

## *El centenario del electrocardiógrafo de Einthoven.* *Parte II*

Pedro Iturralde Torres\*



**Palabras clave:** Potenciales tardíos. Electrofisiología. Ablación con radiofrecuencia.

**Key words:** Late potentials. Electrophysiology. Radiofrequency ablation.

### **La electrocardiografía de alta resolución**

**L**a electrocardiografía de alta resolución, también conocida como electrocardiografía de alta frecuencia o de señales promediadas, es una técnica computarizada de diagnóstico no invasivo que permite identificar despolarizaciones cardíacas de baja amplitud y de alta frecuencia, que no son aparentes en el electrocardiograma estándar de 12 derivaciones. La electrocardiografía de alta resolución es un método aceptado para la identificación de los pacientes con riesgo de arritmias ventriculares malignas.

### **Desarrollo histórico y bases fisiopatológicas**

La electrocardiografía escalar o de superficie, aunque proporciona un conocimiento generalizado sobre la conducción de un impulso eléctrico, no ofrece una información directa sobre la actividad eléctrica del sistema especializado de conducción. La electrocardiografía convencional desde sus orígenes se ha orientado hacia la detección de los cambios morfológicos producidos por la despolarización y la repolarización, así como la medición de las relaciones temporales de las ondas P, QRS y T. Debido a que en estos cambios usualmente participan señales eléctricas con frecuencia menores a 100 Hz, la amplitud de la banda usada en los electrocardiógrafos comerciales está limitada por esta frecuencia.

La forma más frecuente de promediación de la señal electrocardiográfica se basa en la alineación temporal, la sumación y la promediación de 100 complejos QRS o más. Dado que el fenómeno eléctrico no es reproducible temporalmente, los datos sumados resultantes tienen una proporción de señal/ruido elevada. La sumación de múltiples complejos QRS revela unas señales de baja am-

plitud que no son discernibles en el ECG estándar. La señal promediada se filtra para eliminar las frecuencias bajas (inferiores a 25-40 Hz) en el margen de la onda T, lo cual mejora aún más el examen de la región terminal del QRS.

Los datos promediados pueden ser analizados en el dominio del tiempo o de la frecuencia. El análisis del dominio temporal es conceptualmente similar al análisis electrocardiográfico estándar. Básicamente se realizan mediciones de la parte terminal de un complejo QRS notablemente amplificado. El objeto principal de la promediación de señales en la actualidad, es la detección de potenciales de baja amplitud (potenciales tardíos) en la parte terminal de QRS.

El análisis del dominio de frecuencia del QRS amplificado se ha estudiado también para detectar potenciales tardíos en los pacientes con un bloqueo de rama del haz de His, en los que los potenciales tardíos pueden quedar ocultos por el retardo de la conducción. Sin embargo, carecemos de una metodología estándar y, por consiguiente de acuerdo entre los laboratorios.

Aunque es frecuente encontrar potenciales tardíos en los pacientes con arritmias ventriculares sostenidas, la técnica de la electrocardiografía de promediación de señal es, de hecho de gran utilidad como método para la estratificación del riesgo en los pacientes en los que se sospecha la presencia de arritmias graves. Así, por ejemplo, la probabilidad de una taquicardia ventricular inducible en el estudio electrofisiológico en pacientes con un síncope no diagnosticado es mayor si tiene potenciales tardíos. Además, la presencia de potenciales tardíos tras un infarto agudo del miocardio es un factor predictor independiente para los episodios arritmicos posteriores, aunque ninguno de los estudios realizados ha sido

\* Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez". México, D.F. (INCICH. Juan Badiano No. 14080 México, D.F.).

Aceptado: 18 de septiembre de 2000.

lo bastante amplio para determinar si ello predice la muerte súbita de manera específica.

Una nueva aplicación del ECG de promediación de señal que está siendo investigada es la medición de la duración de la onda P para identificar a los pacientes con riesgo de fibrilación auricular. En estudios retrospectivos se ha observado que la duración de la onda P, medida mediante promediación de señales, es mayor en los pacientes con antecedentes previos de fibrilación auricular y es más exacta para la identificación de estos pacientes que la duración de la onda P determinada a partir del ECG estándar. Un reciente estudio prospectivo ha puesto de manifiesto que la duración de la onda P preoperatoria predecía la aparición de fibrilación auricular postoperatoria en los pacientes tratados con cirugía cardíaca.

### Estudio electrofisiológico

El estudio electrofisiológico (EEF) es una prueba invasiva, cuyo objetivo es establecer el diagnóstico y la terapéutica de la mayoría de las arritmias cardíacas. El electrocardiograma de superficie refleja la suma de señales de baja frecuencia y alta amplitud que alcanzan la superficie del cuerpo desde el miocardio. El sistema específico de conducción genera potenciales de baja amplitud que alcanzan bien la superficie endocárdica; de ahí la importancia de recoger señales endocavitarias para un mejor estudio del sistema de conducción, en especial del potencial hisiano.

### Antecedentes

Coraboeuf y Weidman,<sup>1</sup> en 1949, lograron registrar los potenciales de las fibras de Purkinje. En 1958, en el Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", Alanís<sup>2</sup> registró el potencial eléctrico del haz de His en el corazón de un perro aislado y perfundido. Sodi-Pallares y cols.<sup>3</sup> en 1959, obtuvieron registros semidirectos de la actividad eléctrica de ambas ramas del haz de His y de fibras de Purkinje en el corazón *in situ*. En 1960, Giraud y Puech<sup>4</sup> fueron los primeros en registrar la actividad eléctrica del haz de His en el hombre, pero no fue sino hasta 1969 cuando Sherlag<sup>5</sup> describió y popularizó una técnica sencilla para el registro del potencial hisiano en el corazón humano. La electrofisiología clínica como disciplina de la cardiología se inicia en 1967, cuando Durrer y Coumel, en forma independiente, introducen la estimulación eléctrica programada del corazón en el hombre. En el momento actual esta técnica se ha convertido en un

método útil en el diagnóstico electrofisiológico de las arritmias, pero su importancia actual radica aún más en las opciones terapéuticas derivadas de esta técnica, como la ablación con radiofrecuencia y la colocación de desfibriladores automáticos implantables.<sup>6-11</sup>

### Técnica

El estudio electrofisiológico se lleva a cabo mediante los procedimientos convencionales para cateterismo cardíaco. Como anestésico local se utiliza la lidocaína al 1%. Por una o ambas venas principales se introducen, mediante la técnica de Seldinger, los electrocatéteres necesarios, cuyo número varía según la naturaleza de la exploración. Otras rutas de acceso para el cateterismo venoso son la vena subclavia y las venas humerales. La introducción de catéteres en el ventrículo izquierdo puede hacerse por vía arterial a través de la arteria femoral derecha o en algunos casos a través de un agujero oval permeable. Habitualmente, los catéteres venosos se colocan en la punta del ventrículo derecho, en la región del haz de His y en la aurícula derecha alta, bajo vigilancia fluoroscópica y electrocardiográfica. En el estudio de la mayoría de las arritmias, el punto medular que sirve de eslabón para la interpretación diagnóstica es la obtención del electrograma del haz de His, el cual se registra con un catéter de USCI, 5F ó 6F, con una separación de 1 cm. El autor prefiere electrodos cuadripolares a fin de estimular desde el par distal y registrar desde el par proximal. El número de catéteres empleados, así como su situación intracardiaca, varía según el tipo de arritmias y el propósito de la exploración. En términos generales, en pacientes con taquicardias supraventriculares, además de los tres catéteres antes citados, se introduce un cuarto en el seno coronario. Para colocar el electrodo de registro en el haz de His, el catéter se lleva hasta la cavidad del ventrículo derecho bajo visión fluoroscópica y con registro continuo de los potenciales intracavitarios, hasta obtener el electrograma con una configuración predominantemente ventricular. Se retira el catéter lentamente a través de la válvula tricúspide, hasta que aparece en el registro la actividad auricular. Al mismo tiempo, se hace girar el catéter en sentido horario para ponerlo en la zona de unión entre el tabique interauricular y la valva septal de la tricúspide; esta zona se localiza con facilidad si se usa control fluoroscópico al tratar de formar un ángulo recto entre la silueta de la columna vertebral y el caté-

ter en el área tricuspídea del corazón. Cualquier tipo de electrocatéter permite en general el registro de un buen potencial hisiano. En el Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez" (IN-CICH) se utiliza de manera habitual el catéter cuadripolar con electrodos separados 5 mm (Josephson USCI) o con una separación de 1 cm, 5F ó 6F. Se prefieren electrodos cuadripolares a fin de estimular desde el par distal y registrar desde el par proximal. En términos generales, en pacientes con taquicardias supraventriculares, además de los tres catéteres antes citados, se introduce un cuarto catéter en el seno coronario para registrar la activación de la aurícula izquierda y de la porción basal del ventrículo izquierdo. En pacientes con taquicardias ventriculares, es preciso obtener mayor información de los ventrículos. Para ello, además del electrodo de la punta del ventrículo derecho, se introduce un catéter adicional que se sitúa en el tracto de salida del ventrículo derecho y, si el paciente tiene alguna enfermedad del lado izquierdo del corazón, se introduce un tercer catéter en el ventrículo izquierdo.

Para el registro del electrograma hisiano se utilizan aparatos con filtros de bandas de selección entre los 30 y 500 Hz y con velocidades del sistema de registro de 50, 100 ó 200 mm/seg. Como referencia se usan una o más derivaciones electrocardiográficas periféricas, de las cuales las que más se emplean son DI, DII, DIII,  $V_1$  o  $V_6$ , solas o en combinación, según lo requiera el estudio. El estimulador para la realización de estudios electrofisiológicos debe ser capaz de introducir hasta tres extraestímulos consecutivos, acoplables tanto al ritmo del paciente como a un ritmo regular generado por el propio estimulador. Además, ha de ser capaz de proporcionar trenes de impulsos a frecuencias variables entre 1 y 800 latidos por minuto. Los estímulos tienen 2 mseg de duración y un voltaje doble del umbral de estimulación.

En general, el estudio electrofisiológico está indicado para el diagnóstico diferencial de una arritmia, generalmente cuando se ha previsto una ablación con radiofrecuencia del sustrato. Esto último está indicado cuando el tratamiento médico no logra controlar los síntomas o cuando la taquicardia se asocia a síntomas más graves.

Con una elevada tasa de éxitos y una baja tasa de complicaciones la ablación con radiofrecuencia ha pasado a ser el tratamiento de primera elección de muchas taquiarritmias. Algunos pacientes prefieren que se les trate con una

ablación con radiofrecuencia en vez de tomar medicamento alguno, a pesar de que éstos sean razonablemente eficaces, mientras que otros pacientes optan por la intervención cuando el tratamiento con fármacos bloqueantes del nodo auriculoventricular no ha logrado controlar los síntomas.

Los estudios electrofisiológicos se realizan también para diferenciar la taquicardia ventricular de la taquicardia supraventricular con aberrancia de conducción.

La ablación con radiofrecuencia mediante catéter es eficaz para la curación de la mayor parte de las formas de taquicardia supraventricular con un elevado porcentaje de éxitos. Se han alcanzado porcentajes de éxito superiores al 90% en las arritmias asociadas al síndrome de Wolff-Parkinson-White, la taquicardia de reentrada intranodal y la taquicardia auricular. La ablación con radiofrecuencia mediante catéter es eficaz también para la curación del flutter auricular de tipo I dirigiendo el tratamiento al istmo cavo-tricuspídeo. La ablación con catéter es el tratamiento de elección, tras la terapéutica farmacológica, de estas arritmias. Muchos autores consideran en la actualidad que constituye el tratamiento de primera elección, aun antes que el tratamiento farmacológico, en los pacientes con taquicardia supraventricular recidivante asociada al síndrome de Wolff-Parkinson-White.

La ablación con radiofrecuencia de la unión auriculoventricular para la inducción de un bloqueo auriculoventricular completo es una técnica altamente eficaz para el control de los síntomas en pacientes seleccionados con fibrilación auricular en los que ha fracasado el tratamiento médico. El candidato ideal para este tratamiento es el paciente que presenta una fibrilación auricular recidivante o persistente con una respuesta ventricular rápida a pesar del tratamiento médico. La ablación con radiofrecuencia mediante catéter también es aplicable a la taquicardia de reentrada del nodo sinusal, aunque la experiencia en estos casos es aún limitada.

En la actualidad, se están investigando activamente otras técnicas para la ablación curativa de la fibrilación auricular. La intervención del laberinto es una técnica quirúrgica para la curación de la fibrilación auricular en la que se realizan múltiples incisiones en ambas aurículas para impedir la aparición y perpetuación de circuitos de reentrada. Las intervenciones del laberinto mediante catéter, intentan reproducir los resultados de la

operación quirúrgica del laberinto. En algunos pacientes, la fibrilación auricular parece haber un origen focal, a menudo en las venas pulmonares. La ablación con radiofrecuencia del lugar de origen puede ser curativa.

Existe ya una experiencia suficiente para poder establecer que la ablación mediante catéter constituye un tratamiento de segunda línea para la taquicardia ventricular debida a un infarto de miocardio cicatrizado, y que su empleo debe limitarse a los pacientes en los que las arritmias no pueden controlarse con otros medios. La mayor parte de estos pacientes presentan morfologías múltiples de taquicardia ventricular durante las pruebas electrofisiológicas, por lo que la curación completa de la taquicardia ventricular mediante la ablación por radiofrecuencia con catéter resulta difícil, requiere tiempo y a menudo no es posible. La ablación con radiofrecuencia en pacientes con cardiopatía isquémica suele reservarse para los enfermos con descargas repetidas de los desfibriladores automáticos implantables (DAI). En estos casos no es necesaria la ablación de todas las morfologías de la taquicardia ventricular, siempre que pueda inducirse la taquicardia ventricular clínicamente problemática y ésta sea lo suficientemente estable como para ser localizada y tratada con ablación. En un estudio prospectivo, la ablación de la arritmia clínica fue satisfactoria en un 76% de los pacientes, con una media de  $1.4 \pm 0.6$  procedimientos de ablación. Se observó una reducción notable de la frecuencia de los tratamientos con DAI, que pasó de  $60 \pm 80$  al mes antes de la ablación, a  $0.1 \pm 0.3$  al mes después de ésta.

La investigación en curso parece prometedora para mejorar la eficacia de la ablación con catéter en este trastorno. Así, por ejemplo, la irrigación de la punta del catéter de ablación con suero fisiológico para reducir su temperatura permite la producción de lesiones más grandes y más transmurales, que a menudo son necesarias para conseguir eliminar un circuito de taquicardia ventricular. Las mejores técnicas de cartografía,

como el sistema de cartografía electromagnético y los catéteres de cesta intravascular con electrodos múltiples, serán útiles para localizar y definir los circuitos de reentrada con objeto de producir su ablación.

Para determinar el lugar de origen de una arritmia, puede manipularse un catéter con capacidad de deflexión de la punta en el área de interés. Observaciones como el primer lugar de activación eléctrica durante la taquicardia o de electrogramas fraccionados son útiles para determinar el mejor lugar de ablación. La cartografía puntual requiere a menudo mucho tiempo. Además, no siempre es fácil de manipular el catéter haciéndolo volver al punto que parece ser el mejor lugar posible para la ablación tras haber analizado todos los lugares. Así pues, ha habido un gran interés por el desarrollo de otras técnicas que faciliten la cartografía intracardiaca. Recientemente, se ha presentado un sistema de cartografía endocárdica mediante catéter, no fluoroscópica, que utiliza tecnología magnética para determinar la localización y orientación de los catéteres, con objeto de crear unos mapas detallados cuando ello es necesario para ciertas arritmias cardíacas (sistema carto).

Se están desarrollando catéteres multipolares para el registro simultáneo de múltiples zonas durante las taquicardias. La capacidad de cartografiar múltiples lugares durante un latido de taquicardia debe permitir una identificación más rápida del lugar de origen de ésta, con lo que se reducirá el tiempo necesario para la aplicación de la técnica (endocardial non solution).

Se ha utilizado la ecocardiografía intracardiaca para definir la anatomía de la aurícula derecha durante la cartografía intracardiaca, con objeto de establecer los lugares adecuados para la ablación con radiofrecuencia.

Mucho se ha avanzado en los últimos años en el diagnóstico y tratamiento de las alteraciones del ritmo y de la conducción, con los logros tecnológicos en el registro externo e intracavitario de la actividad eléctrica del corazón.

## Referencias

1. CORABOEUF E, WEIDMANN S: *Potentiels d'action du muscle cardiaque obtenus à l'aide de microélectrodes intracellulaires*. Présence d'une inversion de potentiels. C R Soc Biol 1949; 143 4: 1360-1364.
2. ALANÍS J, GONZÁLEZ H, LÓPEZ E: *THE ELECTRICAL ACTIVITY OF THE BUNDLE OF HIS*. J Physiol (Lond) 1958; 142: 127-140.
3. SODI PALLARES D, MEDRANO GA, BISTENI A, DE MICHELI A: *The electrograms of the conductive*

- tissue in the normal dog's heart. *Am J Cardiol* 1959; 4: 459-463.
4. GIRAUD G, PUECH P, LATOUR H, HERTAULT J: *Variations de potentiel liées à l'activité du système de conduction auriculo-ventriculaire chez l'homme (enregistrement électrocardiographique endocavitaire)*. *Arch Mal Coeur* 1960; 53: 757-776.
  5. SHERLAG BJ, LAU SH, HELFANT RH, BERKOWITZ WD, STEIN E, DAMATO AN: *Catheter technique for recording His bundle activity in man*. *Circulation* 1969; 39: 13-18.
  6. DAMATO AN, LAU SH, BERKOWITZ WD, ROSEN KM, LISI KR: *Recording of specialized conducting fibers (A-V nodal, His bundle, and right bundle branch) man using an electrode catheter technic*. *Circulation* 1969; 39: 435-447.
  7. JOSEPHSON ME, HOROWITZ LN, SPIELMAN SC, WAXMAN HJ, GREENSPAN AM: *Role of catheter mapping in the preoperative evaluation of ventricular tachycardia*. *Am J Cardiol* 1982; 49: 207-220.
  8. JACKMAN WM, WANG XZ, FRIDAY KJ, ROMAN CA, MOULTON KP, BECKMAN KJ, ET AL: *Catheter ablation of accessory atrioventricular pathways by radiofrequency current*. *N Engl J Med* 1991; 324: 1605-1611.
  9. HAISAGUERRE M, JAIS P, SHAH DC, TAKAHASHI A, HOCINI M, QUINIOU G, ET AL: *Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins*. *N Engl J Med* 1998; 339: 659-666.
  10. ITURRALDE TP, COLÍN LL, GUEVARA VM, RODRÍGUEZ L, KERSHENOVICH SS: *Ablación con radiofrecuencia en el tratamiento de las taquicardias. Experiencia en 1,500 casos*. *Arch Inst Cardiol Méx* 2000; 70: 349-366.
  11. ITURRALDE P, MEDEIROS A, GUEVARA M, KERSHENOVICH S, VARELA S, COLÍN L: *Fibrilación auricular focal tratada mediante radiofrecuencia*. *Arch Inst Cardiol Méx* 2000; 70: 173-179.