espacio. Sin embargo, el análisis conceptual demuestra que este sistema no expresa en forma directa la magnitud ni la orientación espacial de los vectores. Este inconveniente también existe en el ECG clásico.

El VCG consiste en combinar los ejes X, Y, Z dos a dos para obtener un enfoque tridimensional o planar de la actividad eléctrica cardíaca. Esta técnica contribuye a aclarar algunos aspectos en los que el ECG no es definitorio: Adolece fundamentalmente de falta de relación temporal de los fenómenos eléctricos. Cuando existen vectores perpendiculares al plano observado, los puntos se superponen y se pierde el factor tiempo como elemento de referencia. El VCG muestra la magnitud planar y la longitud, pero oculta la magnitud espacial y la latitud.

En nuestro país Rozlosnik y colaboradores (4) diseñaron un sistema de representación vectorial, en el que se representa un "modulograma" (que es la magnitud espacial) y un "estereograma" (gráfico de la dirección espacial). Este modelo tiene bases conceptuales y objetivos muy similares al PCG.

El análisis precedente tuvo por objeto establecer las diferencias entre los modelos electrocardiológicos y de alguna manera, fundamentar el valor práctico de la polarcardiografía.

Mediante el estudio de poblaciones sanas, se han establecido los patrones normales y se describieron la magnitud, longitud y latitud media de los principales vectores cardíacos (5). Apoyándose en el cúmulo de experiencia adquirida por la electro y vectorcardiografía, se describieron los criterios de diagnóstico polarcardiográfico. Dower y Col. han estudiado casi todas las áreas de la patología cardíaca (6). El tema que más se ha profundizado, por su trascendencia clínica, ha sido el del infarto de miocardio. En este sentido, se han establecido criterios refinados para el diagnóstico de infartos anteriores e inferiores (7).

En un estudio controlado con autopsias, el PCG mostró una sensibilidad de 79% con 5% de falsos positivos (6). En esos mismos casos, el ECG dio el diagnóstico en el 42% de los pacientes con infarto. Recientemente se correlacionaron los criterios polarcardiográficos de infarto transmural y no transmural con la coronario y ventriculografía. En esta serie el PCG también demostró sensibilidad y especificidad significativamente mayores

que el ECG (8). Esta mayor capacidad que posee el PCG para detectar infarto de miocardio, lo hace apto para realizar catastros de población y estudios epidemiológicos de la enfermedad coronaria, como se ha hecho en Canadá, Estados Unidos, China y Creta (9).

Otro aspecto en el que el PCG puede complementar al ECG es el del diagnóstico de isquemia. Son conocidas las dificultades que existen para identificar segmentos ST isquémicos en reposo. Pacientes con lesiones coronarias críticas y ECG con segmento ST normal o inespecífico en reposo, tienen una orientación espacial definitivamente anormal, tal como lo evidencia el PCG en la figura 3 (10). En el laboratorio del Dr. Robert A. Bruce, en Seattle, se efectuaron estudios polarcardiográficos durante el esfuerzo máximo y se describieron los cambios en individuos normales (11, 12). Se pudo comprobar que el PCG abre un nuevo campo en la ergometría, pues en lugar de limitarse a describir la depresión electrocardiográfica del segmento ST, determina las variaciones de la magnitud espacial absoluta y los cambios de orientación tridimensional de distintos puntos del segmento ST (13, 14). Esto representa un real avance en la discriminación de las respuestas electrocardiográficas normales, inespecíficas al esfuerzo.

La hipertrofia ventricular izquierda tiene su expresión polarcardiográfica en la magnitud espacial del QRS. La hipertrofia ventricular derecha y los bloqueos de rama que pueden identificarse a través del análisis de la orientación vectorial. El síndrome de WPW también tiene sus características particulares. Existe un caso publicado en el que el PCG aclaró el origen de una arritmia supraventricular, al permitir discriminar la onda P de un modo que el ECG no logró hacerlo (15).

Existen otras áreas en las que el PCG puede hacer aportes útiles, pero que requieren más investigación. Entre ellas se pueden mencionar los hemibloqueos y la asociación de infarto y bloqueo de rama.

\* La relación matemática entre las coordenadas XYZ y la magnitud espacial M es la siguiente:

$M = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ . En el plano frontal las coordenadas se derivan de las siguientes fórmulas:

$fm = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $\text{long } \alpha = \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ ,

$\text{lat. AP} = \arccos \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$

La computadora realiza estas ecuaciones en forma automática y rápida. Por supuesto que las mismas podrían efectuarse (aunque mucho más trabajosamente) en forma manual o utilizando un ábaco.

\*\* Contando con un programa adecuado, también podría obtenerse un "modulograma-estereograma" (4)

Nota: El material de las figuras 2 y 3 fue tomado de la División de Cardiología de la Universidad de Washington, Seattle. Co-Director: Dr. Robert A. Bruce.

## BIBLIOGRAFIA

1. Moore, A. D.; Harding, P. y Dower, G. E.: The polarcardiograph: an analogue computer that provides spherical polar coordinates of the heart vector. *Am. Heart J.*, 64, 382, 1962.
2. Dower, G. E.: A lead synthesizer for the Frank system to simulate the standard 12-lead electrocardiogram. *J. Electrocardiol.*, 1, 101, 1968.
3. Dower, G. E.; Osborne, J. A.; Suranyi, O.; Stewart, D. E. y Bonham, K.: ECG data acquisition. A discussion. *J. Electrocardiol.*, 8, 53, 1975.
4. Rozlosnik, J. A. y Vicario, D. J.: Cómputo electrónico del ECG espacial registrado con triple sincronismo en el diagnóstico precoz de la cardiopatía coronaria. Presentado en el IX Congreso Argentino de Cardiología Buenos Aires, 1971.
5. Dower, G. E.; Horn, H. E. y Ziegler, W. G.: The polarcardiograph Terminology and normal findings. *Am. Heart J.*, 69, 355, 1965.
6. Dower, G. E.: Polarcardiography Springfield, Illinois, 1971. Charles Thomas.
7. Dower, G. E. y Horn, H. E.: polarcardiograph. Further studies in normal subjects, refinement of criteria for infarction, and a report on autopsied cases. *Am. Heart J.*, 72, 45., 1966.
8. Lerman, J.; Bruce, R. A. y Murray, J. A.: Correlation of polarcardiographic criteria for myocardial infarction with arteriographic and ventriculographic findings (substantiation of transmural and presentation of non-transmural criteria). *J. Electrocardiol.*, 9, 219, 1976.
9. Dower, G. E. and Bruce, R. A.: Progress in Polarcardiography. *Progr. Cardiovasc. Dis.*, 19, 69, 1976.
10. Lerman, J. y Bruce, R. A.: Observaciones no publicadas.
11. Bruce, R. A.; Detry, J. M.; Early, K. y Early, R.: Polarcardiographic responses to maximal exercise in healthy young adults. *Am. Heart J.*, 83, 206, 1972.
12. Bruce, R. A.; Li, V. B.; Dower, G. E. y Nilson, K.: Polarcardiographic responses to maximal exercise and to changes in posture in healthy middle-aged men. *J. Electrocardiol.*, 6, 91, 1973.
13. Dower, G. E.; Bruce, R. A.; Pool, J.; Simoons, M. L.; Niederberger, M. W. y Meilink, L. J.: Ischemic polarcardiographic changes induced by exercise. A new criterion. *Circulation*, 48, 725, 1973.
14. Niederberger, M. W.; Bruce, R. A.; Dower, G. E. y Hofer, V.: Influence of age and ischemic heart disease on spatial ST-T magnitudes at rest and after maximal exercise. *J. Electrocardiol.*, 6, 70, 1973.
15. Dower, G. E.: An arrhythmia clarified by polarcardiography. *J. Electrocardiol.*, 3, 231, 1970.