

## Determinación automática de la velocidad sanguínea media con el frecuencímetro Doppler: Modificación personal (\*)

L. PEDRINI y T. CURTI

Cattedra di Chirurgia Vascolare (Direttore: Prof. Massimo D'Addato).  
Università di Bologna (Italia).

La posibilidad de utilizar un aparato Doppler para estudiar la velocidad del flujo fue investigada desde 1966 por **Strandness** y colaboradores. No obstante, en la literatura rara vez se encuentra su empleo para medir la velocidad y, en cambio, casi la totalidad se refieren a la morfología de la curva obtenida con el Doppler o a la posibilidad de medir la presión sistólica en distintos sectores corporales, aparte de poder establecer mediante aparatos direccionales el sentido de la corriente sanguínea.

Este fenómeno es debido con probabilidad al hecho de que, mientras la determinación de la tensión arterial es maniobra rápida y fácil, efectuable incluso con un Doppler portátil, la determinación de la velocidad del flujo requiere una cierta colaboración del paciente, que debe permanecer quieto, una cierta familiaridad con el aparato y la paciencia de colocar bien los cristales. Aparte de estos problemas en relación con el paciente/exploración, existen otros de tipo teórico, ligados a las características del flujo sanguíneo en el interior de los vasos. Como se sabe, el flujo sanguíneo es prácticamente nulo en las proximidades de las paredes vasculares en tanto que es máximo en el centro de los vasos. El haz de ultrasonidos al atravesar el vaso se refleja en los hematíes en movimiento y presenta un espectro de frecuencia relativo al espectro de la velocidad con que la sangre recorre el vaso. Existe además la necesidad de determinar la frecuencia media del espectro de Frecuencia Doppler; refleja y convertirla en un signo eléctrico. Esta operación se obtiene en muchos aparatos con un dispositivo de «zero crossing» capaz de revelar la densidad de la travesía del «zero» por parte del signo reflejo Doppler, convertido por el aparato en un signo de baja frecuencia. La salida del «zero crossing meter» es proporcional a la velocidad media de la sangre en una sección del vaso en un instante determinado, por tanto una velocidad media instantánea.

---

(\*) Traducido del original en italiano por la Redacción.

Normalmente, los «fluxómetros Doppler» del comercio tienen una salida por un altavoz por el que se puede oír el signo Doppler de alta frecuencia convertido en signo de baja frecuencia y, además, poseen otra salida para unirlos a un polígrafo. Por esta salida puede registrarse una curva de características particulares morfológicas en relación al vaso y a la patología del sujeto en estudio, pero de modo fundamental se registra la curva de velocidad. Esta curva es muy similar y a veces superponible a la curva de velocidad instantánea de la sangre en la sección del vaso explorada, dado que entre la frecuencia Doppler refleja y la velocidad de flujo sanguíneo existe una relación expresada en la fórmula:

$$f_d = \frac{2 v f}{c} \cos \alpha$$

donde  $f_d$ : variaciones de frecuencia;  $f$ : frecuencia de los ultrasonidos transmitidos;  $v$ : velocidad del manantial que refleja el sonido;  $c$ : velocidad de propagación de los ultrasonidos;  $\alpha$ : ángulo de incidencia.

Las variaciones de la curva obtenida en relación a la verdadera velocidad instantánea son debidas a la imposibilidad de determinar con seguridad el ángulo de incidencia del haz de ultrasonidos respecto al eje del vaso y a la distinta consistencia de los tejidos atravesados en cada caso, por lo cual varía la constante de la velocidad de propagación de los ultrasonidos. Por tal motivo, la valoración obtenida debe ser considerada semicuantitativa. Dado que la velocidad de la sangre es un parámetro de bastante importancia en el estudio de la hemodinámica y dado que con los fluxómetros a ultrasonidos con efecto Doppler es posible determinar este factor, nos planteamos el problema de obtener la mayor información posible respecto a la velocidad del flujo. Un parámetro que viene dado por los fluxómetros comerciales es la velocidad instantánea, que por lo común se visualiza sobre un polígrafo. Tras los primeros estudios de la velocidad en algunas enfermedades venosas, donde como parámetros se utilizaron las frecuencias Doppler de la punta de la curva (Pedrini, Curti, 1977), surgieron una serie de problemas inherentes al estudio clínico de la velocidad de la sangre que llevaron a la necesidad de valorar también la velocidad media. El proceso para obtener la velocidad media de la curva de velocidad instantánea es laborioso, ya que requiere la valoración del área de la propia curva. Este proceso de integración debe efectuarse en un tiempo relativamente largo, alrededor de 30 segundos, dado que la velocidad instantánea varía con facilidad en relación con algunas variaciones fisiológicas del individuo en examen, tal una taquicardia, una hipertensión emocional o una polipnea.

Para hacer automática la valoración de la velocidad media se ha añadido al fluxómetro usado en nuestro Instituto (Mod. 806, Parks Electronics) un circuito realizado con componentes integrados. El circuito consiste en un integrador que da la velocidad media ya en forma analógica apropiada para ser grafada en polígrafo (fig. 1), ya en forma de «display» numérico de cuatro cifras directa-

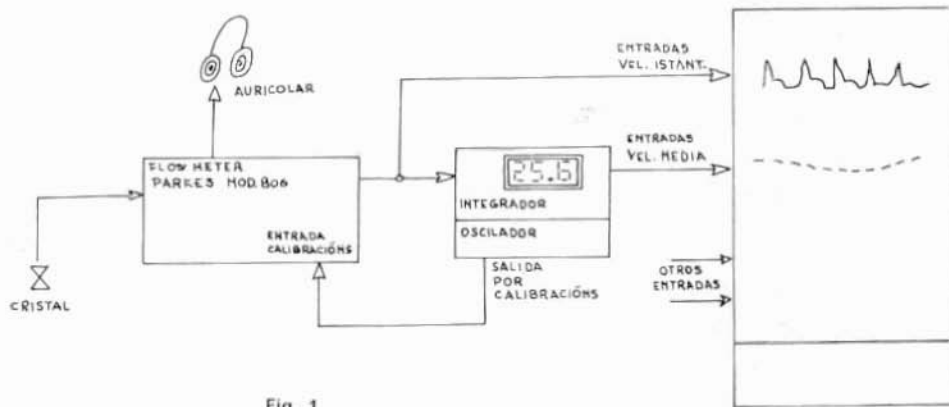


Fig. 1

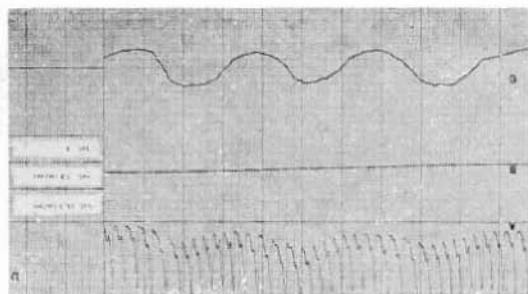


Fig. 2

Fig. 1: Esquema en bloque del fluxómetro Doppler completado con un integrador (original).

Fig. 2: Gráfica de la velocidad instantánea (A), velocidad media (B) y su relación con la dinámica respiratoria (C); curva de calibración (D).

mente en cm/seg. Así, la medida de la velocidad media del flujo hemático resulta independiente de las variaciones rítmicas de la velocidad determinadas por la sístole y por el ciclo respiratorio en el territorio arterial y por la dinámica respiratoria en el territorio venoso.

El circuito añadido va equipado con un oscilador del que pueden seleccionarse frecuencias conocidas, correspondientes a conocida velocidad instantánea, que permiten registrar una calibración del polígrafo (fig. 2) y que cubren la gama de posibles frecuencias Doppler proporcionadas por el fluxómetro.

Además, se mantiene la posibilidad de registrar en un polígrafo otros parámetros, tal la dinámica respiratoria y ECG, de forma que se puedan utilizar los trazados poligráficos mediante un modelo de investigación estadística de la serie temporal, basado en las series y en las integrales de Fournier, y en las relaciones entre diversas curvas.

El proyecto y la realización de los circuitos utilizados para la construcción de este módulo incorporado se efectuaron por el Dr. C. Cavani y el Dr. G. Ventura, del Laboratorio TE, S.R.E. de la sede de Bolonia del C.N.R.

La calibración y el control del aparato y de la curva de calibración se obtu-

vieron con un modelo experimental empleando sangre de buey heparinizada, mantenida circulante por medio de una bomba peristáltica de circulación extracorpórea, en tubos de plástico siliconado de distintos diámetros.

### Consideraciones

Aparte de la valoración de parámetros fundamentales de la hemodinámica, como la velocidad media, máxima y del flujo continuo de sangre en un sector vascular, arterial y venoso, de manera incruenta y con notable aproximación, el método permite simplificar los estudios longitudinales de los pacientes sometidos a una terapéutica quirúrgica reconstructiva o a una terapéutica médica conservadora, propuestos ya por **Strandness** y **Sumner** (1974), logrando evidenciar de modo indirecto variaciones del calibre del vaso estudiado. La simplicidad de ejecución de la exploración y el bajo coste del aparato permiten, por otro lado, extender su uso a otras aplicaciones, por ejemplo determinar la velocidad de sucesión de los seriogramas en el curso de un examen arteriográfico, en especial en aquellos casos que por lo común están etiquetados de «circulación lenta».

### RESUMEN

Los autores presentan una modificación aplicable al fluxómetro Doppler actualmente en el comercio, capaz de determinar incruentamente de modo semicuantitativo la velocidad instantánea en las diversas fases del ciclo cardíaco y respiratorio.

### SUMMARY

A modification of the flow-meter (Doppler) by intercalation of an integrator is presented. It permits us to determine the semiquantitative average velocity and instantaneous velocity of the hematic flux during the different phases of the cardiac and respiratory cycles.

**Nota:** Los autores agradecen a los Dres. **C. Cavani** y **G. Ventura**, del Laboratorio TES.R.E. de la sede de Bolonia C.N.R., el proyecto y realización del módulo añadido.

### BIBLIOGRAFIA

- L. Pedrini y T. Curti:** Possibilità e limiti di determinazioni semiquantitative con un flussimetro Doppler direzionale. «La Clínica Terapéutica», 1977.
- Strandness, J.; Mc Cutcheon, E. P.; Rushmer, R. F.:** Application of a transcutaneous Doppler flowmeter in evaluation of occlusive arterial disease. «Surg. Gyn. & Obst.», 122:1039, 1966.
- Strandness, Jr. y Sumner, D. S.:** Clinical application of the ultrasonic velocity detector. «Cardiovascular Application of Ultrasound». Reneman Ed., North Holland, American elseviere, 1974.