

Nuevos métodos diagnósticos en cardiología

Eduardo Contreras Zúñiga,* Sandra Ximena Zuluaga Martínez**

RESUMEN

El campo de la salud está constantemente en desarrollo; los adelantos tecnológicos son interminables, a todo nivel y en búsqueda de un mismo objetivo: la prevención. Prevenir significa identificar pacientes con factores de riesgo para diferentes patologías, detectar tempranamente los nuevos casos de enfermedad, prevenir las complicaciones de la entidad diagnosticada y evitar secuelas cuando se detecta la enfermedad en un estadio avanzado. La detección de factores de riesgo es la manera más común de identificar a los pacientes predispuestos a una enfermedad, pero muchas veces no son suficientes para cumplir este objetivo, y se requiere la ayuda de métodos diagnósticos más avanzados.

Palabras clave: Métodos diagnósticos, estudios electrofisiológicos, medicina nuclear, ecocardiografía.

INTRODUCCIÓN

La cardiología clínica sigue siendo el pilar básico de la especialidad. El gran desarrollo de las técnicas diagnósticas hace más necesario recalcar su importancia, porque la decisión final del cardiólogo debe ser consecuencia de la integración de toda la información recibida a través tanto de la clínica como de las técnicas diagnósticas. La gran incidencia de los problemas cardiovasculares implica la participación del cardiólogo en múltiples aspectos de la asistencia clínica. A continuación se describen algunas nuevas ayudas diagnósticas.

ELECTROCARDIOGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN

El electrocardiograma (ECG) convencional de superficie ha sido usado extensivamente como herramienta

ABSTRACT

The health field is constantly developing, technological advances are endless, at all levels and in search of a common goal: prevention. Prevention means to identify patients with risk factors for various diseases, early detection of new cases of disease, prevent the complications of the entity and avoid sequels diagnosed when the disease is detected at an advanced stage. The detection of risk factors is the most common way of identifying patients predisposed to a disease, but often are not sufficient to meet this objective, and requires the help of advanced diagnostic methods.

Key words: Diagnostic methods, electrophysiological studies, nuclear medicine, echocardiography.

de diagnóstico para detectar problemas cardíacos. Una señal típica de un ECG estándar obtenida en la superficie del cuerpo, presenta amplitudes que alcanzan valores entre 1 y 5 milivoltios, siendo las principales fuentes de ruido que lo contaminan: interferencia electromagnética, ruido de origen electrónico debido a la instrumentación, y ruido de origen fisiológico. Esto hace que un ECG convencional o estándar presente un nivel de ruido en el rango de 2 a 20 microvoltios de valor eficaz. El ancho de banda en aplicaciones clínicas es de 0.05-100 Hz 1.

Para el diagnóstico clínico, tiene mucha importancia los intervalos temporales entre las distintas ondas de cada latido. Desde sus inicios, el ECG ha sido interpretado a partir del análisis de sus formas de ondas, y de mediciones de los intervalos de tiempo entre las diferentes ondas. Sin embargo, algunas señales de amplitudes muy pequeñas, y con componentes de alta frecuencia, pueden quedar enmascarados por el ruido, dificultando su apreciación e interpretación. La detección de este tipo de ondas, con características diferentes a las formas de ondas convencionales, empezó a ser un área importante de estudio de la electrocardiografía, y se le empezó a denominar electrocardiografía de alta resolución (ECGAR). Los

* Medicina Interna. Fellowship en Cardiología. Universidad del Valle. Cali. Colombia.

** Médico y Cirujano. Angiografía de Occidente S.A. Cali. Colombia.

primeros trabajos que se realizaron sobre ECGAR fueron estudios sobre la caracterización de la actividad del His-Purkinje, desde la superficie del cuerpo. La más importante aplicación clínica de la ECGAR ha sido en la detección de potenciales tardíos (PT). Se determinó que estos potenciales, cuando existen, se encuentran ubicados al final del complejo QRS. El valor pronóstico de los PT, ha sido ampliamente reportado, particularmente en pacientes con enfermedad de las arterias coronarias, y está asociado con la ocurrencia de taquicardias ventriculares y muerte súbita después de padecer un infarto al miocardio. Otros investigadores determinaron la existencia de potenciales dentro de la duración normal del complejo QRS. Nuevos métodos de procesamiento y análisis del ECGAR están siendo aplicados para el estudio de diferentes poblaciones: taquicardias ventriculares con bloqueos de rama, pacientes isquémicos y pacientes con enfermedad de Chagas (Figura 1).¹⁻³

MAPEO ESPECTRO TEMPORAL

Los potenciales tardíos ventriculares (PTV) son señales de muy baja amplitud (del orden de algunos μ V) y alto contenido de frecuencias (entre 40 y 250 Hz) localizadas en el tramo final del complejo QRS y en la porción inicial del segmento ST de la señal electrocardiográfica. La detección de los PTV en registros ECG de alta resolución (ECGAR) ha sido asociada con el riesgo de sufrir arritmias ventriculares malignas en pacientes postinfarto de miocardio.^{2,4}

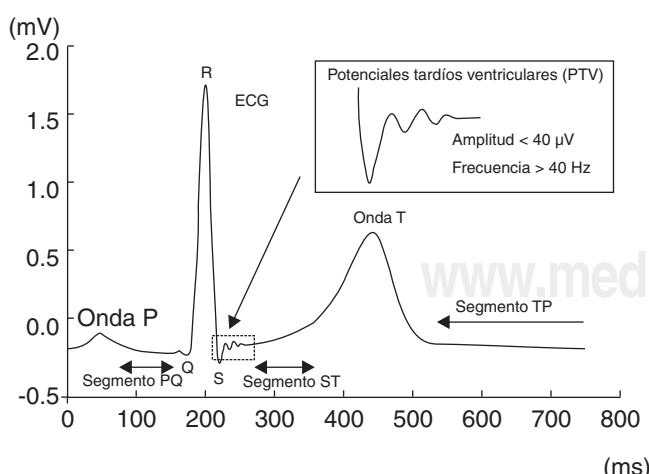


Figura 1. Los potenciales tardíos son manifestaciones de atenuaciones y retrasos de algunos de los componentes de la onda de despolarización cardiaca.

Debido a su baja amplitud, los PTV se encuentran generalmente enmascarados por el ruido en los registros ECGAR. El promediado temporal de señal es la técnica clásica utilizada para mejorar la relación señal a ruido de los micropotenciales. La técnica se basa en la hipótesis de que los PTV se comportan de manera estable y se repiten en cada latido del registro ECGAR y que el ruido es aleatorio y no correlacionado con la señal de interés. El proceso de promediado requiere definir un punto de sincronismo preciso en cada latido a promediar.^{4,5}

Sin embargo, cabe señalar que el proceso de promediado elimina información dinámica de los PTV que puede resultar de interés desde el punto de vista diagnóstico. En efecto, diferentes estudios han demostrado que los PTV pueden presentar un comportamiento dinámico y que la variabilidad latido a latido de los PTV puede estar asociada con el riesgo de arritmias malignas.^{4,5}

Por otra parte, la detección directa latido a latido de los PTV no resulta sencilla debido a la baja amplitud de los micropotenciales y a las características del ruido en los registros ECGAR. Diversos métodos se han intentado con este objetivo, desde la utilización del promediado espacial o el filtrado adaptativo, hasta la adquisición de las señales ECGAR dentro de una jaula de Faraday.^{4,5}

El mapeo espectro-temporal (E-T) es una técnica que revela el contenido tiempo-frecuencia de una señal. Esta técnica ha sido utilizada con éxito para la detección de PTV en latidos promediados, pero presenta ciertas dificultades para la detección de los micropotenciales en latidos individuales.^{5,6}

Básicamente, un mapa E-T se obtiene combinando un conjunto de espectros calculados en una ventana temporal de duración fija que se desplaza a lo largo de la señal de interés. Los espectros resultantes se estructuran posteriormente en un arreglo matricial, dando origen al mapa E-T, cuyos ejes corresponden a las variables *tiempo* y *frecuencia*, mientras que su valor representa la *densidad espectral de potencia* (Figura 2).^{5,6}

La técnica E-T es aplicada al vector magnitud (VM) de cada latido detectado y del latido promedio.

ECOCARDIOGRAMA TRIDIMENSIONAL

El desarrollo de transductores matriciales con múltiples cristales y de tecnología de microprocesadores ultrarrápidos han permitido que la ecocardiografía tridimensional pasara de una etapa de reconstrucción off line trabajosa y prolongada a la obtención de imágenes tridimensionales en tiempo real.

Las ventajas de este sistema probablemente puedan ir más allá del aspecto estético, habiendo demostrado su valor en la cuantificación de volúmenes y fracción de eyección en distintas condiciones patológicas, añadiendo interesantes ventajas en la interpretación de anomalías del retorno venoso pulmonar, cortocircuitos intracavitarios, análisis de morfología valvular para la reparación y lesiones complejas por extensión extravalvular en endocarditis infecciosa.^{7,8}

Desde un punto de vista técnico la tridimensionalidad se obtiene mediante la orientación espacial de los cortes tomográficos obtenidos a través del movimiento controlado de transductores convencionales o mediante otros especialmente diseñados. Es una técnica que ofrece nuevos aspectos de interés en el diagnóstico cardiovascular sin perder ninguna de las ventajas que la ecocardiografía posee con relación a otras técnicas de imagen cardiovascular.

La reconstrucción tridimensional de estructuras cardíacas partiendo de imágenes bidimensionales no es una técnica libre de limitaciones. Su interpretación requiere de tiempo, entrenamiento y conocimiento profundo de la anatomía dinámica cardiovascular. El tiempo de adquisición puede oscilar entre los 2 y los 20 minutos, dependiendo del número de imágenes, de su densidad espacial y de la regularidad de las frecuencias cardíaca y respiratoria

del paciente. Los tiempos de adquisición prolongados pueden representar un serio problema durante las adquisiciones transesofágicas. Durante este tiempo cualquier variación en la orientación del transductor se traduce en reconstrucciones de poca calidad y sin utilidad práctica. Para una adecuada adquisición se requiere de una ventana acústica en la que la imagen no se pierda durante el recorrido del transductor. También es importante la cooperación o sedación del paciente, lo que puede resultar especialmente problemático durante los estudios en pacientes pediátricos.^{8,9}

La ecocardiografía tridimensional se presenta especialmente útil para el estudio de cardiopatías congénitas. En concreto, al medir en tres dimensiones los orificios entre cavidades, proporciona una información muy completa de la geometría de las comunicaciones anómalias.

La técnica más común en ecocardiografía tridimensional es la adquisición de datos basada en la captura de múltiples ciclos sincronizados con el ECG y con los movimientos respiratorios de la pared torácica.

Las imágenes ecocardiográficas pueden generarse desde un estudio transtorácico bidimensional convencional o a través de un ecocardiograma transesofágico a los cuales se les adosa un elemento rotador del cristal que es orientado por una unidad controla-

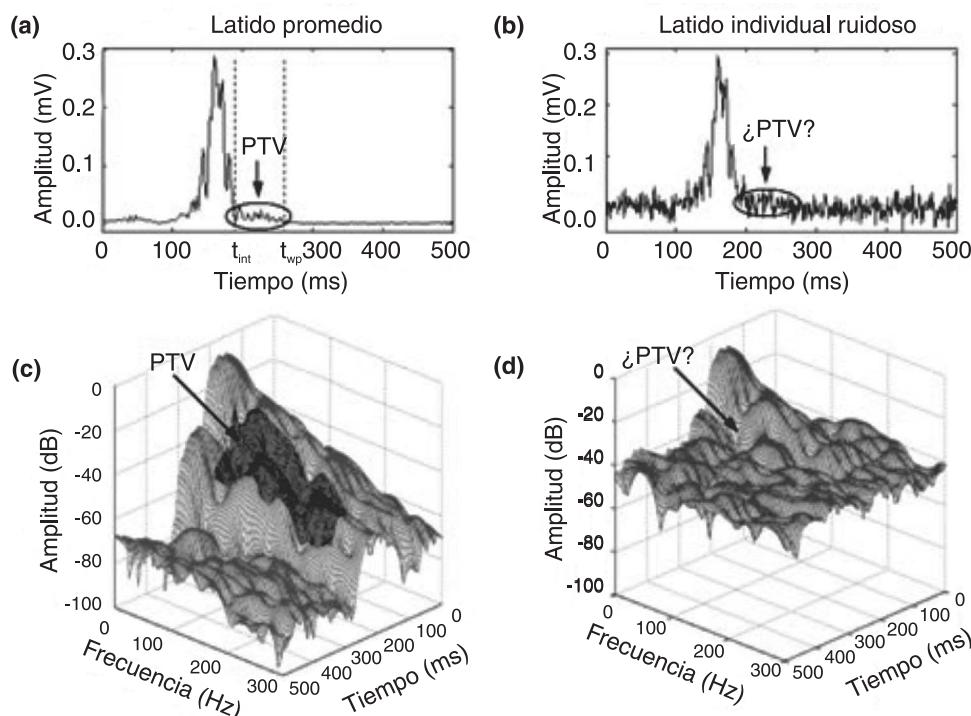


Figura 2. Representación del vector magnitud (VM) y del mapa espectro-temporal (E-T) para el latido promedio y para un latido individual ruidoso extraído de un registro ECGAR. En esta figura se muestran: (a) VM del latido promedio, (b) VM del latido individual, (c) Mapa E-T del latido promedio, y (d) Mapa E-T del latido individual. En la gráfica (c), la zona sombreada delimita la plantilla E-T característica de los PTV que se usará en la etapa de correlación cruzada.

dora que va a comandar el plano de corte de la imagen. Todos los datos adquiridos se procesan en una computadora con el software adecuado, para la posterior reconstrucción en 3 dimensiones o en 4D si al volumen se le agrega movimiento. Esta información que se archiva en sistemas digitales, va desde los valores de la escala de grises que reflejan las estructuras cardíacas a la velocidad de los jets en Doppler color que nos permite la reconstrucción volumétrica de los flujos intracardiacos (*Figura 3*).^{8,9}

La rotación del transductor, los límites máximo y mínimo de la frecuencia cardíaca y los límites de los movimientos de la pared torácica son los parámetros que deben optimizarse para la adquisición, ya que son responsables de la resolución temporal y espacial, para que sea adecuada es mandatorio que el transductor no se desplace durante el examen.⁷

ESTUDIO ELECTROFISIOLÓGICO Y MAPEO ELECTROMAGNÉTICO

Este sistema realiza un mapeo electromagnético del corazón. El catéter de ablación tiene un sensor magnético en la punta. Otro sensor magnético se sitúa en la espalda del paciente, y bajo la mesa se halla un triángulo con tres imanes en los vértices, cada uno de distinto tamaño y de un valor conocido. Esto genera un campo magnético en el que el sensor de la espalda es incluido en el campo. Una vez reconocido por un potente ordenador, el aparato detecta los cambios de posición del catéter mapeador, con respecto al de referencia (espalda). Mediante desplaza-

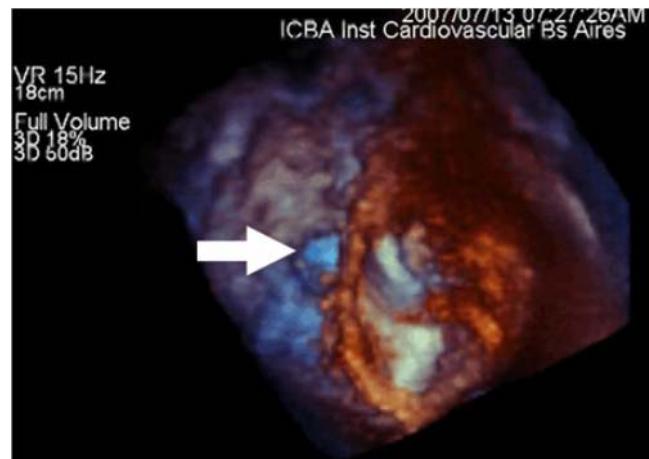


Figura 3. Ecocardiograma 3D: defecto anatómico redondeado, de bordes irregulares, a nivel de la porción posterior y medial del septum inferior.

mientos del catéter se van obteniendo puntos y referencias eléctricas intracardiacas. El ordenador reconstruye un mapa tridimensional del corazón y en base a los tiempos de activación local de cada punto registrado, elabora un mapa de colores que indica las zonas en las que la actividad es más precoz y en las que es más tardía (*Figura 4*).^{4,6,9}

Una vez elaborado el mapa, se vuelve a las zonas de interés y allí se aplica selectivamente la RF. También se pueden elaborar mapas de voltaje, impedancia, de isócronas, etc.

Ventajas

1. Adquisición en tiempo real de electrogramas locales y puntos anatómicos para el mapa de 3D.
2. Catéter único.
3. Visualización virtual del movimiento del catéter, lo que permite volver a localizaciones previas.
4. Reducción del tiempo de radioscopía.

PRUEBAS DE ESFUERZO CARDIOPULMONAR

Las pruebas de ejercicio cardiopulmonar (PECP) permiten el análisis integrado de la respuesta al ejercicio y evalúan la reserva funcional de los sistemas implicados en la misma. Asimismo, determinan el grado de limitación de la tolerancia al ejercicio. Las pruebas de ejercicio cardiopulmonar resultan especialmente adecuadas para la evaluación de aquellas situaciones en que la disnea no tiene un

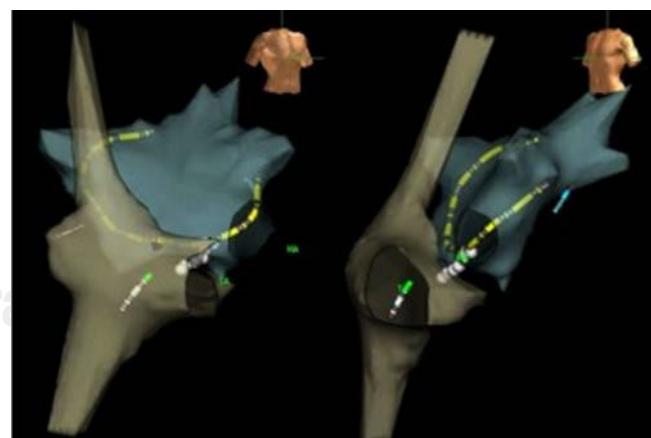


Figura 4. Imagen tridimensional de las aurículas y nacimiento de venas pulmonares creadas mediante sistema EnSite, en dos proyecciones (oblicua anterior derecha y oblicua anterior izquierda). Se observa catéter dodecapolar emplazado en la aurícula izquierda durante mapeo de aleteo auricular izquierdo.

reflejo claro en las pruebas de función pulmonar efectuadas en condiciones de reposo. El interés actual por las pruebas de ejercicio cardiopulmonar

viene determinado por la conjunción de factores de naturaleza diversa, como su aplicabilidad en el área clínica, la no invasividad y el hecho de que aportan

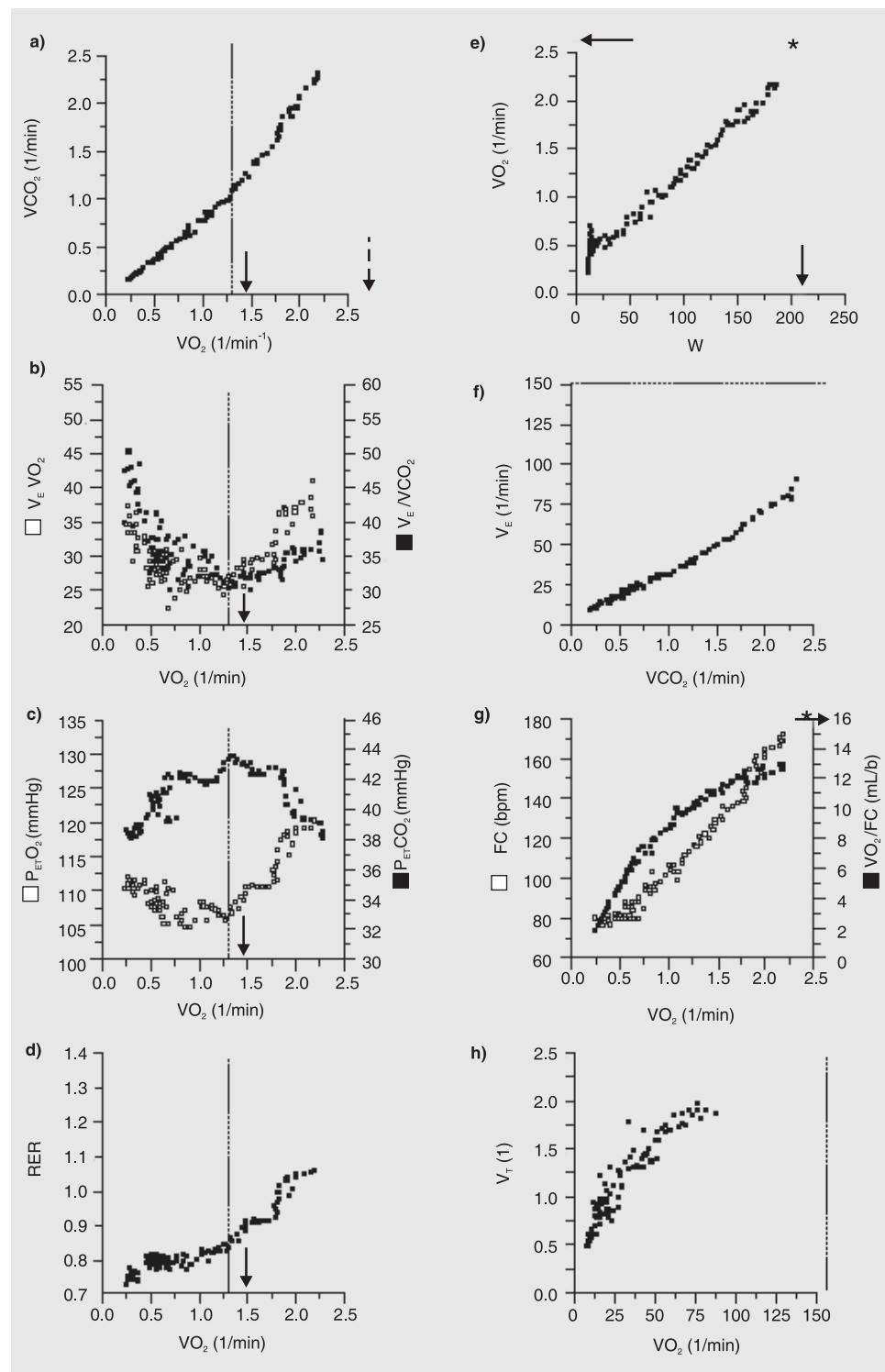


Figura 5. Resultado del ejercicio en un sujeto sano sedentario de 42 años. Presentación de los gráficos básicos recomendados para la interpretación de las pruebas de ejercicio cardiopulmonar (PECP). En las gráficas (a-d) de la columna izquierda se indica el VO_2 (abscisas) en relación a las variables comúnmente usadas para estimar de manera indirecta el umbral láctico (LT). La línea vertical discontinua representa el VO_2 en la zona de transición desde ejercicio de moderada a severa intensidad. El LT esperado para un sujeto sano (55% del valor de referencia del VO_2 pico) se representa con una pequeña flecha de trazo continuo. El valor de referencia del VO_2 pico se indica en el gráfico a con una flecha de trazo discontinuo. En la columna de la derecha, el gráfico e indica el VO_2 frente a trabajo (vátios). Los valores máximos alcanzados en VO_2 y vátios indican la tolerancia al ejercicio del sujeto. Los valores de referencia correspondientes se indican con un asterisco. Los gráficos f y h indican la respuesta de la ventilación frente a VCO_2 y volumen corriente frente a ventilación. La línea de trazo discontinuo representa la ventilación máxima esperada. La diferencia entre ésta y la ventilación máxima alcanzada por el sujeto es la reserva ventilatoria. Finalmente, el gráfico g presenta las características de la respuesta hemodinámica (frecuencia cardiaca y pulso de oxígeno) al ejercicio. El valor de referencia de la frecuencia cardiaca máxima se representa por un asterisco y por una flecha el pulso de oxígeno.^{10,11}

información que no puede obtenerse a partir de otras pruebas.^{10,11}

Todo ello les otorga un gran potencial de futuro. Durante los últimos años se ha alcanzado un cierto consenso, o al menos un menor grado de controversia, en la interpretación de aspectos básicos de la fisiología del ejercicio que, sin duda, determinaron un cierto bloqueo de la aplicación clínica de las PECP. Constituyen un buen ejemplo de ello las polémicas sobre el papel del transporte de O₂ en la limitación de la tolerancia del ejercicio o la interpretación de los mecanismos fisiológicos subyacentes en el fenómeno del umbral láctico (antes llamado umbral anaerobio). No menos importante ha sido el desarrollo tecnológico de los ordenadores, los analizadores de gases espirados, el desarrollo de polímeros absorbentes de humedad, etc., que, en conjunto, han determinado avances notables en la fiabilidad de las PECP y han facilitado enormemente la interpretación de los resultados. La idoneidad de las PECP para establecer la indicación de trasplante cardíaco, o para estimar el pronóstico en determinadas enfermedades como la fibrosis quística, han aumentado las expectativas sobre el papel de estas pruebas en la clínica. Actualmente, las PECP pueden ser consideradas claves en el laboratorio de fun-

ción pulmonar. Asimismo, las nuevas concepciones en lo que respecta a las PECP deberán facilitar una colaboración fructífera de los neumólogos con otros médicos especialistas (*Figura 5*).^{11,12}

GATED SPECT

La fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) es un índice de gran utilidad en la estratificación de riesgo en pacientes con miocardiopatía isquémica o primaria. Con el gated SPECT se pueden calcular con cierta precisión los volúmenes ventriculares y la FEVI. Varios estudios clínicos han demostrado la eficacia del gated SPECT en el cálculo de este parámetro. Sin embargo existen algunos factores que disminuyen la efectividad del gated SPECT y deben ser considerados por el clínico o los investigadores que utilizan este método para medir la FEVI. Estos factores son: la actividad de fondo, el número de cuentas radiactivas en la imagen, el tamaño del ventrículo izquierdo y la presencia de arritmias y/o defectos de perfusión. Finalmente, está demostrado que la variabilidad intrínseca del gated SPECT es alta y por tanto no debe ser utilizado en análisis secuenciales de la FEVI. Sobre la base de estos conocimientos, cuando es necesaria la

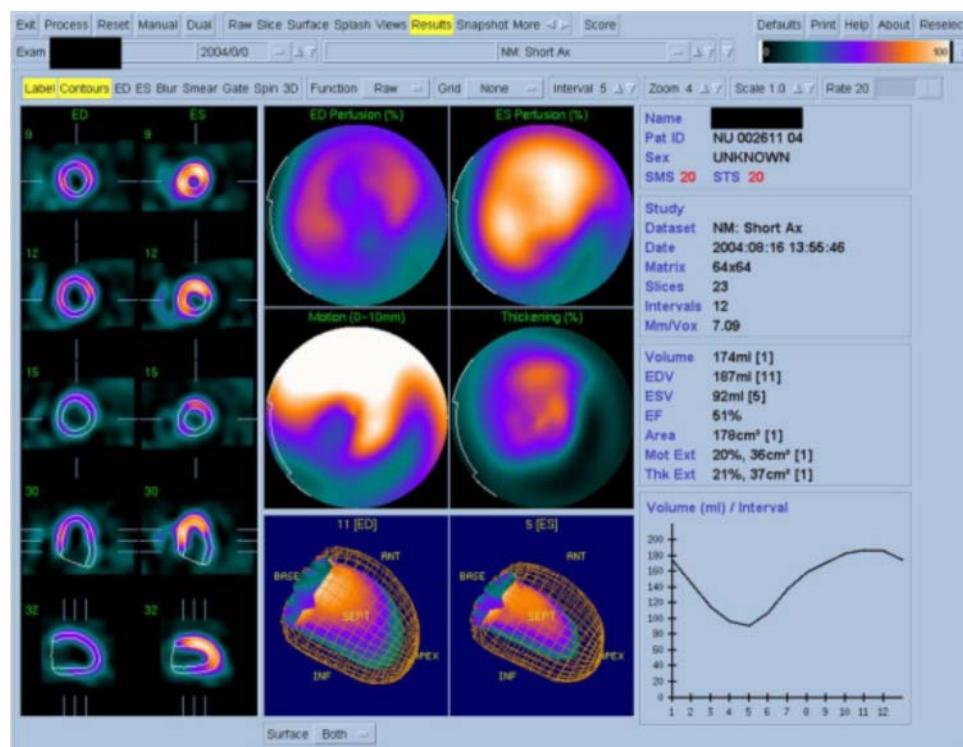


Figura 6. Ventriculografía radioisotópica.

evaluación precisa y secuencial de la FEVI, la ventriculografía radioisotópica en equilibrio (VRIE) continúa siendo el método más confiable para evaluar la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (*Figura 6*).^{13,14}

Cuadro I. El ultrasonido intracoronario evalúa.

- La pared arterial coronaria normal (íntima, media y adventicia)
- Los cambios ateroscleróticos en la anatomía y dimensiones de la arteria coronaria
- Los principales componentes del ateroma (tejido fibroso, lípido, calcio)
- Las modificaciones arteriales coronarias en respuesta al intervencionismo
- Los cambios en el fenómeno de reestenosis

ECOGRAFÍA INTRAVASCULAR CORONARIA (IVUS)

El IVUS es un sistema basado en catéter que provee imágenes detalladas, de alta calidad, de las arterias coronarias *in vivo*. En el *cuadro I* se resumen las características estudiadas con IVUS¹⁵.

Esta tecnología emplea un catéter extremadamente delgado (2.9-3.5 Fr 0.87-1.17 mm) a través de una guía (6.0 Fr) que incorpora un sistema de emisión ultrasonora (transductor) en miniatura en el extremo distal, hallándose éste a su vez conectado a una consola generadora de imágenes en tiempo real. El hemodinamista emplea técnicas convencionales de cateterismo coronario, canulando la arteria coronaria en estudio colocando el catéter de IVUS a través de la lesión para luego retroceder el transductor lentamente hasta obtener imágenes aceptables de la lesión. Estas imágenes vasculares aparecen como refle-

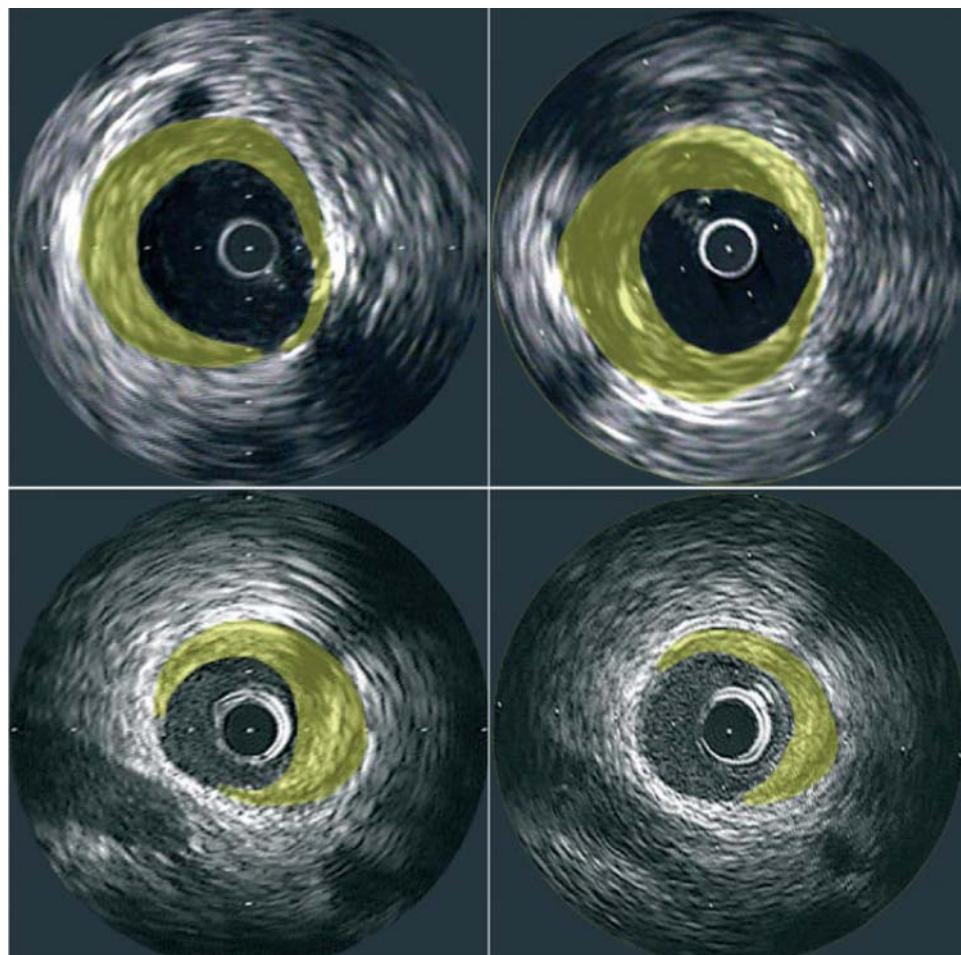


Figura 7. Imágenes transversales de ecografía intravascular en las que se demuestra la progresión de la placa (paneles superiores) y la regresión de la placa (paneles inferiores) en zonas pre especificadas que habían sido estudiadas tanto al inicio del estudio (paneles izquierdos) como durante el seguimiento (paneles derechos).

jos acústicos en la pantalla en una escala de grises, permitiendo una inspección visual del lumen vascular en un corte transversal. También se pueden generar imágenes longitudinales del vaso empleando un sistema de retroceso motorizado («pullback»), retirando el catéter a una velocidad constante (entre 0.25-1 mm/seg) generando así una imagen tomográfica longitudinal de la lesión en estudio. El empleo de altas frecuencias de sonido (transductores de 30-40 MHz) permite la reconstrucción de imágenes con una excelente resolución. Durante el procedimiento de ultrasonido intracoronario se suele administrar de rutina heparina intravenosa (manteniendo un tiempo activado de coagulación > 200-250 seg) y nitrógeno intracoronario (100-300 µg).¹⁵⁻¹⁷

Existen fundamentalmente dos diseños de transductores: 1) el de rotación mecánica, y 2) el de múltiples cristales piezoelectrónicos. El sistema mecánico utiliza un cable de conducción que recorre todo lo largo del catéter, haciendo rotar en el extremo distal un transductor de cristal eléctrico único a 1,800 revoluciones por minuto, generando una imagen tomográfica en la consola. El sistema eléctrico, al contrario, utiliza un transductor en el extremo distal compuesto de una variedad de cristales eléctricos dispuestos en forma anular. Éstos son activados en forma secuencial varias veces por segundo, generando igualmente una imagen tomográfica circunferencial (corte transversal) de la arteria coronaria (*Figura 7*).¹⁵⁻¹⁷

BIBLIOGRAFÍA

- Berbari EJ, Bock EA. High-resolution analysis of ambulatory electrocardiograms to detect possible mechanisms of premature ventricular beats. *IEEE Trans Biomed Eng* 2005; 52: 593-598.
- Mason JW, Hancock EW, Gettes LS. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part II: electrocardiography diagnostic statement list a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 1128-1135.
- Schijvenaars BJ, van Herpen G, Kors JA. Intraindividual variability in electrocardiograms. *J Electrocardiol* 2008; 41: 190-196.
- Sra J. Mapping techniques for atrial fibrillation ablation. *Curr Probl Cardiol* 2007; 32: 669-767.
- Hamdan A, Zafrin N. Modalities to assess myocardial viability in the modern cardiology era. *Coron Artery Dis* 2006; 17: 567-576.
- Helm P, Beg MF. Measuring and mapping cardiac fiber and laminar architecture using diffusion tensor MR imaging. *Ann N Y Acad Sci* 2005; 1047: 296-307.
- Avi V, Sugeng L. Three-dimensional adult echocardiography: where the hidden dimension helps. *Curr Cardiol Rep* 2008; 10: 218-225.
- Correale M, Ieva R. Real-time three-dimensional echocardiography: an update. *Eur J Intern Med* 2008; 19: 241-248.
- Ector J, De Buck S, Adams J. Cardiac three-dimensional magnetic resonance imaging and fluoroscopy merging: a new approach for electroanatomic mapping to assist catheter ablation. *Circulation* 2005; 112: 3769-3776.
- Sra J. Cardiac image registration of the left atrium and pulmonary veins. *Heart Rhythm* 2008; 5: 609-617.
- Grupo de trabajo SEPAR. Prueba de ejercicio cardiopulmonar. Archivos de Bronconeumología. 2001; 37(7).
- Ferguson MK, Lehman AG. The role of diffusing capacity and exercise tests. *Thorac Surg Clin* 2008; 18: 9-17.
- Ingle L. Prognostic value and diagnostic potential of cardiopulmonary exercise testing in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail* 2008; 10(2): 112-118.
- Tamaki N, Morita K. SPET in cardiology. Diagnosis, prognosis, and management of patients with coronary artery disease. *Q J Nucl Med Mol Imaging* 2005; 49: 193-203.
- Giorgetti A, Rossi M. Feasibility and diagnostic accuracy of a gated SPECT early-imaging protocol: a multicenter study of the Myoview Imaging Optimization Group. *J Nucl Med* 2007; 48: 1670-1675.
- Gillard M, Zeller M. Reliability and limitations of angiography in the diagnosis of coronary plaque rupture: an intravascular ultrasound study. *Arch Cardiovasc Dis* 2008; 101: 114-120.
- Nash DT. Use of vascular ultrasound in clinical trials to evaluate new cardiovascular therapies. *J Natl Med Assoc* 2008; 100: 222-229.

Dirección para correspondencia:

Eduardo Contreras Zúñiga

Calle 4 No. 65 - 14.

Cali, Colombia.

E-mail: edo11@hotmail.com.