

## **El ultrasonido en la evaluación incruenta de las enfermedades vasculares periféricas**

A. ALMAZAN ENRIQUEZ, Médico adjunto.

M. RAMOS BOYERO, Médico adjunto.

J. GARCIA GARCIA, Residente III.

**Cátedra de Patología Quirúrgica I (Prof. A. Gómez Alonso). Facultad de Medicina. Hospital Universitario. Salamanca (España).**

El físico austríaco **Christian Johann Doppler** describió el principio que lleva su nombre en 1842 y que, en realidad, aplicó de inicio a explicar el cambio de color de ciertas estrellas según se acercan o se alejan a lo largo de la línea de visión. Por dicho principio se explica el cambio de frecuencia que un receptor percibe mientras una fuente sonora o luminosa se mueve paralelamente a un receptor estacionario. El cambio de frecuencia depende de la velocidad de la fuente emisora del sonido o luz y de la frecuencia de la onda emitida. Aumenta cuando el emisor se aproxima al receptor, ya que a medida que el emisor se mueve se recibe mayor número de ondas por unidad de tiempo (1). El efecto queda bien explicado con el clásico ejemplo del sonido percibido por una persona que ve pasar un tren silbando.

Este aparente cambio de frecuencia por movimientos relativos aplicado a la técnica de detectar flujo sanguíneo por vía transcutánea se basa en la diferencia de frecuencia entre un ultrasonido emitido por un cristal piezoeléctrico excitado eléctricamente y el sonido recibido por el mismo u otro cristal, tras haber atravesado la piel, tejidos subyacentes y la pared del vaso, hasta chocar con las células sanguíneas en movimiento y que, reflejando el ultrasonido, producen un cambio de frecuencia en el mismo proporcional a la velocidad de tales células. Las estructuras estáticas no varían la frecuencia. La señal emitida y la reflejada son mezcladas y se obtiene así un sonido cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de la sangre en el punto estudiado. Este sonido puede ser entonces ampliado para ser audible o ser registrado en una cinta magnética, una gráfica o un osciloscopio.

Existen dos métodos de común empleo hoy para el registro de las señales Doppler. El más extendido es el que utiliza un convertidor de frecuencia en voltaje, registrando una onda que no es en realidad más que el contorno del espectro de frecuencias en el momento y lugar del registro. Otro, de uso más limitado, es el audioanalizador de frecuencias («Sonograph»), que registra todo el espectro de frecuencias en cada instante.

Los ultrasonidos empleados en el diagnóstico de las enfermedades vasculares periféricas no son dañinos y varían según el instrumento comercial empleado, entre dos y 10 MHz. Cabría pensar que, puesto que el ultrasonido es reflejado por las células sanguíneas, el hematócrito afectaría los resultados obtenidos por el

Doppler; sin embargo, se ha demostrado que esto no es así para una amplia variación de la concentración hemática (16-18 %) (2).

La aplicación de los ultrasonidos en Medicina es reciente. En la investigación del flujo sanguíneo fueron **Satomura y Kaneko**, en 1957, los primeros en describir un método fluidométrico ultrasónico basado en el efecto Doppler para examinar la función cardíaca; y en 1959, usando un reógrafo sanguíneo ultrasónico, describieron la posibilidad de medir cambios instantáneos en el flujo sanguíneo de arterias periféricas en humanos (3). Más tarde, otros adaptaron también el método para la determinación del flujo sanguíneo en humanos (4) y en animales (5). Sin embargo, la generalización del uso de los ultrasonidos como método no invasivo transcutáneo para el estudio de las enfermedades vasculares periféricas se debe a **Stradness** (6), **Yao** (7) y otros, que trabajando intensamente en este campo han aplicado el Doppler a diversas situaciones vasculares clínicas y experimentales.

### Sistemas ultrasónicos en uso

**Doppler de onda continua.** Las primeras experiencias en la clínica y en el laboratorio se realizaron con el detector de velocidad de onda continua, habiéndose aplicado extensamente en el estudio de las arteriopatías periféricas. Tiene gran valor para medir la tensión arterial, siendo **Ware y Laenger** los primeros en emplearlo en este sentido con un Doppler especialmente construido, que filtra las pequeñas frecuencias originadas en la sangre pero aumenta las originadas en las paredes arteriales. Los detalles del método escapan a esta revisión.

**Kazamías** y colaboradores (12) describen en 1971 un método con Doppler que se diferencia algo del de **Ware y Laenger**. Usan el cambio de frecuencia secundario a la velocidad del flujo sanguíneo en lugar del debido al movimiento de la pared arterial. La presión sistólica la refieren al momento en que comienza el flujo al deshinchar el manguito de presión y la diastólica al lugar en que el flujo se mantiene en un registro gráfico. **Félix** y colaboradores (13) emplean un sistema modificado, para comparar presiones arteriales en extremidades superiores e inferiores; y **Cutajar** y cols., basados en la presión arterial en el miembro inferior (14), han descrito diversas técnicas de valoración y asesoramiento de la enfermedad vascular periférica. Sin embargo, ha sido **Yao** quien quizás impulsara y difundiera de manera total el valor del uso del Doppler en la medición de la tensión arterial en los miembros inferiores en el campo de la patología arterial (7-9).

La posibilidad de medir la tensión arterial por medio del Doppler ha extendido de modo notable las oportunidades de conocerla en casos difíciles, como niños (15), estados de «shock» (16), gran edema de miembros traumatizados o mordedura de animales (17), o lugares de ruido ambiental intenso (18). Ha supuesto, pues, un hito histórico de gran trascendencia.

**Doppler direccional.** El Doppler de onda continua, de uso único hasta aproximadamente 1967, tenía un fallo importante: no se podía discriminar la dirección del flujo sanguíneo; es decir, tanto el que se dirigía como el que se alejaba del instrumento era registrado como una onda positiva en la gráfica y como un solo sonido en el registro acústico. Los estudios anteriores y los esfuerzos por cuantificar el flujo sanguíneo mediante los ultrasonidos eran, pues, muy erróneos, ya que el flujo retrógrado puede ser una fracción importante del flujo total registrado en muchas zonas del cuerpo y es sumado, en lugar de restado, en los Doppler unidireccionales.

**McLeod** (19), **Kalmanson** (20) y **Kato e Izumi** (21) desarrollaron un sistema

direcciona que permite distinguir las frecuencias «positivas» de las «negativas», es decir las originadas por flujo que se dirige al instrumento y por el que se aleja. Estas señales pueden ser diferenciadas en una gráfica en uno o dos canales, o bien por sistema acústico estéreo. Más recientemente, **Nippa** y cols. han perfeccionado el Doppler direccional mediante un dispositivo que resuelve el problema de diferenciar y registrar flujos sanguíneos simultáneos en direcciones opuestas (22).

No es necesario resaltar la importancia de este nuevo avance en el campo de las enfermedades vasculares periféricas, abriendo el camino al estudio del flujo anterógrado en arterias periféricas, fístulas arteriovenosas (23), lugares de oclusión arteriosclerótica, flujo colateral, insuficiencia aórtica y tricuspídea, evaluación de la circulación palmar (24) y evaluación de las vasculopatías extracraneales y de la patología venosa de los miembros.

Dada su extraordinaria importancia, vamos a extendernos discretamente sobre los dos últimos temas.

**Carótida:** En 1970 **Brogkenborough** describe el estudio del flujo arterial de la supraorbitaria, rama terminal de la oftálmica, en la evaluación de las enfermedades vasculares extracraneales sin riesgo cerebral (25). Los primeros estudios con el Doppler no-direccional aplicado a las carótidas primitiva e interna (26, 27) no eran fiables. Con el advenimiento del Doppler bidireccional, **Maroon** (28) pudo demostrar el cambio de dirección del flujo en la arteria y su modificación por compresión de la arteria temporal, con lo que la valoración de los enfermos con riesgo cerebral pudo llevarse a cabo, constituyendo hoy día un estudio rutinario no-invasivo de considerable valor (29, 30).

**Sistema venoso.** El advenimiento del Doppler bidireccional ha permitido dar un salto de gigante en el estudio de las enfermedades venosas periféricas. Ya **Sigel** y cols., en 1968 (31), realizaron un importante trabajo en el estudio de la oclusión trombótica venosa y de las válvulas incompetentes, utilizando el unidireccional. No obstante, el bidireccional ha permitido estudiar con certeza la localización de la incompetencia valvular y de las perforantes incompetentes (32).

**Yao** y cols. (33) y **Stradness** y **Summer** (34), en 1972, estudian las alteraciones en los sonidos o registros en trombosis ilio-femorales, mediante diversas maniobras. **Stanley Scott Miller** y **Andrew V. Foote** (35), en 1974, aún describen un método basado en el unidireccional para la localización de las perforantes insuficientes en el miembro inferior. Otros autores han aplicado el efecto Doppler, mediante aparatos direccionales, al sistema venoso en diversas situaciones, como la medida de la presión venosa periférica (36), influencia de la aurícula derecha en el influjo venoso (37), dinámica venosa en los miembros inferiores de mujeres gestantes (38), velocidad de la onda de pulso venoso (39), etc.

#### **Otros usos del Doppler de onda continua, uni o bidireccional**

Con la evolución de los dos tipos de instrumentos, el estudio de los fenómenos vasculares periféricos se encontró, al inicio de los años setenta, con una fuente de información que pudo desglosar en dos grupos de datos: 1) Análisis de la onda reflejada del flujo sanguíneo, y 2) Medida de la tensión arterial sistólica y diastólica en las extremidades, de cuya importancia ya hemos hablado antes.

Respecto al análisis de la onda reflejada por el flujo sanguíneo, son muchos los autores que han trabajado sobre el tema, tanto en el aspecto sonoro como gráfico (40-43); sin embargo, su análisis aislado tiene un importante fallo, el ser

sólo cualitativo del flujo. Recientemente, diversos investigadores han buscado sobrepasar este problema y, usando el «sonograph», han introducido el análisis cuantitativo de las ondas reflejadas. **Gossling** y cols. (44) han obtenido esta información cuantitativa computarizando el componente de frecuencia de las ondas Doppler reflejadas (Análisis de Fourier), obteniendo un «Índice pulsátil» que permite valorar con bastante aproximación el estado hemodinámico de las colaterales. Con este método, **Fitz Gerald** y cols. han desarrollado un sistema para la valoración hemodinámica de la circulación colateral (45).

Las técnicas de sonograma parecen, pues, más fiables para la valoración cuantitativa del flujo sanguíneo. No obstante, el «sonograph» tenía aún un inconveniente: no era direccional. En 1973, **Matsuo** y **Nimura** (46) lo salvaron, desarrollando un sistema que permite demostrar la dirección del flujo por el sonograma.

Otros análisis cuantitativos incluyen: descubrimiento del flujo turbulento (47), cálculo de la velocidad de la onda de pulso (48) y análisis espectral de las frecuencias reflejadas (49), si bien todavía no están incluidos en la práctica clínica. No obstante, el análisis del espectro de frecuencia obtenido por el sonograma es capaz de determinar el tipo de flujo en arterias y venas, teniendo en cuenta que el espectro de frecuencias reflejadas y registradas no es otra cosa que el resultado de las varias velocidades del flujo en examen.

De aquí se deduce que el espectro de frecuencias cambiará al variar el tipo de flujo de laminar a turbulento, etc. Bajo estas consideraciones ha sido posible demostrar tales cambios en condiciones de flujo turbulento en fístulas arteriovenosas, utilizando un detector especial de las audiofrecuencias en turbulencia diseñado por los autores (50). **Newman** y cols. (47) han aplicado dicho detector al análisis de las turbulencias en injertos bifurcados; y **Yao** y **Needham** (49) han demostrado el valor de este análisis en el reconocimiento del significado hemodinámico de la estenosis de la arteria iliaca ante la oclusión de la arteria femoral superficial. Otros autores han estudiado mediante este análisis problemas patogénicos, tales el valor de la turbulencia en el desarrollo de ateromatosis en bifurcaciones (51) y en la dilatación postestenótica de las arterias (52).

**Doppler pulsátil.** Los Doppler de onda continua, direccionales o no, registran los cambios de frecuencia de todas las estructuras móviles que el ultrasonido encuentra a su paso; es decir, una especie de «media espacial» de los sucesos que ocurren en el flujo sanguíneo a lo largo y ancho del área de sección de la arteria en estudio. Su deficiencia ha sido solventada por el desarrollo de un tipo de Doppler direccional pulsátil (53, 54) desde que lo describieran **Perroneau** y **Lèger** (55), en 1969.

Al contrario que el Doppler de onda continua, el pulsátil obtiene únicamente datos de la velocidad del flujo a lo largo del rayo ultrasónico desde puntos seleccionados, mediante cortos y repetidos disparos del mismo y un sistema apropiado electrónico de cierre y apertura del receptor a diferentes tiempos tras el disparo. Aunque el Doppler pulsátil precisa mejorar su pleno desarrollo y general comercial y clínica, ha demostrado ya su valor informativo respecto a dos cuestiones.

**Perfiles de velocidad.** Se construyen mediante el uso de un computador que integra los distintos registros a través de la sección de la luz arterial (53). Los perfiles son parabólicos en arterias mayores (flujo laminar), mientras que otros lugares, tales estenosis, brascas angulaciones, ramificaciones, etc., son aplanados;

datos que pueden ser una ayuda en distintas investigaciones hemodinámicas en relación con lesiones ateroscleróticas.

**Elasticidad de la pared arterial.** Es evidente el interés que para el angiocirujano tiene el conocer los cambios que la pared arterial experimenta secundariamente a la aterosclerosis y la posibilidad de estudiarlos por métodos no-invasivos. De ahí que varios investigadores (56, 57) hayan lanzado el estudio de la elasticidad de la pared arterial por Ultrasonidos Ecográficos, basados en la misma idea del Doppler pulsátil emitiendo ultrasonidos de 5 MHz de frecuencia. Las señales emitidas son reflejadas en este instrumento tanto por las estructuras estáticas como por las en movimiento y, así, cuando la energía ultrasónica choca contra la pared arterial una parte se refleja, distinguiéndose estos ecos por su diferente amplitud en el osciloscopio. Asimismo permite conocer la luz arterial, ya que la mayor amplitud del eco se obtiene cuando el instrumento, y por tanto los ultrasonidos, se encuentra a 90° exactamente respecto a la pared arterial. La distancia entre la pared cercana y la lejana puede medirse en milisegundos y el diámetro de la arteria se calcula conociendo la velocidad del sonido en los tejidos (58, 59). Al saber el diámetro arterial, se sabe el área de sección, suponiendo claro está que la arteria sea circular.

Hasta que este instrumento permitió conocer el diámetro arterial y el área de sección y el ángulo exacto en que se encontraba, no fue posible determinar con precisión la velocidad media del flujo sanguíneo ni su propio flujo. Sin embargo, ahora, conociendo ya la alteración media de la frecuencia del ultrasonido reflejado ( $\Delta f$ ) mediante cálculos que escapan a este artículo (58, 59) y empleando la fórmula Doppler de alteración de frecuencia

$$f = \frac{2 f v (\cos \theta)}{C}$$

donde  $v$  = velocidad,  $f$  = alteración o cambio de frecuencia cuando el sonido es reflejado por los hematíes en movimiento,  $C$  = velocidad del sonido en los tejidos y  $\theta$  = ángulo de incidencia del rayo de sonido sobre el flujo. De esta fórmula podemos despejar  $v$ , y así:

$$v = \frac{C \cdot \Delta f}{2 f (\cos \theta)}$$

y conociendo  $v$  y el área de sección arterial  $A$ , el flujo  $Q$  será

$$Q = A \cdot v$$

Mediante estos estudios, **Reagan** (59) ha calculado el flujo arterial en la femoral común, en tanto que otros autores han aplicado el método a vasos muy pequeños (60, 62).

**Arteriografía.** El descubrimiento del Doppler pulsátil (PUVDM, «Pulsed Ultrasonic Velocity Detection Meter») ha ofrecido la posibilidad a **Mozerky** y cols. (61, 62) de desarrollar un método de visualización arterial que posee ciertas ventajas

sobre la arteriografía convencional: evita puncionar la arteria, en más barato en tiempo y dinero, los resultados han sido extensamente comparados favorablemente con la arteriografía de contraste y tiene la ventaja de que es posible obtener vistas laterales y sagitales de la luz arterial, lo que permite detectar lesiones que de otro modo pasarían inadvertidas, sobre todo teniendo en cuenta que las lesiones o depósitos ateromatosos se producen lo más a menudo en la pared posterior de las arterias. Asimismo, ofrece la posibilidad de estudiar ramificaciones y bifurcaciones y, por ser no-invasivo, de repetir la exploración cuantas veces se desee.

Por otra parte, al estar basado en el Doppler pulsátil, nos ofrece la oportunidad de conocer el ángulo exacto en que las imágenes han sido contenidas, el flujo en el vaso objeto de estudio y sus dimensiones exactas (62). Constituye, pues, una gran ayuda en seguir la terapia no quirúrgica de la aterosclerosis.

La combinación de la arteriografía ultrasónica y el análisis espectral de frecuencia (Sonograma) aplicado a la carótida ha permitido a **Barnes** y cols. ofrecer un sistema no-invasivo de gran valor para el diagnóstico y tratamiento de pacientes con grave riesgo cerebrovascular (63). Más aún, la angiografía ultrasónica carotídea al posibilitar cualquier imagen longitudinal o transversal y, si se computarizan las imágenes, visiones tridimensionales de la bifurcación, amplía de modo considerable el armamento diagnóstico no-invasor de esta importante zona arterial (64).

Es indudable que ha constituido un gran avance y los ingenieros biomédicos trabajan en su perfección. Quizá la futura combinación del Doppler pulsátil y el sistema B-scan permitirá desarrollar un método capaz de detectar lesiones ateromatosas ulceradas, de grave riesgo, lo que hoy día es imposible.

## RESUMEN

Se revisan las distintas etapas históricas y técnicas del empleo del ultrasonido en la evaluación incruenta de las enfermedades vasculares periféricas, señalando sus fundamentos, distintos aparatos en uso y sus más importantes aplicaciones en patología arterial y venosa, así como su futuro en la práctica clínica y de investigación en dicho campo.

## SUMMARY

History and employment of the ultrasounds as a non invasive procedure on the evaluation of vascular diseases are presented. Their basis and main applications in that pathology are emphasized«

## BIBLIOGRAFIA

1. **Van Beek, A. L.:** Ultrasound evaluation of microanastomosis. «Arch. Surg.», 110:945, 1975.
2. **Michie, D. D. y Cain, C. P.:** Effect of hematocrit upon the shift in Doppler frequency. «Proc. Soc. Exp. Biol. Med.», 138:768, 1971.
3. **Satomura, S. y Kaneko, Z.:** Ultrasonic blood reograph. «Proc. Int. Conf. Med. Electronics», pág. 254, 1960.
4. **Watson, N. W. y Rushmer, R. F.:** Ultrasonic blood flowmeter transducers. «Proc. San Diego Sympos. Biomed. Engr.», 3:87, 1963.
5. **Franklin, D. L.; Schelegel, W. A.; Rushmer, R. F.:** Blood-flow measured by Doppler frequency shift of back-scattered ultrasound. «Science», 132:564, 1961.

6. Strandness, D. E. Jr.; Mc. Cutcheon, E. P.; Rushmer, R. F.: Applications of transcutaneous Doppler flowmeter in evaluation of occlusive arterial disease. «Surg. Gyn. Obst.», 122:1039, 1966.
7. Yao, J. S. T.; Needham, T. N.; Gourmos, C.; Irvine, W. T.: A comparative study of strain-gauge plethysmography and Doppler ultrasound in the assessment of occlusive arterial disease of the lower limb. «Surgery», 71:4, 1972.
8. Yao, J. S. T.; Hobbs, J. T.; Irvine, W. T.: Ankle systolic pressure measurement in arterial disease affecting the lower extremities. «Br. J. Surg.», 56:67, 1969.
9. Yao, J. S. T. y Bergan, J. J.: Applications of ultrasound to arterial and venous diagnosis. «Surg. Clin. North. Am.», 54:23, 1974.
10. Bernstein, E. F.; Murphy, A. E. Jr.; Shea, M. A.; Housman, L. B.: Experimental and clinical experience with transcutaneous Doppler Ultrasonic Flowmeters. «Arch. Surg.», 101:21, 1970.
11. Ware, R. W. y Laenger, C. J.: Indirect blood pressure measurement with Doppler ultrasonic kinetoarteriography. «20th. Ann. Conf. Eng. Med. Biol.», 27:3, 1967.
12. Kazamias, T. M.; Gander, M. P.; Franklin, D. L.; Ross, J., Jr.: Blood pressure measurements with Doppler Ultrasonic Flowmeter. «J. Appl. Physiol.», 30:585, 1971.
13. Felix, W. R., Jr.; Hochberg, H. M.; George, M. E. D.; Schalzbach, E. L.; Vaserberg, R.: Ultrasound measurement of arm and leg blood pressures. «JAMA», 226:1096, 1973.
14. Cutajar, C. L.; Martson, A.; Newcombe, J. F.: Value of cuff-occlusion pressures in assessment of peripheral vascular disease. «Br. Med. J.», 2:392, 1973.
15. Janis, K. M.; Kemmerer, W. T.; Hagood, C. O., Jr.: Doppler blood-pressure measurement in infants and small children. «J. Pediatr. Surg.», 6:70, 1971.
16. Waltemath, C. L. y Preuss, D. D.: Determination of blood pressure in lowflow states by the Doppler technique. «Anesthesiology», 34:77, 1971.
17. Keitzer, W. F. y Lichti, E. L.: Applications of the Doppler: common and unusual situations. «Angiology», 26:40, 1975.
18. Koczynski, H. D.: Airborne blood pressure measurement using ultrasonics. «Aerosp. Med.», 45:1307, 1974.
19. Mc.Leod, R. D., Jr.: Directional Doppler demodulation. «20th. Ann. Conf. Eng. Med. Biol.», 27:1, 1967.
20. Kalmanson, D.; Toutain, G.; Novikoff, N.; Derai, C.; Chiche, P.; Cabrol, C.: Le cathétérisme velocimétrique du cœur et des gros vaisseaux par sonde ultrasonique directionnelle à effect Doppler. Rapport préliminaire. «Ann. Med. Interne (Paris)», 120:685, 1969.
21. Kato, K.; Kakusho, O.; Izumi, T.: A new Ultrasonic Doppler flowmeter that can detect flow directions. «Med. Ultrason.», 5:28, 1968.
22. Nippa, J. H.; Hokanson, D. E.; Lee, D. R.: Phase rotation for separating forward and reverse blood velocity signals. «IEEE Trans Sonics Ultrasonics, S. U.», 22:340, 1975.
23. Pisko-Dubienski, A.; Baird, R. J.; Wilson, D. R.; Bayliss, D. E.; Gardiner, J. H.; Sepp, H.: Identification and successful treatment of congenital microcistulas with the aid of the directional Doppler. «Surgery», 78:564, 1975.
24. Mozersky, D. J.; Buckley, O. J.; Hagood, C. O., Jr.; Capps, W. F., Jr.; Dannemiller, F. J., Jr.: Ultrasonic evaluation of the palmar circulation. A useful adjunct to radial artery cannulation. «Am. J. Surg.», 126:810, 1973.
25. Brockenbrough, E. C.: «Screening for the prevention of stroke. Use of a Doppler flowmeter.» Parks Electronics Publ., Seattle, 1970.
26. Brinker, R. A.: Detection of carotid arterial bifurcation stenosis by Doppler Ultrasound. «J. Neurosurg.», 29:143, 1968.
27. Grossman, B. L. y Wood, E. H.: Evaluation of cerebrovascular disease utilizing a transcutaneous Doppler technic. «Radiology», 90:586, 1968.
28. Marcon, J. C.: Internal carotid artery occlusion diagnosed by Doppler Ultrasound. «Stroke», 1:122, 1970.
29. Machleder, H. I.: Evaluation of patients with cerebrovascular disease using the Doppler ophthalmic test. «Angiology», 24:374, 1973.
30. Lo Gerfo, F. W. y Mason, G. R.: Directional Doppler studies of supraorbital artery flow in internal carotid stenosis and occlusion. «Surgery», 76:723, 1974.
31. Sigel, B.; Popky, G.; Wagner, D.: Comparison of clinical and Doppler ultrasound evaluation of confirmed lower extremity venous disease. «Surgery», 64:332, 1968.
32. Folse, R. y Alexander, R. H.: Directional flow detection for localizing venous valvular incompetency. «Surgery», 67:114, 1970.
33. Yao, J. S. T.; Gourmos, C.; Hobbs, J. T.: Detection of proximal vein thrombosis by Doppler ultrasound flow detection method. «Lancet», 1:1, 1972.
34. Strandness, D. E. y Sumner, D. S.: Ultrasonic velocity detector in the diagnosis of thromboflebitis. «Arch. Surg.», 104:180, 1972.
35. Miller, S. S. y Foote, A. V.: The ultrasonic detection of incompetent perforating veins. «Br. J. Surg.», 61:653, 1974.
36. Gaylis, H.: Some observations on peripheral venous pressure using a non-invasive technique. «Br. J. Surg.», 62:259, 1975.
37. Alexander, R. H.; Nippa, J. H.; Folse, R.: Directional transcutaneous assessment of venous inflow. «Am. Heart J.», 82:86, 1971.
38. Ikard, R. W.; Veland, K.; Folse, R.: Lower limb venous dynamics in pregnant women. «Surg. Gyn. Obst.», 132:483, 1971.
39. Nippa, J. H.; Alexander, R. H.; Folse, R.: Pulse wave velocity in human veins. «J. Appl. Physiol.», 30:558, 1971.

40. Raines, J. K.; Dørling, C. R.; Buth, J.; Brewster, D. C.; Austen, W. G.: Vascular Laboratory criteria for the management of peripheral vascular disease of the extremities. «Surgery», 79:21, 1976.
41. Dean, R. H. y Yao, J. S. T.: Hemodynamic measurements in peripheral vascular disease. «Curr. Problems in Surgery», 1977.
42. Waters, K. J.; Chamberlain, J.; Mc. Neill, I. F.: The significance of Aortoiliac atherosclerosis as assessed by Doppler Ultrasound. «Am. J. Surg.», 134:388, 1977.
43. Nicolaides, A. N.; Gordon-Smith, I. C.; Dayandas, J.; Eastcott, H. H. G.: The value of Doppler blood velocity tracings in the edtection of aortoiliac disease in patients with intermittent claudication. «Surgery», 80:774, 1976.
44. Gossling, R. G.; King, D. H.; Newman, D. L.; Woodcock, J. P.: Transcutaneous measurements of arterial blood velocity by ultrasound. «J. Ultrasonics», 16:32, 1969.
45. Fitzgerald, D. E.; Gossling, R. G.; Woodcock, J. P.: Grading dynamic capability of arterial collateral circulation. «Lancet», 1:86, 1971.
46. Matsuo, H. y Nimura, Y.: Analysis of flow patterns in blood vessels with directional ultrasonic Doppler technique through a transcutaneous approach. «Jap. Circ. J.», 37:735, 1973.
47. Newman, D. L.; Gossling, R. G.; King, D. H.: Turbulence in bifurcation grafts. «J. Surg. Res.», 13:63, 1972.
48. Matsuo, H.; Nimura, A.; Kitabake, A.; Hayashi, T.: Analysis of flow patterns in blood vessels with the directional ultrasonic Doppler technique, though a transcutaneous approach. «Jap. Circ. J.», 37:755, 1973.
49. Yao, J. S. T. y Needham, T. N.: Spectral frequency analysis of Doppler-shift flow signals by a band-pass filter. «Biomed. Eng.», 1970.
50. Gossling, R. G. y King, D. H.: Audiosignals in arteriovenous shunts. Use in flow monitoring and possible relevance to cletting. «J. Appl. Physiol.», 27:106, 1969.
51. Lallemand, R. C.; Gossling, R. G.; Newman, D. L.: Role of the bifurcation in atheromatosis of the abdominal aorta. «Surg. Gyn. Obst.», 137:987, 1973.
52. Roach, M. R. y Harvey, K.: Experimental investigation of poststenotic dilatation in isolated arteries. «Can. J. Physiol. Pharmacol.», 42:53, 1964.
53. Histan, M. B.; Miller, C. W.; McLeod, F. D., Jr.: Transcutaneous measurement of blood velocity profiles and flow. «Cardiovasc. Res.», 7:703, 1973.
54. Hartley, C. J. y Cole, J. S.: An ultrasonic pulsed Doppler system for measuring blood flow in small vessels. «J. Apl. Physiol.», 37:626, 1974.
55. Perroneau, P. A. y Léger, F.: Doppler Ultrasonic pulsed blood flowmeter. «Eight Int. Conf. Med. Biol. Engr.», Chicago, 1969.
56. Mozersky, D. J.; Hokanson, D. E.; Strandness, D. E., Jr.: Transcutaneous measurement of the elastic properties of the human artery. «Circulation», 46:968, 1972.
57. Hokanson, D. E.; Mozersky, D. J.; Strandness, D. E., Jr.: A phase-locked echo tracking system for recording arterial diameter changes in vivo. «J. Appl. Physiol.», 32:728, 1972.
58. Strandness, D. E., Jr. y Sumner, D. S.: Current research review: Noninvasive methods of studying peripheral arterial function. «J. Surg. Res.», 12:419, 1972.
59. Reagan, T. R.; Miller, C. W.; Strandness, D. E., Jr.: Transcutaneous measurement of femoral artery flow. «J. Surg. Res.», 11:488, 1971.
60. Fish, P. J.; Kakkar, V. V.; Corrigan, T.; Nicolaides, A. N.: Arteriography using ultrasound. «Lancet», 1:1269, 1972.
61. Mozersky, D. J.; Hokanson, D. E.; Baker, D. W.; Sumner, D. S.; Strandness, D. E., Jr.: Ultrasonic arteriography. «Arch. Surg.», 103:663, 1971.
62. Mozersky, D. J.; Hokanson, D. E.; Sumner, D. S.; Strandness, D. E., Jr.: Ultrasonic visualization of the arterial lumen. «Surgery», 72:253, 1972.
63. Barnes, R. W.: Non-invasive ultrasonic carotid angiography: Prospective validation by contrast arteriography. «Surgery», 80:328, 1976.
64. Strandness, J. R. y Sumner, D. S.: Non-invasive methods of studying peripheral arterial function. «J. Surg. Res.», 12:149, 1972.
65. Strandness, D. E., Jr.: The use of Ultrasound in the evaluation of peripheral vascular disease «Progr. Cardio. Dis.», 20:403, 1978.