

MEDICINA AL DIA

UTILIDAD DE LA ECOCARDIOGRAFIA DOPPLER EN EL DIAGNOSTICO DE LAS CARDIOPATIAS EN NIÑOS

* Dr. Waldo Ariel Suero M.

** Dr. Joaquín Mendoza Estrada

El examen Doppler es un complemento de mucho valor cuando se hace un estudio ecocardiográfico completo. La técnica Doppler y la ecocardiografía se habían desarrollado separadamente a partir del 1950. La imagen ecocardiográfica ha sido hasta hace poco la más popular de ambas técnicas. Sin embargo, ambas tienen papeles complementarios. La Ecocardiografía (modo M y Bidimensional) define las lesiones anatómicas y la técnica Doppler define su severidad hemodinámica o fisiológica. Mediante la ecocardiografía es sencillo hacer el diagnóstico anatómico de muchas enfermedades congénitas y adquiridas. Su mayor limitación ha sido, sin embargo, la incapacidad para definir la severidad de estas lesiones.

La técnica Doppler usa las alteraciones del sonido para

medir la velocidad y la dirección de la sangre moviéndose dentro del corazón y grandes vasos. Es decir, no informa directamente sobre la anatomía cardíaca, pero sí provee información fisiológica. Tiene la capacidad de medir veloci-

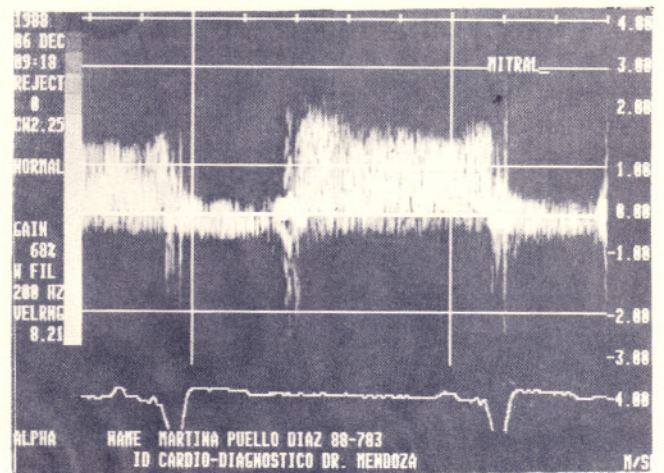


FIGURA No. 1. Señal Doppler característica de una estenosis mitral, con velocidad pico de 2.2 M/seg, indicando un gradiente transmitral de 20 mmHg.

(*) Médico residente de Cardiología Pediátrica, Hospital de Niños Dr. Robert Reid Cabral.

(**) Médico ayudante del Servicio de Cardiología del Hospital de Niños de Santo Domingo Dr. Robert Reid Cabral y de la Unidad de Ecocardiografía Doppler de Cardio-Diagnóstico, S.A., Santo Domingo, República Dominicana.

dades normales y anormales del flujo sanguíneo de manera no invasiva. Por primera vez podemos hacer una estimación no invasiva del gradiente de una estenosis, calcular presiones intracardíacas y flujo sanguíneo, así como estimar la severidad de lesiones con regurgitación sanguínea.

En otras palabras, mediante la Ecocardiografía visualizamos los defectos congénitos, mediante la técnica Doppler determinamos la anomalía de flujos sanguíneos que producen. Mediante la ecocardiografía se visualiza cuando una válvula está deformada, mediante el examen Doppler confirmamos su estenosis o insuficiencia y definimos su severidad.

FISICA

El efecto Doppler fue descrito por primera vez en 1843 por Christian Johann Doppler, un profesor austriaco de matemática y geometría, cuando observó el cambio en el color de la luz de una estrella como resultado de su movimiento con respecto a la tierra. Él propuso que todas las estrellas emitirían un espectro puro de luz blanca y que los diferentes colores observados eran proporcionales al movimiento de la estrella hacia (color azul) o fuera (color rojo) de la tierra. Este fenómeno fue atribuido por Doppler a un cambio de frecuencia en las ondas y desde entonces se le conoce como "Efecto Doppler".

El efecto Doppler aplica a cualquier onda en que la fuente y el receptor se muevan con respecto del uno al otro. El efecto Doppler se aplica no sólo a las ondas de la luz, también a las ondas sonoras.

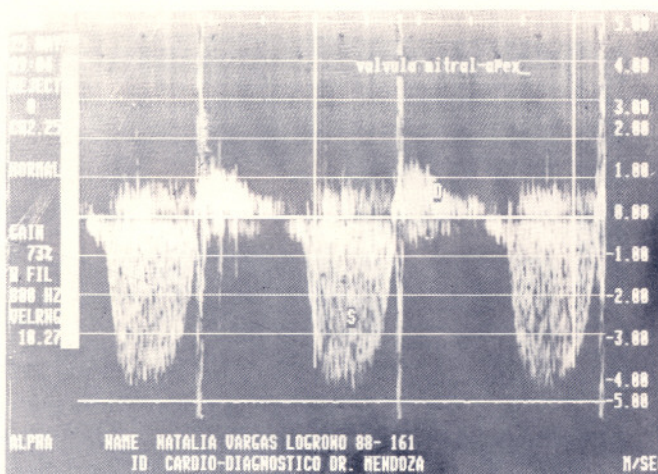


FIGURA No. 2. Jet sistólico (S) anormal a nivel de válvula mitral con velocidad cercana a 5 M/seg indicando insuficiencia mitral.

En 1956, Satamura fue el primero que aplicó la técnica Doppler para detectar la velocidad sanguínea. Desde entonces, la técnica avanzó progresivamente hasta los dos desarrollos más importantes que ha tenido recientemente: la incorporación del Doppler a la ecocardiografía (lo que permite saber el sitio donde usted está midiendo la velocidad de la sangre) y la aparición de la ecocardiografía Doppler a color.

Cuando el ultrasonido se propaga en el tejido humano, es reflejado desde cada interfase acústica o frontera. Si la interfase es estacionaria la onda de ultrasonido reflejado tiene la misma frecuencia que la onda transmitida. Cuando la interfase se mueve (por ejemplo las células rojas), la onda reflejada tiene una frecuencia que es ligeramente diferente a la transmitida, de acuerdo al efecto Doppler. Por tanto, "si el flujo de sangre es hacia el transductor, la frecuencia de la onda reflejada será mayor que la frecuencia transmitida. Por el contrario, flujo sanguíneo que se aleja del transductor resulta en una frecuencia más baja de la onda reflejada.

La diferencia entre la frecuencia reflejada y la frecuencia transmitida es lo que se conoce como Doppler SHIFT, cambio Doppler (AF) que es expresado en HERTZ (HZ). Mediante una ecuación se puede determinar la velocidad de la sangre aproximándose o alejándose (células rojas en movimiento).

CALCULOS

Con el uso de la ecocardiografía Doppler, la dirección y la velocidad de la sangre dentro de una cámara cardíaca

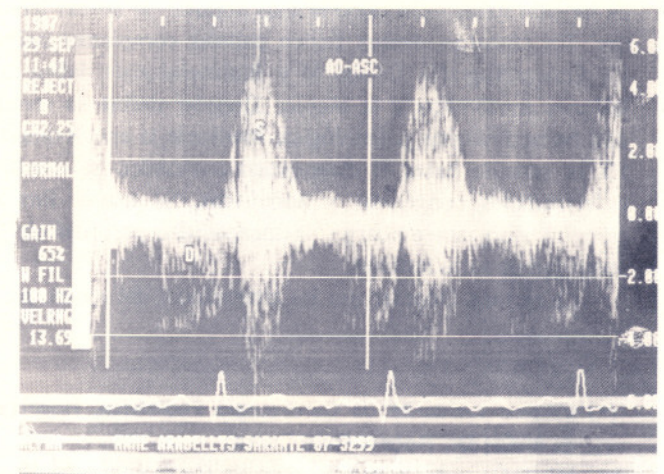


FIGURA No. 3. Doppler continuo desde la horquilla esternal en un caso con estenosis aórtica, velocidad sistólica (S) de 5 M/seg indicando un gradiente severo de 100 mmHg y disturbio diastólico (D) indicando insuficiencia aórtica.

pueden ser determinadas. La técnica permite al examinador apreciar la presencia de velocidades anormales como la que ocurre en pacientes con estenosis y regurgitación valvular. También es posible cuantificar el flujo sanguíneo y el grado de estenosis derivado de la velocidad Doppler.

La medición Doppler de la velocidad promedio del flujo sanguíneo (V) a través de un gran vaso permite estimar el gasto cardíaco (Q) si se conoce el área (A) del vaso. De tal manera que: el gasto cardíaco (Q) es igual al área de la arteria por la velocidad del flujo sanguíneo. La velocidad sanguínea y el área del vaso pueden medirse en la aorta ascendente y también en la arteria pulmonar; además en la válvula mitral y tracto salida ventrículo izquierdo.

GRADIENTE DE PRESION

Cuando un volumen constante de sangre pasa a través de un sitio estenótico en un vaso, el flujo sanguíneo está acelerado. Utilizando la ecuación de Bernoulli el gradiente de presión puede ser calculado.

INSTRUMENTACION

Dos técnicas de ecocardiografía Doppler están siendo usadas en este momento: los modos de onda-continua y onda-pulsada. Cada uno puede ser usado independientemente o en combinación con la imagen simultánea o interrumpida del eco bidimensional. Muchos aparatos pueden traer la capacidad de examinar con ambas modalidades de Doppler. Un electrocardiograma sirve de guía a la señal Doppler.

Los cambios en la frecuencia Doppler están en el rango audible por el oído humano. La audición de la señal Dop-

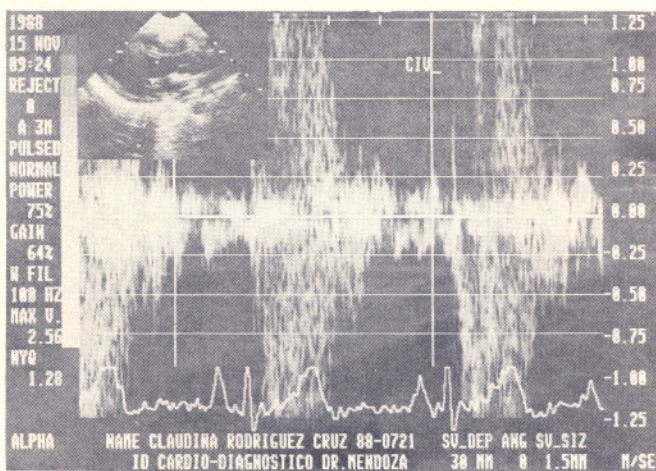


FIGURA No. 4. Jet sistólico en la cavidad del ventrículo derecho característico de comunicación interventricular.

pler es importante en el examen Doppler.

La señal Doppler es desplegada en una pantalla y puede ser grabada en video o fotografiada. La velocidad es desplegada en el eje Y (Ordenada) y el tiempo en el eje X (Abscisa). Una señal positiva indica flujo hacia el transductor y una señal negativa denota que se aleja del transductor.

En la técnica del Doppler pulsado un cristal único sirve de emisor y a la vez de receptor del ultrasonido reflejado. El cristal produce señales cortas de ultrasonido que son transmitidas a las cámaras cardíacas a una frecuencia llamada PRF frecuencia de repetición del pulso.

El ultrasonido reflejado por las células rojas en movi-

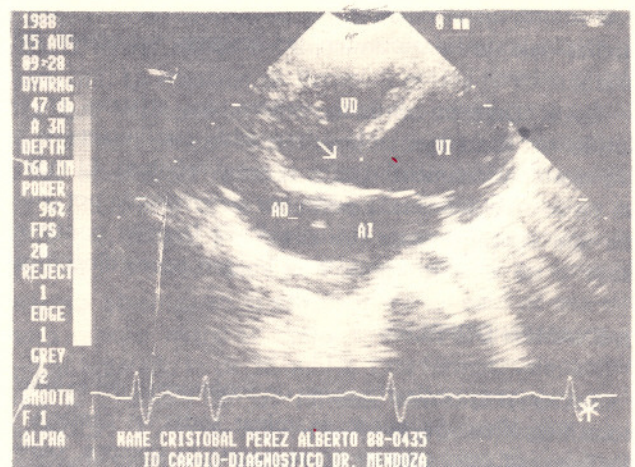


FIGURA No. 5. La flecha indica la presencia de un defecto interventricular (CIV), en posición 4 cámaras apical.

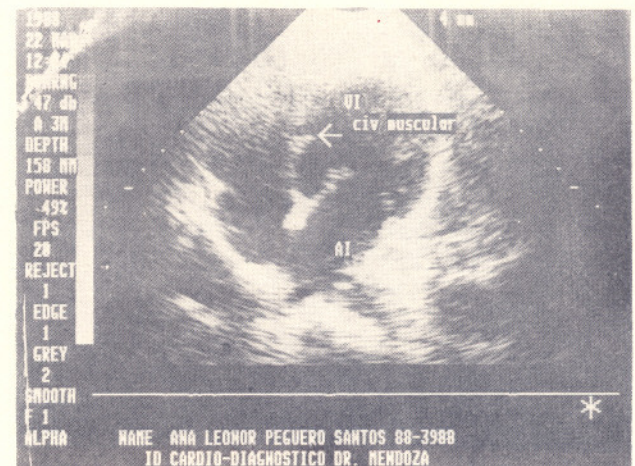


FIGURA No. 6. Ecocardiograma bidimensional en posición 4 cámaras apical, en el caso de una comunicación interventricular (CIV) tipo muscular

miento es recibido durante el intervalo entre las pulsaciones transmitidas. Por medio de una señal (Sample volumen) podemos obtener información de localizaciones específicas dentro del corazón. Basta colocar la señal volumen en la imagen bidimensional en el lugar que se desea.

El máximo cambio de frecuencia (Doppler Shift) que puede ser correctamente cuantificado por medio del Doppler-pulsado es igual a la mitad de PRF, un cambio de frecuencia que es llamado el "Limite Nyquist". A cualquier frecuencia sobre el "Nyquist Limit", la señal comenzará a aparecer por encima de ella misma en un fenómeno llamado "Aliasing". De esta manera el Doppler pulsado tiene límites de frecuencia que no puede alcanzar, como aquellas que se alcanzan en las lesiones valvulares del corazón.

En el Doppler-continuo existen dos cristales en el transductor: uno que emite ultrasonido continuamente y otro que continuamente recibe la señal reflejada. El máximo cambio de frecuencia puede ser determinado por muy alto que sea. No ocurre "Aliasing". El Doppler continuo puede o no estar integrado a la imagen ecocardiográfica.

EL EXAMEN DOPPLER

Lo mejor es realizarlo como un suplemento del examen ecocardiográfico. Se puede examinar todas las cámaras y válvulas cardiacas, aunque no es necesario siempre. Generalmente se enfoca el examen hacia las estructuras que clínica y ecocardiográficamente se han detectado anormales.

COMO REGLA GENERAL:

1. La señal Doppler del audio y no necesariamente la señal desplegada en la pantalla, es la mejor guía de un examen óptimo.
2. La señal Doppler es óptima cuando el haz de ultrasonido es casi paralelo al flujo sanguíneo.

APLICACIONES CLINICAS

Los principales usos clínicos de la ecocardiografía Doppler entran en cinco grandes áreas:

- a) Estenosis valvulares
- b) Regurgitaciones valvulares
- c) Flujo sanguíneo
- d) Presiones intracardiacas
- e) Cortocircuitos intracardiacos.

En las estenosis valvulares, la ecocardiografía Doppler detecta fácilmente un aumento anterógrado de la velocidad de la sangre en la válvula estenosada. El gradiente pico puede obtenerse de la magnitud del aumento de la velocidad, valorándose de esta manera la severidad de la estenosis.

La presencia de una regurgitación valvular es detectada como un flujo retrógrado a través de la válvula. Se puede determinar la extensión de la regurgitación e indirectamente estimar su severidad.

La posibilidad de medir la velocidad de la sangre así como el área a través de la cual ésta pasa, permite estimar el flujo sanguíneo y por tanto el gasto cardiaco.

El gasto cardiaco puede obtenerse desde:

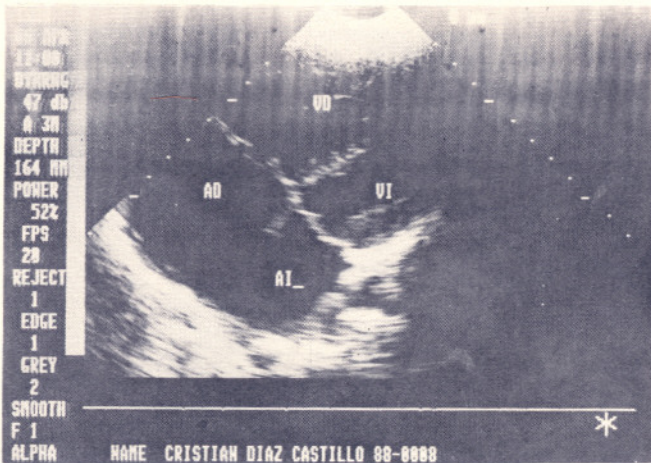


FIGURA No. 7. Ecocardiograma bidimensional en posición 4 cámaras apical donde se nota ausencia de ecos del tabique interauricular en su parte media y superior, dilatación de aurícula y ventrículo derecho, a consecuencia de una comunicación interauricular (CIA) secundum.

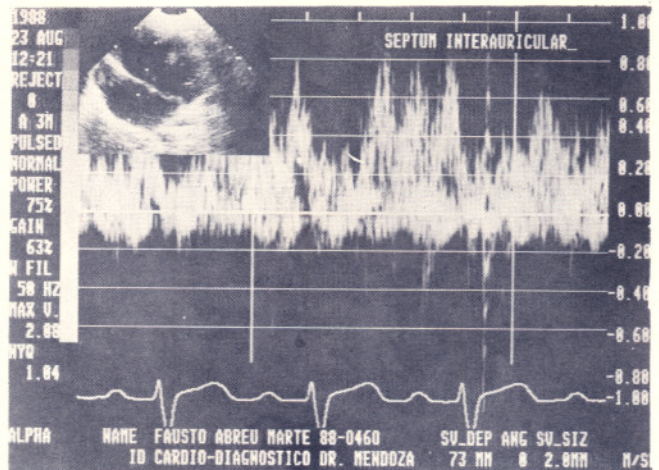


FIGURA No. 8. Flujo durante todo el ciclo cardiaco al interrogar el septum interauricular en un caso de comunicación interauricular (CIA).

- a) La aorta ascendente y descendente desde la horquilla esternal.
- b) Válvula mitral y tricúspide desde el ápex.
- c) Tracto salida ventrículo izquierdo.
- d) La arteria pulmonar en posición paraesternal.

Para cualquier ventana, el volumen latido (Stroke Volume) se calcula como el producto del área del vaso por la velocidad integral de flujo: Volumen Latido = área x velocidad integral flujo.

El gasto cardíaco se obtiene entonces al multiplicar el volumen latido por la frecuencia cardíaca: GC = Volumen Latido x Frecuencia Cardíaca.

La velocidad integral de flujo es igual a la velocidad pico por el tiempo (período) de eyección en segundos sobre dos:

$$\text{VFI} = \frac{\text{Vel. Pico} \times \text{PE}}{2}$$

El área se calcula donde el flujo es medido por medio de la siguiente ecuación: área = $\pi (D/2)^2$ (área = $\pi (R)^2$).

Con respecto a las presiones intracardíacas en presencia de un cortocircuito intracardíaco o una regurgitación valvular, la velocidad pico del flujo anormal de sangre es proporcional a la diferencia en presión entre las dos cámaras cardíacas.

Así, si la presión en una de las cámaras es conocida (en base a estimación clínica tal como la presión venosa yugular o la presión arterial sanguínea). Entonces la presión en la otra cámara puede deducirse.

La presencia de un cortocircuito intracardíaco resultará en flujos sanguíneos con velocidades y patrones anormales en el sitio del corto circuito. La ecocardiografía Doppler ha sido de gran valor en la detección de cortocircuitos intracardíacos en pacientes con una cardiopatía congénita y es posible hoy día cuantificar la magnitud del corto circuito.

La válvula mitral normal produce una señal acústica y espectral muy característica. La configuración normal consiste de un flujo de baja velocidad en diástole hacia el transductor y por tanto encima de la línea base, que tiene forma de M (similar al patrón normal de la válvula mitral en el eco modo M), con un pico al comienzo y otro al final de la diástole y ninguna señal en sístole. La velocidad pico diastólica de la válvula mitral normal es menor de 1.3 M/S (metros por segundo).

La estenosis de la válvula mitral constituye una de las aplicaciones clínicas más útiles de la ecocardiografía Doppler. Por este medio podemos valorar la severidad de la estenosis.

La velocidad diastólica aumenta (excediendo usualmente 1.5 M/S) en la estenosis de la válvula mitral. La diferencia de presión diastólica entre aurícula y el ven-

trículo izquierdo aumenta y la rapidez de vaciamiento auricular está reducida, por lo que hay un ritmo de igualización de la presión reducida, lo que se manifiesta por una declinación en la señal de la velocidad diastólica.

La técnica del Doppler pulsado es casi 100% sensible y específica para detectar la estenosis mitral; sin embargo, debido al Aliasing de las velocidades altas, tiene sus limitaciones para cuantificar la severidad. El Doppler continuo o de PRF alto se ha usado para la cuantificación del grado de estenosis con mucha seguridad.

Dos tipos de información pueden derivarse de la señal Doppler para estimar la severidad de la estenosis mitral. Primero, la caída instantánea de la presión a través de la válvula mitral puede ser calculada usando la ecuación de Bernoulli. La ecuación de Bernoulli es una fórmula hidráulica que relaciona las diferencias de presión a través de una obstrucción con el tipo de líquido, tipo de obstrucción y las velocidades relativas a cada lado de la obstrucción. La fórmula original ha sido simplificada hasta llevarla a que la presión es igual a 4 por la raíz cuadrada de la velocidad máxima: $4(\text{Veloc. Max.})^2$. Por ejemplo, si la velocidad máxima obtenida en la válvula mitral en caso de una estenosis valvular mitral es 3 M/S, entonces el gradiente transmitral estimado es de 36 mmHg. Esta fórmula vale también para la estenosis de las válvulas semilunares (aórtica y pulmonar). La correlación con el cateterismo cardíaco es excelente en lo que respecta a la estimación del gradiente transmitral por la ecocardiografía Doppler (Figura 1).

Segundo, el tiempo medio diastólico (Diastolic Half

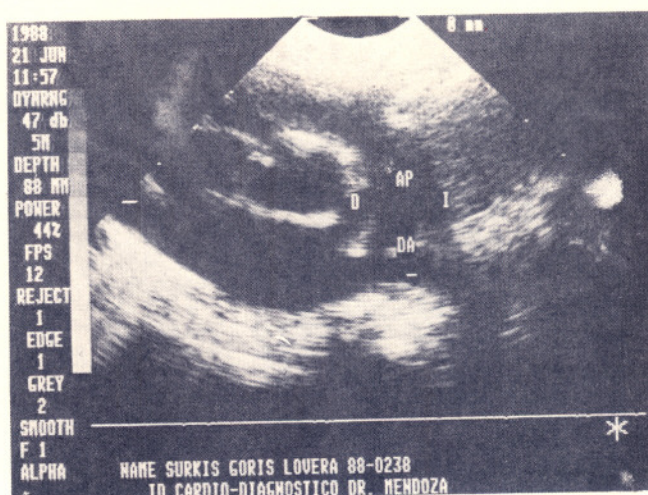


FIGURA No. 9. Imagen ecocardiográfica bidimensional en posición eje corto paraesternal, a nivel de los grandes vasos, donde se observa el trayecto de la arteria pulmonar (AAP) y sus ramas derecha (D) e izquierda (I). Se demuestra la presencia de un ducto arterioso (DA) permeable, a nivel de la bifurcación de la arteria pulmonar.

Time) T 1/2 es muy útil para cuantificar la severidad de una estenosis mitral. El concepto es que a medida que la estenosis se hace más severa, el gradiente diastólico entre aurícula y ventrículo izquierdo se mantiene por más tiempo, lo que resulta en una declinación más lenta en el gradiente durante la diástole. El ritmo de declinación puede ser expresado usando el T 1/2 diastólico, que es el tiempo que necesita el gradiente diastólico inicial en caer un 50%. Este dato se usó originalmente en el cateterismo para medir el área valvular mitral con razonable corrección.

En otras palabras, que cuando la sangre fluye pasivamente por una válvula estenosada, el tamaño (orificio) de la válvula puede ser estimado por el tiempo que toma el gradiente inicial de presión en caer a la mitad de su presión original (pressure half time, P 1/2). El trazado del Doppler permite hacer este cálculo.

Para ello hay que medir la velocidad inicial pico en el trazado y dibujar una línea vertical a través de ella. La velocidad que representa la mitad del gradiente de presión inicial es establecida dividiendo la velocidad pico por 1.4. Este punto se marca en el trazado de una línea horizontal que representa dicha velocidad y es dibujada.

Se dibuja otra línea a lo largo del descenso de la curva y una vertical donde la velocidad calculada la cruza. Entonces se estima la distancia entre las dos líneas verticales y el tiempo es entonces calculado de las marcas horizontales del borde del trazado.

Al estimar el orificio valvular recordemos que el tiempo medio permanece constante para un orificio en un rango amplio de flujos. Para un área valvular de 1 cm², el P 1/2 es 220 milisegundos (M seg). El orificio efectivo puede

obtenerse dividiendo el P 1/2 entre 220: $\text{área (CM}^2\text{)} = \text{P1/2}$.

El diagnóstico de Regurgitación Mitral, por Doppler, descansa en la aparición de velocidades sistólicas de más de dos M/seg. a través de la válvula mitral desde el ventrículo a la aurícula; generalmente se utiliza la vista apical de cuatro cámaras. El grado de severidad se determina visualizando el Jet sistólico a diferentes niveles dentro de la cavidad auricular izquierda (Figura 2).

Probablemente hasta este momento la evaluación por Doppler de una Estenosis Valvular Aórtica es uno de los usos clínicos más populares de esta técnica. El Doppler continuo ha demostrado ser muy seguro y exacto en la cuantificación del gradiente transvalvular aórtico, usando la ecuación modificada de Bernoulli. Toda válvula aórtica potencialmente estenosada debe ser examinada desde tres ventanas: desde el apex, el borde esternal derecho y el hueco supraesternal. La más alta velocidad obtenida desde cualquiera de estos tres sitios debe ser usada como V máxima en la ecuación de Bernoulli.

En la regurgitación aórtica aparece una turbulencia diastólica en el tracto de salida del ventrículo izquierdo. Ocupa usualmente toda la diástole y frecuentemente tiene alta velocidad. La posición más usada para detectar y cuantificar la regurgitación es la de eje largo desde el apex. (Figura 3).

En lo que respecta a las cardiopatías congénitas, la ecocardiografía Doppler tiene múltiples aplicaciones clínicas, particularmente destinadas a las mediciones de flujos y gradientes de presión. Con sentido práctico revisaremos la aplicación del Doppler en las más frecuentes cardiopatías congénitas.

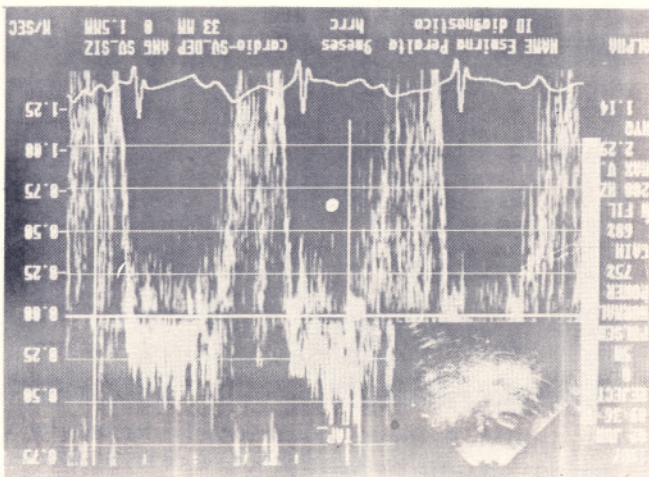


FIGURA No. 10. Disturbio de flujo diastólico característico de persistencia del conducto arterioso cuando la muestra está colocada en la arteria pulmonar.

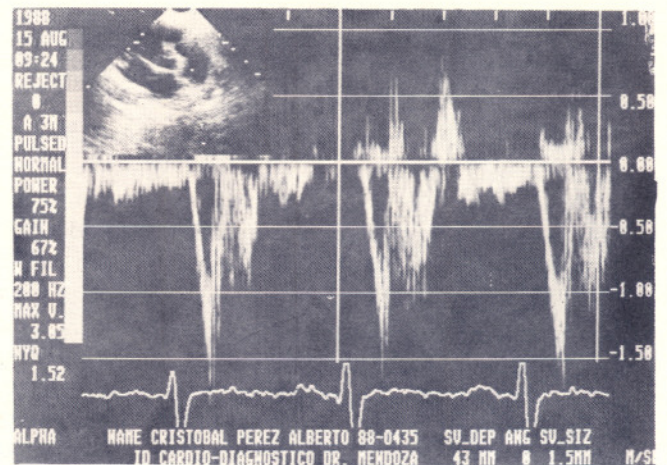


FIGURA No. 11. Señal Doppler-pulsado, con la muestra en la raíz de la arteria pulmonar, indicando hipertensión arterial pulmonar. El tiempo de ascenso hasta la velocidad máxima está acortado y hay una muesca en mitad de sistole con un pico tardío.

El hallazgo de un Jet de alta velocidad dentro del ventrículo derecho durante la sístole es virtualmente diagnóstico de una comunicación interventricular. Si de manera simultánea se visualiza en el eco el defecto, todavía más claro estará el diagnóstico, pero defectos pequeños no visibles en el eco pueden ser detectados por la señal Doppler. El aumento de la velocidad y turbulencia del flujo pulmonar es un hallazgo asociado. Puede asimismo determinarse la magnitud del corto circuito haciendo la determinación de los flujos sistémicos y pulmonar (QP / QS) (Figuras 4, 5 y 6).

La interrogación del septum interauricular permite determinar la dirección del cortocircuito en caso de una comunicación interauricular. Asimismo se pueden medir el QP y el QS. El flujo a través de un defecto atrial es de mucho menos velocidad que el de un defecto interventricular; varía de 0.25 a 1.0 M/seg. La señal Doppler está caracterizada porque el flujo se detecta durante todo el ciclo cardíaco desde la posición eje corto paraesternal o mejor desde posición subcostal (Figuras 7 y 8).

La coartación de la aorta está caracterizada en el Doppler por un aumento en la velocidad de la aorta descendente, por debajo del área coartada, desde una ventana supraesternal; por la ecuación de Bernoulli se determina el gradiente de presión.

La persistencia del conducto arterioso ofrece una señal diastólica anormal con gran espectro de dispersión hacia el transductor con la muestra localizada en la arteria pulmonar principal. La señal sistólica tiene velocidad aumentada (Figuras 9 y 10).

Las estenosis semilunares-aórticas y pulmonar pueden ser analizadas desde el punto de vista de su severidad determinando el gradiente de presión obtenido por medio de la ecuación modificada de Bernoulli.

Finalmente existen múltiples maneras para determinar la presión arterial pulmonar.

En términos generales puede afirmarse que:

1. Cuando tenemos una deflexión negativa en la diástole tardía (presistólica) puede asumirse que la presión pulmonar es normal.
2. Si el tiempo de aceleración o tiempo en que se alcanza la máxima velocidad excede los 100 M/seg., la presión pulmonar es normal. Con estos dos hallazgos asuma que la presión sistólica pulmonar es aproximadamente 30 mmHg.
3. El patrón de la señal Doppler de la arteria pulmonar en caso de hipertensión pulmonar muestra una curva con un ascenso inicial rápido hasta alcanzar la velocidad máxima y una muesca a mitad de sístole en la onda de descenso con un pico bajo al final de la sístole. Este patrón ha sido demostrado en pacientes con hipertensión arterial pulmonar confirmado en el cateterismo cardíaco (Figura 11).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Nishimura, R. A. et al: Doppler Echocardiography: Theory, Instrumentation, Technique and Application. Mayo Clin Proc 60:321-343, 1985.
- Labovitz, Arthur y Williams, George: Doppler Echocardiography. The Quantitative approach. pag. 1, 23, 25, 28. 1985.
- Golberg, Stanley J, et al: Doppler Echocardiography. Lea y Febiger, 1985.
- Stevenson, J.G. et al: Diagnosis of ventricular septal defect by pulsed Doppler echocardiography. Sensivity, Specificity and Limitations. Circulation 1978; 58:322-326.