

# Temas de actualidad

---

## Eco-Doppler: una nueva posibilidad diagnóstica

RICARDO J. ESPER

*"Each investigator, using some special technic, has taken account of the factors that his own particular method revealed, and has ignored the existence of all that it was unable to detect."*

OSCAR ORIAS<sup>1</sup>

Un ultrasonido que encuentra en su trayecto una superficie con distinta impedancia acústica (interfase) se refleja constituyendo un *eco*. Si la superficie es inmóvil, el eco retornará con menor intensidad por el agotamiento según la distancia y el medio recorridos, pero manteniendo su frecuencia. En este hecho se basa la ecocardiografía convencional, es decir, en el registro de las amplitudes de los ecos reflejados.<sup>2</sup> Si el objeto donde se refleja el ultrasonido es móvil, sucede que al alejarse retarda el eco prolongando su longitud de onda, lo que significa una reducción de la frecuencia del ultrasonido recibido respecto del emitido. Por el contrario, si el objeto se acerca, refleja precozmente las ondas acortando su longitud; luego aumenta la frecuencia del ultrasonido del eco. Esta diferencia de frecuencias entre el eco recibido y el emitido es directamente proporcional a la velocidad con que se desplaza la interfase y su determinación constituye el llamado efecto Doppler.<sup>3</sup> Por lo tanto el registro Doppler se basa, como la ecocardiografía, en el análisis de los ecos, pero considerando la diferencia de frecuencias en lugar de la amplitud.

Cuando el objeto reflejado se mueve en el mismo sentido que el ultrasonido, en forma paralela, ya sea acercando o alejándose, la diferencia de frecuencia de los ecos que retornan será máxima, mientras que si lo hace en sentido perpendicular no se podrá detectar ningún cambio de frecuencia pues se comportará como un objeto fijo. Entre estos dos extremos la magnitud de la variación dependerá del ángulo de incidencia (Fig. 1).

### HISTORIA

Christian Doppler (1803-1853), astrónomo vienés, comunicó en 1850 un fenómeno que desde entonces lleva su nombre. Doppler observó que la luz reflejada por los astros que se acercaban a la fuente lumínica se aproximaba a la banda del ultravioleta, mientras que los que se alejaban lo desplazaban hacia la infrarroja. Posterior-

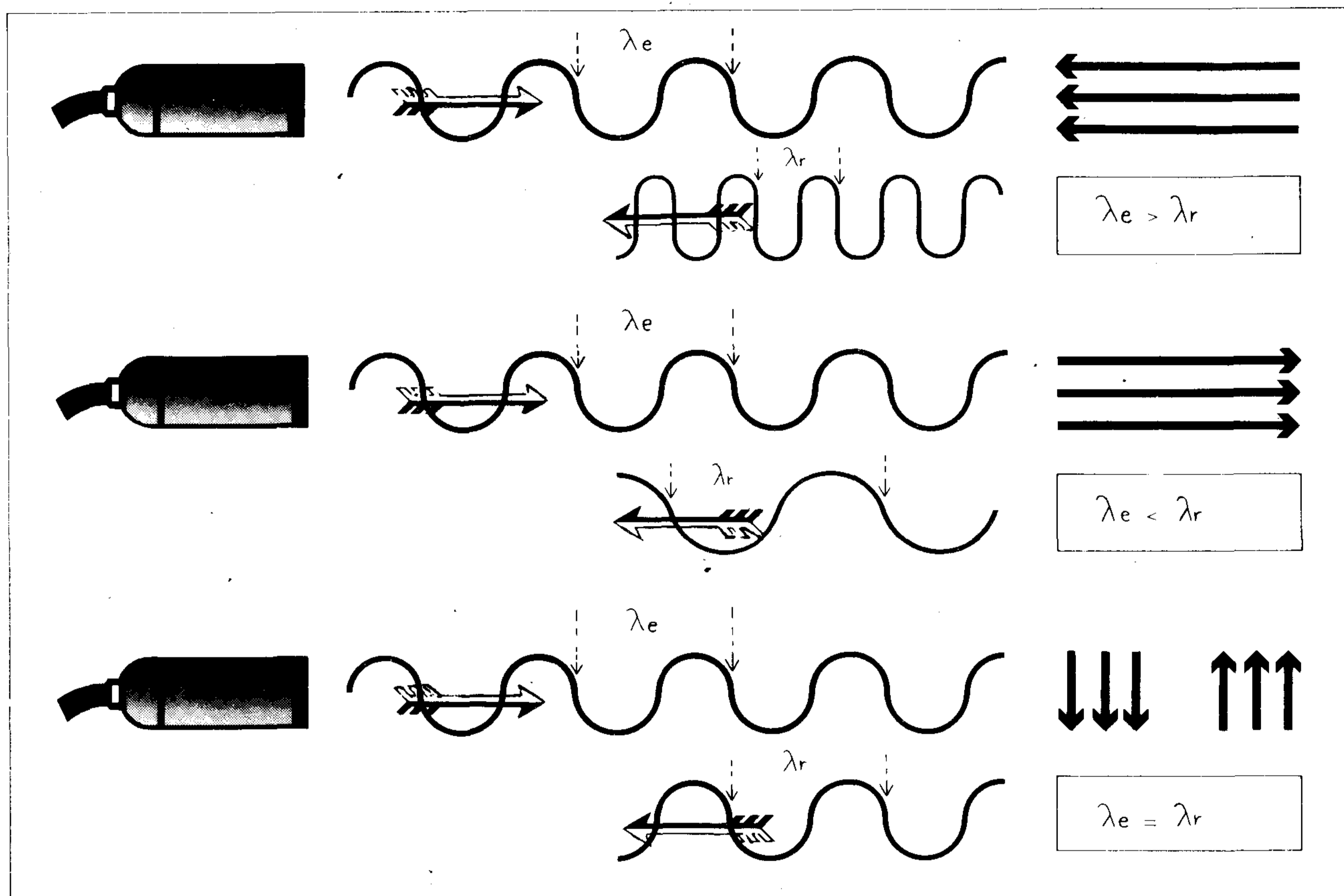


Fig. 1. En el ejemplo de la parte superior el haz ultrasónico emitido de longitud de onda  $\lambda_e$  se refleja en una interfase en movimiento que se aproxima, la cual comprime y acorta la longitud de onda del haz reflejado  $\lambda_r$ . En el centro la interfase se aleja del haz prolongando la longitud reflejada  $\lambda_r$  y, en la parte inferior, la interfase se desplaza en sentido perpendicular al haz ultrasónico sin llegar a modificar la longitud de onda reflejada  $\lambda_r$ .

mente, Armand H. L. Fizeau (1819-1896), físico francés, quien fue el primero en calcular la velocidad de la luz sobre la superficie terrestre, describió los fundamentos físico-matemáticos que explican dicho fenómeno, por lo que muchos autores lo denominan *efecto Doppler-Fizeau*.

Su utilización en medicina se inició en la década del 60, especialmente con el estudio del flujo de arterias y venas superficiales.<sup>4-7</sup> A fines de los años 60 y comienzos de los 70, se desarrollaron los sistemas pulsados y la posibilidad de su focalización con el registro simultáneo del ecocardiograma.<sup>8-10</sup>

En la actualidad el método ha tomado gran auge, en especial como complemento de la ecocardiografía convencional, y el número de comu-

nicaciones que se observa en la literatura especializada es creciente y progresivo.

#### TECNICA

Durante el ciclo cardíaco todas las estructuras cardíacas y la sangre circulante se mueven, y todas pueden producir efecto Doppler. Para poder estudiar el Doppler de cada una de ellas se debe focalizar el área independizándola de las demás para evitar una suma de efectos. Esto se consigue por medio de artificios electrónicos aprovechando las posibilidades del ecocardiograma. Se obtiene un ecocardiograma convencional, sea en modo A, M o Bidimensional, y se selecciona una pequeña área a explorar. El equipo

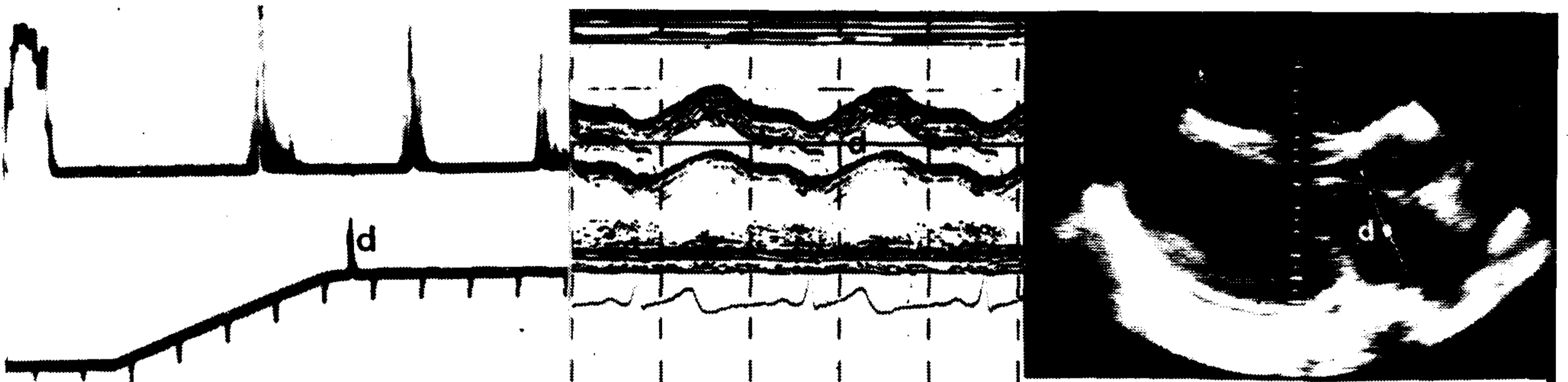


Fig. 2. Control de ubicación del "volumen de muestreo" (d) en forma de espiga sobre la rampa del ecocardiograma en modo A (izquierda), como una línea indicadora del nivel en el modo M (centro) y como un punto sobre la línea del modo M en el sistema bidimensional.

recibe todos los ecos y los presenta según su amplitud trazando el ecocardiograma, pero aquellos del área seleccionada son analizados según su frecuencia y presentados como Doppler. De esta manera se registran simultáneamente el ecocardiograma y el Doppler (Eco-Doppler). Los equipos utilizados son los ecocardiógrafos convencionales, con los mismos transductores, a los que se les añade la posibilidad de analizar el efecto Doppler en un área focalizada dentro del haz ultrasónico que registra el ecocardiograma.

El área que se analiza para Doppler tiene forma de lágrima y mide 2 x 4 mm aproximadamente, denominándose la "volumen de muestreo". Su ubicación se señala en el modo A como una espiga sobre la rampa del compensador de profundidades (Depth-compensation), en el modo M como una línea continua que indica el nivel explorado y en el Bidimensional como un punto sobre la línea de selección del modo M<sup>3, 11</sup> (Fig. 2).

El registro Doppler se obtiene de dos formas: una señal auditiva y un registro gráfico. La señal auditiva es estereofónica, escuchándose a la izquierda cuando la interfase en movimiento se acerca al transductor (anterógrado) y a la derecha cuando se aleja (retrógrado). Los movimientos de las paredes del corazón suenan como el *lub-dub* de los ruidos cardíacos y los de las válvulas semejan los *clics* de apertura o cierre valvular. El flujo de sangre laminar produce un *ruido suave*, musical, como la sensación de auscultar un soplo aspirativo, con variaciones

de intensidad en relación con la amplitud del flujo, mientras que el turbulento genera un *ruido sordo* que remeda los intensos soplos sistólicos eyectivos de estenosis.

El registro gráfico es un histograma de velocidad en razón del tiempo que se inscribe en forma continua, trazando múltiples puntos que continuados dibujan una línea. Los movimientos anterógrados se proyectan hacia arriba y los retrógrados hacia abajo. Cuando el ultrasonido emitido se refleja en interfases con movimientos homogéneos, los puntos del histograma ocupan una banda muy estrecha, trazando prácticamente líneas, como en el caso de los movimientos de las paredes, válvulas o del flujo sanguíneo laminar. En cambio, cuando las partículas se mueven en forma irregular y anárquica, como sucede en los flujos sanguíneos turbulentos, algunas lo hacen en forma anterógrada y, simultáneamente, otras en forma retrógrada, distribuyendo los puntos del histograma en forma muy irregular, trazando bandas anchas que semejan la inscripción de los soplos rudos de un fonocardiograma (Fig. 3).

Para facilitar la lectura del histograma se puede añadir un trazado resultante analógico que puede promediar el componente anterógrado del flujo, el retrógrado o ambos, y además un análisis espectral de las respuestas Doppler.

#### POSIBILIDADES

Si el efecto Doppler es capaz de detectar toda

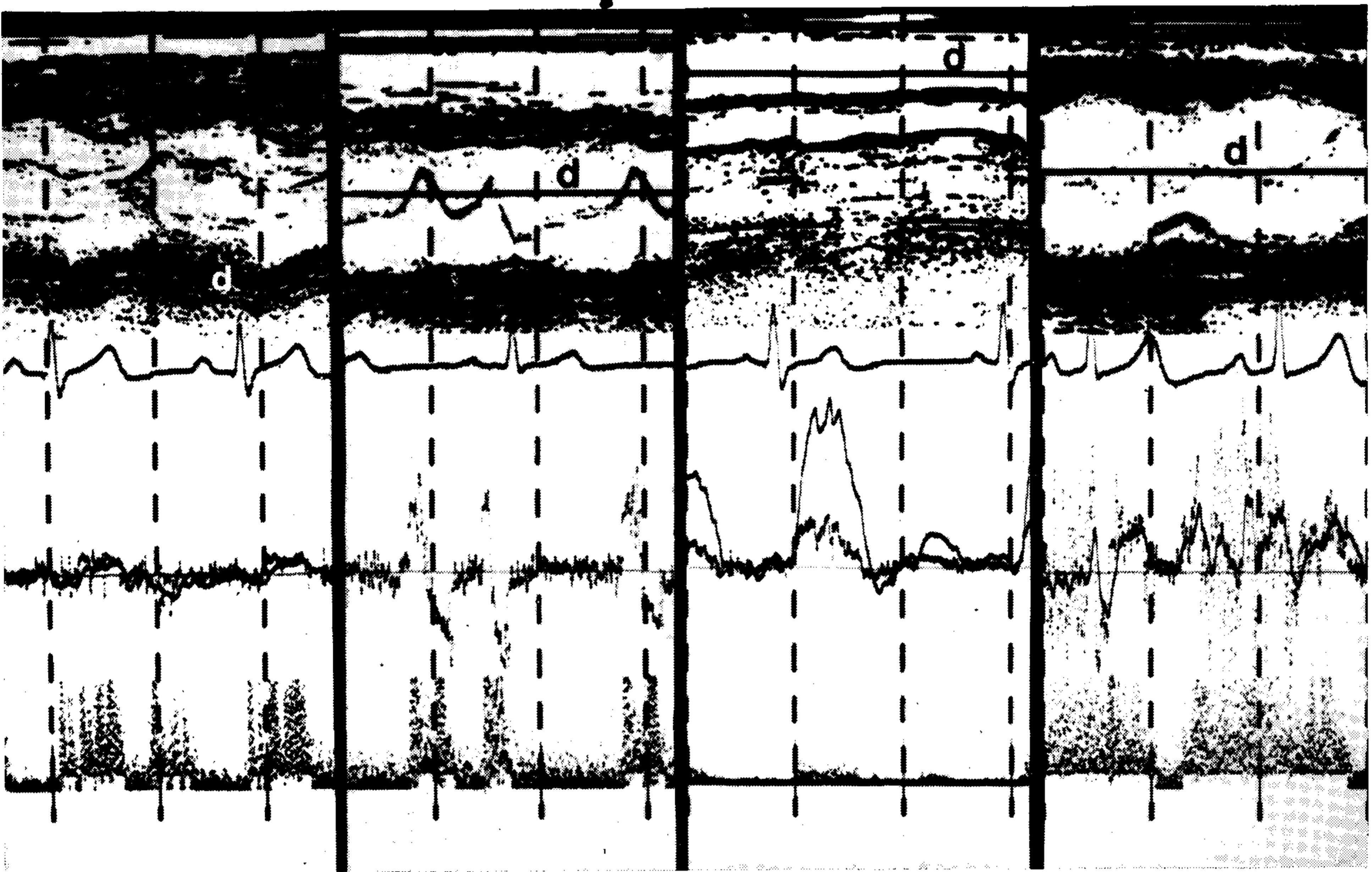


Fig. 3. Registro gráfico del efecto Doppler como histograma de velocidad/tiempo. De arriba hacia abajo: ecocardiograma en modo M con línea indicadora del nivel explorado (d), electrocardiograma, histograma de velocidad/tiempo y registro espectral de frecuencia. A la izquierda el histograma que registra el movimiento de la pared posterior del ventrículo izquierdo es una línea gruesa con ligeras ondulaciones. Luego se observan espigas agudas por el cierre de la valva anterior de la mitral, un contorno suave del flujo anterógrado de la raíz de aorta explorando desde el hueco supraesternal y, a extrema derecha, el flujo turbulento de una insuficiencia aórtica obtenido en la cavidad del vantrículo izquierdo, donde hasta la línea gruesa del registro analógico es totalmente irregular.

interfase móvil, puede ser útil para determinar el movimiento de cualquier estructura cardíaca, pero en la práctica se reserva en especial para el análisis del movimiento de la sangre. Con él se puede precisar, dentro de ciertas limitaciones: 1) dirección y sentido de la corriente sanguínea, es decir, si es anterógrada o retrógrada; 2) velocidad de la misma, por medio del histograma que registra con un trazo que prácticamente se superpone a la curva que inscribe un medidor instantáneo de flujo intracavitario y 3) características de la corriente, si es laminar o turbulenta. De esta manera permite estudiar las características del vaciado y llenado de las cámaras

cardíacas a través de sus válvulas, si existe estenosis o enlentecimiento de los mismos por bajo gasto cardíaco, de la presencia de reflujos valvulares tipo insuficiencia mitral o aórtica, de la existencia de comunicaciones anormales interauriculares, interventriculares o conductos arteriosos permeables, y la alteración de estas corrientes, si son laminares o turbulentas.

Pero como el corazón está en continuo movimiento y se desplaza con la respiración, puede suceder que el área de muestreo se desfocalice y registre los movimientos valvulares o de paredes, los que son fácilmente reconocibles. En un principio se pensó que sería muy útil para pre-

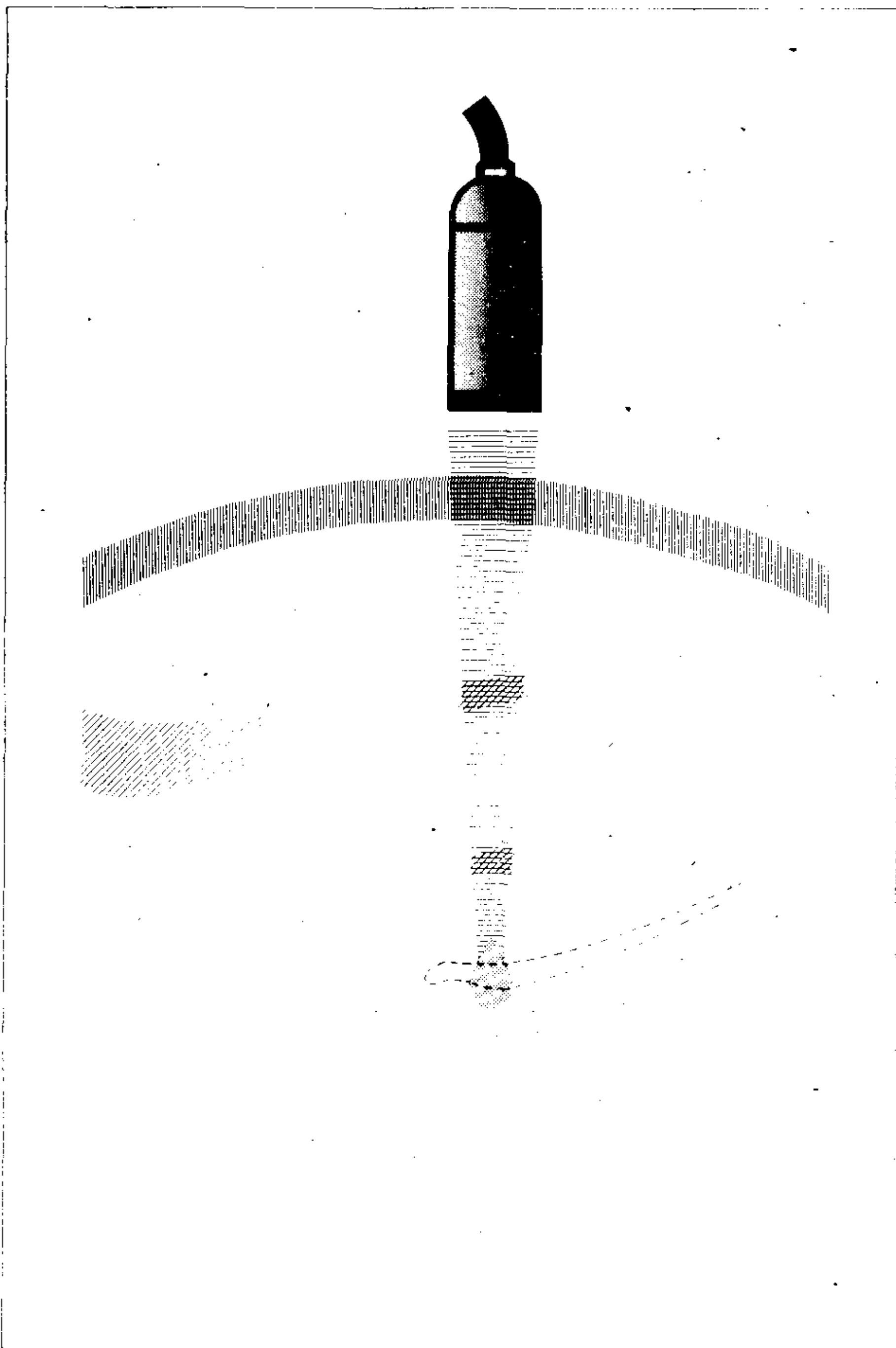


Fig. 4. El volumen de muestreo es cruzado por el movimiento de la valva anterior de la mitral provocando el efecto Doppler sólo en ese instante.

cisar el exacto tiempo de apertura o cierre de las válvulas, pero no es así ya que determina sólo cuándo la válvula cruza el volumen de muestreo dentro del haz ultrasónico y no se puede determinar cuándo ello sucede (Fig. 4). No obstante, existen pacientes que es difícil registrar el movimiento de una válvula, por ejemplo la pulmonar, y el Doppler puede poner en esos casos facilitar su rastreo por la detección del clic en el área correspondiente.

**REGISTRO DOPPLER EN EL CORAZON NORMAL Y RAIZ DE LOS GRANDES VASOS**  
La mejor manera de aprender a reconocer un

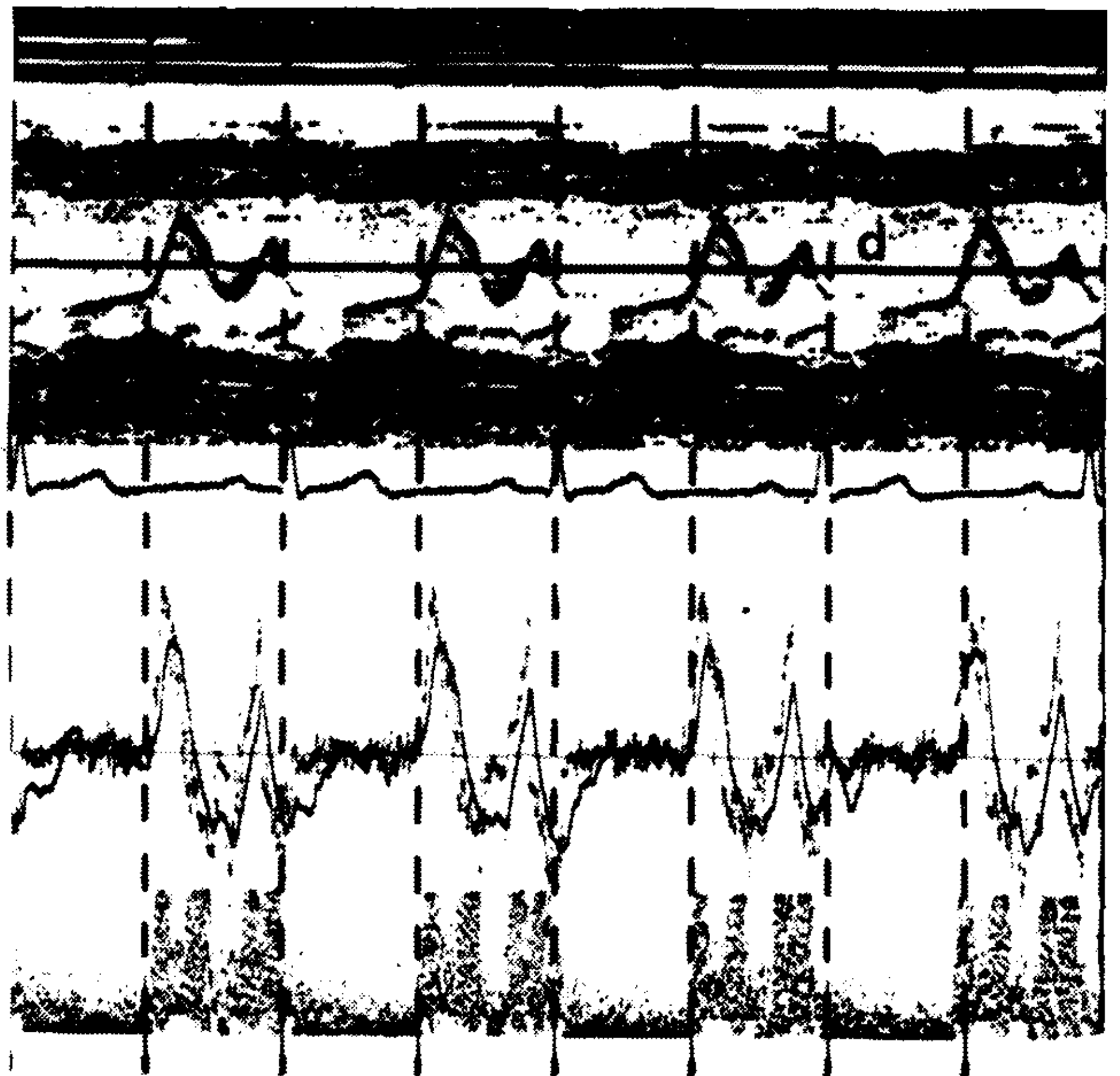


Fig. 5. Registro Doppler a nivel de válvula mitral. Nótese que el mismo guarda estrecha relación con el ecograma mitral. En este nivel el registro suele estar viciado por la superposición del movimiento de la valva anterior de la mitral que es imposible de excluir.

trazado de Doppler de flujo sanguíneo es recordar que es prácticamente igual a una curva de flujo obtenida intracavitariamente por un fluxómetro. Explorando con el ecocardiograma en modo M o Bidimensional prácticamente se tiene acceso a todas las cavidades del corazón y raíz de los grandes vasos aferentes y eferentes del mismo, pudiendo estudiarse las características del flujo de cada área en particular.

En las aurículas por lo general sólo se registra un muy leve flujo laminar diastólico, especialmente durante las fases de llenado ventricular rápido y presistólico, como índice del vaciado auricular, los que se obtienen fácilmente en la vecindad de las válvulas auriculoventriculares, pero puede no registrarse flujo alguno y de hecho no se logra en las áreas más centrales. En la aurícula izquierda, cerca de las desembocaduras de las venas pulmonares, es posible percibirse en algunos pacientes un suave flujo laminar que se exagera en la protodiástole.

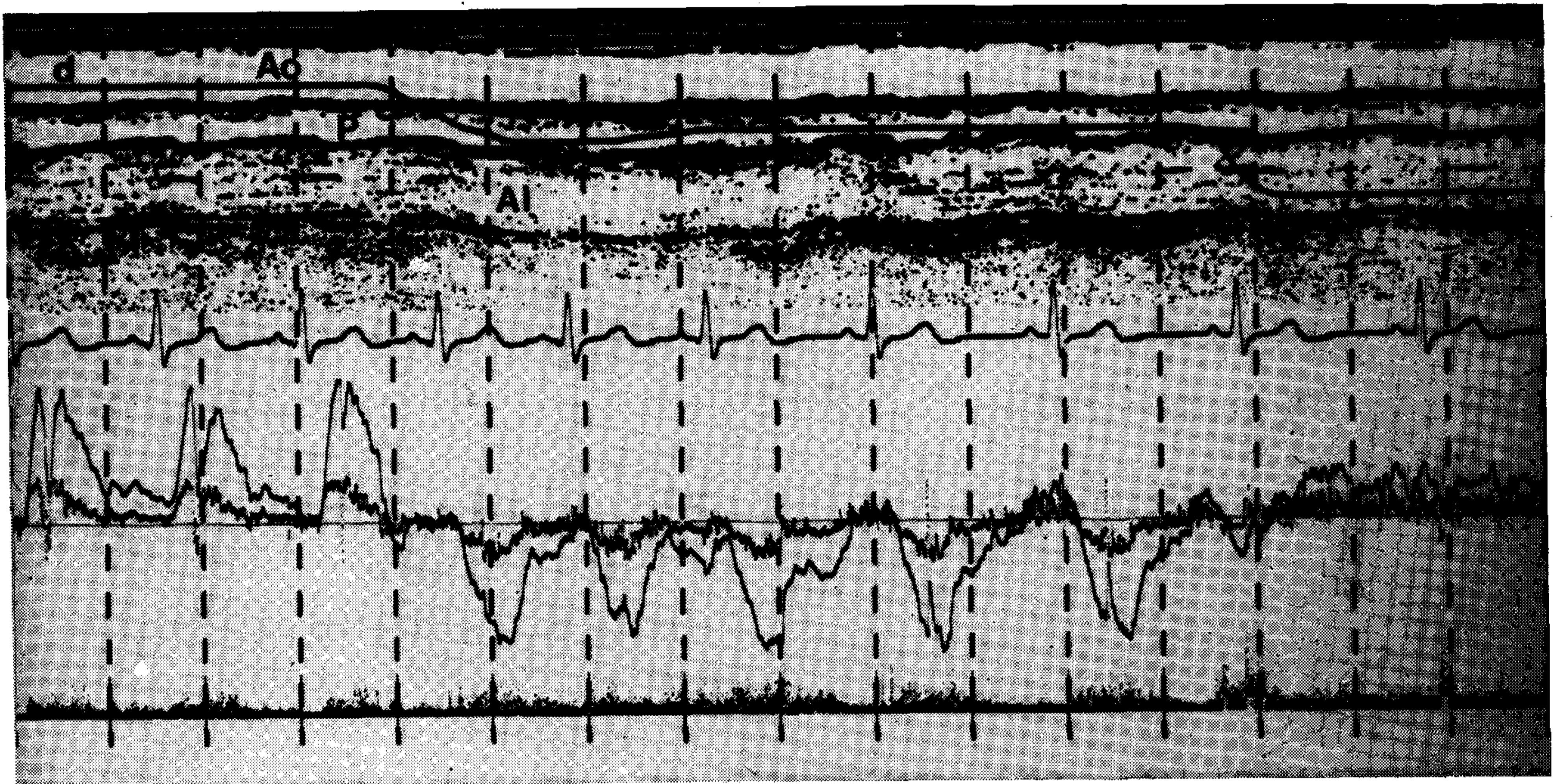


Fig. 6. Registro Doppler desde el hueco supraesternal. A la izquierda raíz de Aorta (Ao), con la típica imagen de flujo anterógrado semejante a una curva de pulso arterial. En el centro se desplaza el volumen de muestreo hacia la rama derecha de la arteria pulmonar (P) registrando una imagen de flujo retrógrado pues la corriente se aleja del haz ultrasónico y, a la derecha, se transporta hacia la aurícula izquierda (AI) donde prácticamente no se registra flujo alguno.

En el tracto de entrada de ambos ventrículos, frente a las válvulas auriculoventriculares, los registros Doppler son semejantes a los ecocardiogramas de las mismas y hasta se superponen con algunas diferencias de tiempo (Fig. 5).

Así parecen una letra M mayúscula que en las taquicardias borra la incisura media al igual que desaparece la pendiente E-F. Se debe tener cautela pues es frecuente en esta posición superponer el registro del movimiento de cierre y apertura de las válvulas auriculoventriculares.

En los tractos de salida de los ventrículos, el registro comienza a adquirir la característica morfológica de las curvas de los grandes vasos y es frecuente encontrar ligeras turbulencias, especialmente en el cono pulmonar.

La raíz de la aorta se registra explorando desde el hueco supraesternal, porque el flujo sanguíneo se dirige en el mismo sentido que el haz ultrasónico, mientras que en esa posición se pue-

de abordar la rama derecha de la arteria pulmonar. El Doppler aórtico es igual a una curva de flujo mientras que la rama derecha de la arteria pulmonar traza una curva negativa, porque a ese nivel la corriente se aleja del transductor (Fig. 6). El estudio de la raíz pulmonar se obtiene en los cortes transversales del ecocardiograma Bidimensional que abarcan el tronco y la válvula pulmonares.

#### UTILIDAD CLINICA

En los comienzos todos los esfuerzos se centraron en discernir entre flujo laminar y turbulento, comenzando a conocerse los patrones de estenosis e insuficiencia valvulares,<sup>11, 12</sup> hasta mediados de la década pasada, donde se comunica la primera gran utilidad clínica, referida a la diferenciación de comunicación interventricular con insuficiencia mitral, para lo cual sólo es necesario explorar el lado derecho del septum cerca de la

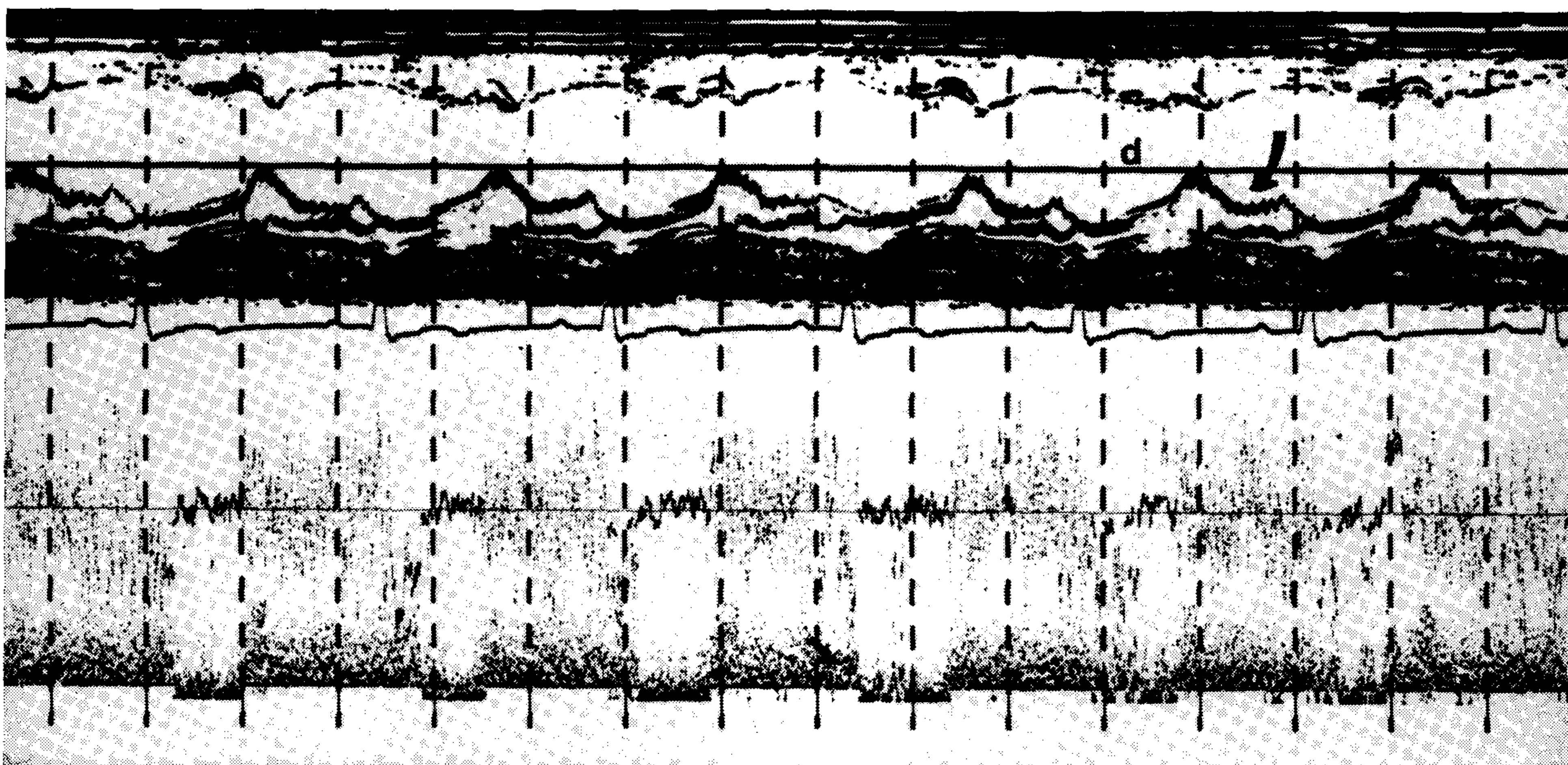


Fig. 7. Registro Doppler en el tracto de salida del ventrículo izquierdo en una insuficiencia aórtica. Obsérvense las turbulencias holodiasfólicas y el flutter en el ecocardiograma de la válvula mitral (flecha).

raíz de aorta o la aurícula izquierda, buscando patentes de flujo sistólico turbulento<sup>14</sup> (Fig. 7).

Posteriormente comienzan a multiplicarse las comunicaciones en la literatura especializada, sobre la utilidad de distinguir la imagen ecocardiográfica del cor-triatriatum y del retorno venoso anómalo total,<sup>15</sup> la posibilidad de percibirse flujo sobre el tabique interauricular cuando existe comunicación interauricular,<sup>16,17</sup> el detectar regurgitación mitrales y aórticas mínimas no auscultables,<sup>18</sup> el poder seguir y trazar la dirección del chorro regurgitante mitral dentro de la aurícula izquierda,<sup>19</sup> el diagnóstico de la comunicación entre ventrículo izquierdo y aurícula derecha, las obstrucciones subvalvulares aórticas y pulmonares, e innumerables aplicaciones en cardiopatías congénitas cuya enumeración escaparía a la intención de esta actualización.

#### CUANTIFICACION DEL FLUJO

Aplicando una conocida ecuación enunciada por Torricelli,<sup>20</sup> el volumen de una vena líquida

está en relación al área del vaso y a la velocidad media con que fluye el líquido por la misma. Si por eco bidimensional se puede establecer el área valvular y con el efecto Doppler la velocidad de la sangre, luego es fácil calcular el flujo transvalvular. Sin embargo este planteamiento tiene el inconveniente que para definir la velocidad de una corriente es necesario conocer en qué ángulo incide sobre el haz ultrasónico del Doppler, hecho que aún presenta dificultades técnicas para su determinación.<sup>11</sup> No obstante se han realizado intentos exitosos en la cuantificación del gradiente transvalvular en la estenosis mitral<sup>21</sup> y con prótesis valvulares en posición mitral<sup>20</sup> aplicando estos mismos principios.

Otros autores han cuantificado el área valvular aórtica en la estenosis aórtica utilizando parámetros directamente relacionados con el registro del efecto Doppler, como la amplitud, dirección y duración de las turbulencias,<sup>22</sup> y es probable que esta modalidad abra una nueva brecha en las posibilidades de cuantificar flujos y gradientes transvalvulares.

## LIMITACIONES

Las mismas limitaciones que existen para obtener un ecocardiograma en modo M o Bidimensional, como deformaciones torácicas, enfisema pulmonar, obesidad extrema, etc., son válidas para un registro Doppler técnicamente útil. De igual manera, así como un operador inadvertido puede crear falsas imágenes o borrar pautas diagnósticas al obtener un ecocardiograma, por la utilización inadecuada de los controles de ganancia y rechazo, con el Doppler se pueden "generar" turbulencias en el histograma velocidad-tiempo creando sobrediagnósticos. En este sentido la señal auditiva estereofónica es más selectiva y confiable. El histograma está influenciado por los controles de umbral y ganancia y requiere de un manejo inteligente que por lo general se debe adecuar continuamente a las condiciones del paciente y a las áreas que se desean explorar. De todas formas es necesario sentar las bases diagnósticas en una extensa experiencia y en una sólida formación cardiológica.

## FUTURO

El registro Doppler focalizado simultáneo al ecocardiograma está en sus comienzos, al extremo que debe considerársele todavía como en investigación, pero los alcances logrados con el mismo permiten suponer panoramas insospechados. Por una parte, los recursos técnicos cada vez mayores con mejores y más completos equipos y, por otra, su utilización más inteligente con el conocimiento de sus posibilidades y limitaciones, permiten el seguimiento de líneas más concretas de estudio.

Ya se han diseñado equipos donde indican la transformación de flujo laminar en turbulento por un cambio del color del registro en la pantalla del monitor.

Las líneas de investigación no se detienen últimamente y se dirigen a la detección de pequeñas regurgitaciones de las prótesis valvulares que muchas veces son silentes o de difícil auscultación y a intentar detectar la permeabilidad de los puentes coronarios.

## EPILOGO

Las turbulencias de la corriente sanguínea generan energía que se manifiesta de diversas maneras, una de ellas es como soplos auscultables. Luego el Doppler y el fonocardiograma registran manifestaciones de un mismo hecho, al extremo de poder considerar el registro Eco-Doppler en algo así como la fonocardiografía intracavitaria, pero con la ventaja de ser incruento y de su focalización en el área que se desea investigar. Imaginemos, sin entrar en fantasías, sus enormes posibilidades.

## BIBLIOGRAFIA

1. Orías O: The genesis of heart sounds. *N Engl J Med* 241: 763, 1949.
2. Esper RJ: Introducción a la Ecocardiografía. Stilcograf, Buenos Aires, 1977.
3. Baker DW, Rubenstein SA, Lorch GS: Pulsed Doppler echocardiography: principles and applications. *Am J Med* 63: 69, 1977.
4. Franklin DL, Schlegel W, Rushmer RF: Blood flow measured by Doppler frequency shift of backscattered ultrasound. *Science* 134: 564, 1961.
5. Backer DW, Stegal HF, Schlegel WA: A sonic transcutaneous blood flowmeter. *Proceedings 17th Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology* 6: 76, 1964.
6. McCleod FD: A directional Doppler flowmeter. *Proceedings of the Seventh International Conference on Medical and Biological Engineering*. Stockholm, 1967.
7. Strandness DE Jr, McCutcheon EP, Rushmer RF: Application of a transcutaneous Doppler flowmeter in evaluation of occlusive arterial disease. *Surg Gynecol Obstet* 122: 1039, 1966.
8. Baker DW: Pulsed ultrasonic Doppler blood flow sensing. *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, vol SU-17, Nº 3, 1970.
9. Strandness DE Jr, Summer DS: Applications of ultrasound to the study of arteriosclerosis obliterans. *Angiology* 26: 187, 1975.
10. Baker DW, Yates WG: Technique for studying the sample volume of ultrasonic Doppler devices. *Med Biol Eng* 11: 766, 1973.
11. Baker DW: The present role of Doppler techniques in cardiac diagnosis. *Prog Cardiovasc Dis* 21: 79, 1978.
12. Johnson SL, Baker DW, Lute RA et al: Doppler echocardiography. The localization of cardiac murmurs. *Circulation* 48: 810, 1973.
13. Ticzon AR, Damota AN et al: Echocardiographic manifestations of "false" mitral stenosis that was. *Ann Intern Med* 83: 503, 1975.
14. Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG: Differentiation of ventricular septal defects from mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* 56: 14, 1977.
15. Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG: Pulsed Doppler echocardiographic detection of total anomalous pulmonary venous return: Resolution of left atrial line. *Amer J Cardiol* 44: 1155, 1979.



16. Kalmanson D, Veyrat C et al: Non-invasive technique for diagnosing atrial septal defect and assessing shunt volume using directional Doppler ultrasound. *Br Heart J* 24: 981, 1972.
17. Johnson SL, Rubenstein SA: The detection of atrial septal defect by pulsed Doppler flowmeter. *Circulation* 50: Suppl 2, 1976.
18. Ward JM, Baker DW, Rubenstein SA et al: Detection of aortic insufficiency by pulse Doppler echocardiography. *J Ultrasound* 5: 5, 1977.
19. Miyatake K, Kinoshita N, Nagata S, Beppu S, Park YD, Sakakibara H, Nimura Y: Intracardiac flow pattern in mitral regurgitation studied with combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echocardiography. *Amer J Cardiol* 45: 155, 1980.
20. Holen J, Simonsen S, Froysaker T: An ultrasound Doppler technique for the noninvasive determination of the pressure gradient in the Björk-Shiley mitral valve. *Circulation* 59: 436, 1979.
21. Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a non-invasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* 199: 455, 1976.
22. Young JB, Quinones MA, Waggoner AD, Miller RR: Diagnosis and quantification of aortic stenosis with pulsed Doppler echocardiography. *Amer J Cardiol* 45: 987, 1980.