

Exploraciones funcionales no invasivas de la circulación venosa de las EE.II.

Jordi Latorre
 Petru Surcel
 Javier Barreiro
 Ignacio Sánchez
 Meritxell Davins
 Emili Viver

Servicio
 de Angiología, Cirugía
 Vascul ar
 y Endovascular
 Hospital de la Santa
 Creu i Sant Pau
 Barcelona

Correspondencia:
 Jordi Latorre
 Hospital de la
 Santa Creu i Sant Pau
 Sant Antoni M^a Claret, 167
 08025 Barcelona

Resumen

Dentro del diagnóstico de la circulación de retorno venoso de los miembros inferiores, los métodos no invasivos deben realizarse con anterioridad a cualquier técnica invasiva (flebografía, presión venosa...) y presentar las características de: sencillez, fiabilidad, seguridad; capacidad de ser estandarizados y registrados; adaptabilidad al estudio funcional, y de uso asequibles por el personal auxiliar.

Entre los métodos diagnósticos no invasivos, cabe citar: el Doppler, el láser-Doppler, la pletismografía, la termografía, la capilaroscopia, la PO₂ transcutánea y el ecoDoppler.

De todos ellos, el ecodoppler venoso es el que aporta una mayor información. En este método se realiza la asociación de dos exámenes: la ecografía venosa y el Doppler venoso, de modo que cada uno explora de manera diferente y a la vez complementaria (anatómica y hemodinámica) el estado de las venas superficiales y profundas de los miembros inferiores.

En caso de duda, con los métodos no invasivos, se puede recurrir a otros medios diagnósticos como la flebografía, la TC y/o la RM.

Palabras clave: Diagnóstico hemodinámico. Miembros inferiores.

Summary

During the diagnosis of venal return circulation of the lower limbs, the non invasive methods should be used before any invasive technique (phlebography, venal tension...) that present the characteristics of: simplicity, reliability, safety; capable of being standardized and registered; adaptability to functional study, and availability for use by the auxiliary personnel.

Amongst the non invasive diagnostic methods worth mentioning are: the Doppler, the laser- Doppler, the pletismograph, the thermograph, the capillaroscopy, the transcutaneous PO₂ and the echoDoppler.

Of all of these, the venous echoDoppler is the one giving the greatest amount of information. In this method the association of two examinations is carried out; the venous sonography and the venous Doppler, whereby each one explores in a different but complementary way

(anatomically and haemodynamically) the state of the superficial and deep veins of the lower limbs.

In case of doubt, with the non invasive methods, one can resort to other means of diagnosis such as the phlebography, the scanner and/or resonance imaging.

Key words: Haemodynamic diagnosis. Lower limbs.

Los métodos diagnósticos de la circulación de retorno venoso de los miembros inferiores se dividen en función de su invasividad o no, en dos grupos que son:

- Métodos no invasivos.
- Métodos invasivos.

Métodos no invasivos

Estos métodos diagnósticos deben realizarse con anterioridad a cualquier técnica invasiva (presión venosa, biopsia, flebografía, etc.) y presentar las siguientes características: sencillez, fiabilidad, seguridad y repetibilidad; capacidad de ser estandarizados y registrados; adaptabilidad al estudio funcional, y de uso asequible al personal auxiliar.

Entre los métodos diagnósticos no invasivos de la circulación venosa cabe describir: el Doppler, el láser-Doppler, la pletismografía, la termografía, la capilaroscopia, la PO₂ transcutánea y el ecoDoppler.

Doppler

Efecto Doppler

El efecto "Doppler-Fizeau" es una propiedad general de los fenómenos vibratorios. En 1842 Cristián Doppler publicó su ensayo "Sobre la luz cromática de las estrellas dobles", en el que se describía las variaciones de frecuencias en un haz de luz emitido por un foco al incidir sobre objetos móviles.

El holandés Buys-Ballot, ocupose en el tono de sonidos emitidos por cuerpos en movimiento, pudiendo observar que, al acercarse, aumenta el tono, y baja al alejarse. Resultó de sus experimentos una correlación cuantitativa del principio de Doppler aplicado a Acústica.

En 1848, Fizeau hizo, notar que el corrimiento del espectro, si bien no había de ser observable en espectros continuos, podía muy bien serlo en espectros de líneas. E indicó como podía medirse la velocidad relativa según la línea de unión de los astros.

Pierre Curie descubrió en 1880 "la piezoelectricidad": propiedad física de determinados cristales que en función de sus ejes polares, pueden generar una carga eléctrica cuando son estimulados por una fuerza de distorsión mecánica. Y a la inversa, generar energía mecánica a partir de un estímulo eléctrico.

Una de sus aplicaciones fue la sonda acústica para la navegación a partir de la Primera Guerra Mundial y en la década de los años 60 se consagra como "método Doppler" en la exploración vascular.

Detector ultrasónico Doppler de velocidad

Principio. El aparato consta de un oscilador, que puede variar en frecuencia entre 2-10 millones de ciclos por segundo (megahertzios o megaciclos) y que hace que un cristal piezoeléctrico en una sonda de mano emita un haz de ultrasonidos de frecuencia F. Este haz penetra en los tejidos a través de un gel acústico aplicado a la piel. El sonido es reflejado por los corpúsculos hemáticos en movimiento y recaptado por la sonda (a la vez emisora y receptora), pero con una frecuencia F'.

La frecuencia de ultrasonido retro-disperso se desplaza en grado proporcional a la velocidad del flujo sanguíneo. El ultrasonido reflejado es recibido por un segundo cristal, que es detectado y amplificado por el instrumento en forma de señal acústica o de análogo ondular registrable. La diferencia de F - F' constituye el efecto Doppler, que es proporcional a la velocidad del móvil y al coseno del ángulo formado por el haz y el móvil:

$$AF = F - F' = F \frac{2v \cdot X \cos \theta}{c}$$

V: velocidad del móvil, y c: propagación del sonido en el medio (1.500 m/s en el tejido).

La desviación de la frecuencia es, pues, proporcional a la del flujo sanguíneo, y ello es debido a que podemos mantener constantes la frecuencia transmisora, la velocidad del sonido en el tejido y el ángulo de incidencia.

Las frecuencias oscilatorias de estos instrumentos Doppler transcutáneos alcanzan de 5 a 10 MHz. Una frecuencia operante más baja (5 MHz) proporciona mayor penetración y es adecuada para la investigación de estructuras profundas, tales como el flujo de los vasos ilíacos, las venas cavas y/o aorta.

Las formas operantes elevadas tienen una penetración menos profunda, con un foco más agudo, y están indicadas para la detección de la velocidad de la sangre en los vasos de las extremidades, del cuello y de la cabeza.

Tipos de Doppler

Entre los aparatos de ultrasonidos, basados en el efecto Doppler, hemos de distinguir:

No direccionales

Estos aparatos están provistos de un transductor cuya frecuencia es de 8 MHz, que nos permite obtener una amplia información sobre los siguientes aspectos arteriales o venosos:

Arteriales

- Determinación de la presión sistólica.
- Permeabilidad de diferentes arterias de localización superficial.
- Determinación del índice de Yao.
- Localización de obliteraciones y/o estenosis.

Venosos

- Detección de la suficiencia o insuficiencia valvular del sistema venoso superficial.
- Detección de la suficiencia o insuficiencia valvular del sistema venoso profundo.
- Estado de la permeabilidad del sistema venoso profundo.
- Determinación de la presión venosa.

Bidireccionales

Los aparatos bidireccionales, independientemente de su facultad de discriminar la dirección del flujo con respecto al transductor (anterógrado: desplazamiento positivo, y retrógrado: desplazamiento negativo), lo registran en una gráfica en uno o dos canales; estos equipos pueden determinar adicionalmente la velocidad del flujo en cada dirección, así como registrarlos por separado.

Técnica

Todo aparato está provisto de uno o dos transductores, bien sea no direccional o bidireccional, en forma de lápiz, que debe aplicarse sobre la piel, interponiendo entre ambos un gel que favorezca la conducción. La

sonda debe aplicarse sobre el vaso a explorar, de tal forma que entre ella y el vaso formen un ángulo de 45° (Figura 1).

Auscultación

La experiencia permite distinguir ciertas alteraciones en la señal acústica obtenida a través de los equipos Doppler (tonos agudos corresponden a flujo rápido, tonos graves corresponden a flujo lento y ausencia de señal significa ausencia de flujo), tales como las aceleraciones de la velocidad de la sangre a través de un vaso, la existencia de turbulencias a nivel de las bifurcaciones, la presencia o ausencia de los accidentes sistólicos o diastólicos, la presencia de flujos continuos, las alteraciones en el ritmo y la ausencia total del flujo por una obstrucción del vaso. Asimismo, las diferencias existentes entre flujo arterial y venoso, que en el primero tiene un característico tono pulsátil y en el segundo produce un ruido parecido a un vendaval.

Registro de la curva de velocidad

Según el grado de resistencia periférica de la arteria a explorar, la curva de velocidad varía en cada caso; por tanto, cuando existe un estrechamiento o una obstrucción del vaso, la amplitud y morfología de la onda se verá alterada.

Determinación de la presión sistólica

Independientemente de la medición de la presión sistólica realizada de forma similar a la convencional, con ayuda de un esfigmomanómetro y sustituyendo el fonendoscopio por el transductor Doppler, la determinación de la presión sistólica a diferentes niveles de una extremidad es de suma importancia en el diagnóstico de las arteriopatías: presiones parciales, índice de Yao y prueba de esfuerzo de Strandness.

Dirección del flujo

Mediante el uso del Doppler bidireccional se puede determinar la dirección del flujo sanguíneo en diversos territorios vasculares, principalmente en lo que respecta a las alteraciones hemodinámicas de la circulación cerebral.

Aplicación del Doppler no direccional en las arteriopatías de las extremidades

Es importante reseñar esta técnica, ya que en ocasiones debemos descartar una patología isquémica arterial coexistente con una insuficiencia venosa.

Determinación del flujo en arterias distales

En los miembros superiores, arterias radial y cubital, y en los miembros inferiores, arterias pedia y tibial posterior.

Dado que la valoración se ha de llevar a cabo de una manera audible, hemos de distinguir los siguientes grados: pulsos palpables; accidentes sistólicos y diastólicos, con pulsos no palpables; flujo continuo, sin accidentes sistólico-diastólicos, y ausencia de flujo.

Determinación de la presión sistólica

Mediante la colocación de un manguito de presión a nivel del tobillo y aplicando la sonda del aparato Doppler en una arteria distal (pedia o tibial posterior), se insufla el manguito hasta que desaparezca el sonido del paso de la sangre a través de la arteria. Se desinfla lentamente hasta que reaparezca de nuevo el sonido. La lectura del esfigmomanómetro nos dará el valor de la presión sistólica en mmHg. Presiones sistólicas en tobillos inferiores a 40 mmHg suelen coincidir con arteriopatías de grados III o IV de Leriche y Fontaine.

Índice de Yao

Los valores de la presión sistólica a nivel del tobillo se pueden comparar con los obtenidos en la extremidad superior.

La relación entre ambos valores recibe el nombre de índice de Yao o índice tobillo/brazo. En los sujetos normales este índice es de 1 o algo superior. A medida que disminuye es mayor el grado de isquemia del miembro, de tal manera que con cifras inferiores a 0,2 se desaconseja la cirugía arterial directa. (Normal: 1; claudicación: 0,5; dolor en reposo: 0,2 o inferior, y reflujo aceptable: entre 0,4-0,5).

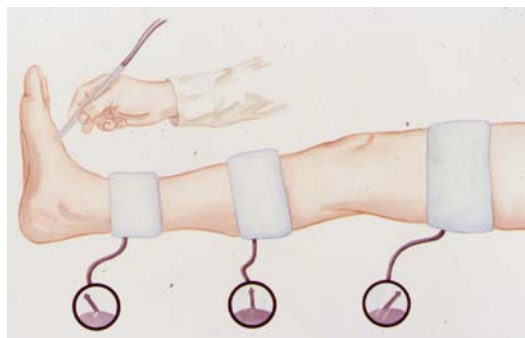
Presiones parciales

Siguiendo la misma técnica que para la determinación de la presión sistólica, se pueden obtener los gradientes de presión entre dos o más niveles de una extremidad. Caídas de la presión superiores a 20 mmHg se consideran patológicas.

Prueba de esfuerzo de Strandness

Se lleva a cabo inmediatamente después de la medición del perímetro de la marcha en un claudicómetro, en el momento en que aparece la claudicación y en caso de que ésta no se presentara después de 500 m de marcha. La velocidad que generalmente se imprime al aparato es de 6 km/hora con una pendiente de 10-15%.

Figura 1.
Aplicación del método Doppler en la valoración arterial de la extremidad



Se mide la presión a nivel del tobillo cada minuto, durante 10 minutos. Dependiendo de la recuperación de la presión inicial de reposo, consideraremos cuatro tipos de curvas:

- Tipo I: recuperación inmediata de la presión inicial.
- Tipo II: recuperación dentro de los cinco primeros minutos.
- Tipo III: recuperación entre cinco y diez minutos.
- Tipo IV: ausencia de recuperación de la presión.

Aplicación del Doppler venoso

Los ultrasonidos Doppler permiten la rápida evaluación cualitativa de la dinámica venosa normal o alterada.

En contraste con el reconocimiento del sistema arterial, en el que el objetivo primordial es esencialmente identificar la presencia o ausencia de obstrucción, la diagnosis no invasiva de enfermedad venosa se hace más difícil por la alta incidencia de insuficiencia valvular acompañada de enfermedad obstructiva venosa. Es por ello que la auscultación Doppler de venas se hace más atractiva y exige mucha experiencia y entrenamiento.

Un conocimiento de la anatomía y fisiología del sistema venoso es esencial en cada método diagnóstico, pero es aún más importante para emplear con éxito el procedimiento *Doppler venoso* y también para su interpretación.

La no invasividad, el bajo coste y las posibilidades de repetición, cuantas veces sean precisas, hacen de esta técnica un método muy apropiado para la evaluación hemodinámica en busca de señales de permeabilidad y suficiencia valvular del sistema venoso. Somos conscientes de que tiene más protagonismo en el territorio distal al ligamento crural y, sobre todo, en el capítulo de la enfermedad tromboembólica venosa; es por ello que nos vanos a referir al Doppler venoso de los miembros inferiores.

Rasgos anatomofuncionales

Hay grandes diferencias entre los sistemas arterial y venoso. Las venas tienen una presión significativamente más baja (sistema de baja presión) y se colapsan, pero el rasgo más llamativo que influye en el procedimiento de diagnóstico es la presencia de válvulas, las cuales están situadas inmediatamente

debajo del punto de entrada de las tributarias mayores. El número de válvulas aumenta hacia la región acromélica, aparentemente en respuesta al crecimiento de presión hidrostática. Las válvulas en las venas perforantes tienen un interés clínico especial: orientan el sentido de la corriente sanguínea y su incontinencia conduce a invertir la circulación de la sangre (del sistema profundo hacia el superficial), pudiendo ello ser detectado fácilmente por el examen con *Doppler venoso*.

Las peculiaridades estructurales y funcionales del sistema venoso son: paredes delgadas y presión intramural baja; sistema venoso superficial, perforante y profundo con válvulas; efecto hidrostático (postural); elasticidad y dilatabilidad; efecto de la respiración; efecto valvular sobre la circulación y presión, y bomba muscular.

La combinación de estos rasgos estructurales y funcionales tan singulares produce algunas dificultades de diagnóstico, pero, por otra parte, representa la base para algunas pruebas diagnósticas en el sistema venoso de los miembros inferiores.

Técnica

Examen con Doppler de velocidad venosa

El paciente deberá estar relajado y preferiblemente cubierto con una toalla o manta por lo menos quince minutos antes del examen. La vasoconstricción venosa puede reducir las señales Doppler, especialmente en la vena tibial posterior. El paciente debe colocarse en decúbito supino, con algo de rotación externa del miembro inferior a explorar y la rodilla ligeramente doblada. Cuando la extremidad inferior está extendida o sobreextendida la vena poplítea se puede bloquear (colapsar), causando de este modo resultados engañosos (falsos positivos).

Se consigue una buena conductividad acústica aplicando gelatina ultrasónica. En las venas profundas hay que emplear una presión mínima, pero es importante resaltar que no se debe usar ninguna presión al estudiar el sistema venoso superficial. Una vez se obtenga una señal de velocidad en la vena, es conveniente levantar la sonda suavemente para asegurar la ausencia de aire atrapado entre la piel y la sonda. Esta maniobra evita la compresión de las venas más superficiales.

La sonda con la señal captada se moviliza de izquierda a derecha y de derecha a izquierda hasta obtener

la señal más fuerte. Entonces se cambia el ángulo con el fin de obtener la máxima respuesta, siendo un ángulo de 45° el óptimo, a excepción de la vena poplítea que, por sus peculiaridades anatómicas, proporciona el mejor resultado con una incidencia de 90°.

Se debe orientar el extremo de la sonda en dirección a la cabeza del paciente, con lo que el flujo sanguíneo seguirá el mismo sentido de las ondas ultrasónicas, con un ángulo aproximado de 40 a 60°.

Se puede verificar la permeabilidad de los troncos venosos profundos siguiendo sus trayectos desde el extremo distal del miembro hasta su raíz; la auscultación de un sonido venoso normal permite asegurar un buen flujo sanguíneo venoso. Pero esta sistemática exploratoria es larga y la auscultación puede ser dificultosa en ciertos puntos por sus peculiaridades anatómicas o a causa de la obesidad.

Es suficiente la auscultación sistemática de siete puntos críticos:

- la vena ilíaca por encima de la arcada crural;
- la vena femoral común en el triángulo de Scarpa;
- la vena femoral superficial en el canal de Hunter;
- la vena poplítea en el hueco poplíteo;
- las venas tibiales posteriores en la pantorrilla;
- las venas tibiales posteriores en el tobillo;
- las pedias en el dorso del pie.

Es preciso asegurarse de que la sonda está rígida sobre la vena adecuada. Para ello, una vez situada en el territorio correcto, se localizará la señal correspondiente y a continuación bastará un pequeño desplazamiento para obtener el registro de la vena deseada. Si persiste alguna duda sobre la correcta situación de la sonda, es posible seguir el trayecto del vaso proximal o distalmente.

Insuficiencia valvular superficial y profunda

La safena interna a nivel del cóndilo interno de la rodilla no produce normalmente ninguna señal de flujo, a no ser en los pacientes varicosos, con un discreto sonido, y en presencia de procesos inflamatorios importantes. Cuando la safena interna es varicosa, a este nivel se obtiene un sonido característico de torbellino. Ante una safena permeable, en caso de obliteración de la vena femoral superficial, el sonido respiratorio de la vena safena es frecuentemente audible a una gran distancia.

Para la exploración del confluente safenofemoral, la sonda se coloca en el pliegue inguinal y, con el pa-

ciente situado en posición ortostática, se practican maniobras de Valsalva y/o de compresión manual en la pantorrilla (Figura 2).

En condiciones normales no se aprecia flujo con la maniobra de Valsalva ni al soltar bruscamente la compresión de la pantorrilla. Cuando existe incompetencia valvular, sea por agenesia o por destrucción trombótica, se aprecia un flujo intenso y de larga duración (de 1 a 4 segundos). La existencia de un pequeño sonido (menor de 0,5 segundos) en sentido centrípeto puede hallarse en una extremidad normal y no debe ser valorada.

Si el reflujo intenso existe, debe repetirse la maniobra de compresión de la pantorrilla (o muslo), pero ocluyendo simultáneamente, con la ayuda de otra persona, la safena interna unos 10 cm por debajo de su cayado. Si al cesar bruscamente la compresión no se aprecia reflujo, nos hallaremos ante una insuficiencia venosa superficial con competencia valvular del sistema venoso profundo. Por el contrario, si el reflujo persiste estamos ante una incontinencia valvular de dicho sistema.

La misma sistemática exploratoria puede seguirse para valorar la insuficiencia a nivel de la vena poplítea y del cayado de la safena externa o confluente safenopoplítea.

Con la sonda colocada en el hueco poplíteo, y tras haber localizado correctamente la vena safena externa, se efectúan maniobras de compresión de la pantorrilla, apreciándose la señal del flujo o su ausencia. En el caso de que exista reflujo, se comprime la safena externa por debajo de la sonda, del modo descrito anteriormente. Si el reflujo desaparece nos indica una competencia valvular profunda e insuficiencia de la safena externa. Si persiste, se confirmará la insuficiencia venosa poplítea y distal.

Insuficiencia de las perforantes

Con el paciente en posición ortostática valoramos la competencia valvular de las perforantes entre el sistema venoso superficial y profundo.

Se corre mediante la sonda Doppler el territorio del sistema venoso superficial en el que existen perforantes. Por encima de la misma, un ayudante comprime suavemente con el dedo el sistema superficial impidiendo el reflujo. Al pasar sobre una perforante insuficiente se apreciará la existencia de un reflujo intenso y continuo que nos permitirá localizar con exactitud la ubicación de la misma.

Para la localización regional de dichas perforantes, puede efectuarse el test de los torniquetes con ayu-

da de la sonda Doppler. Dicho test consiste en la colocación del paciente en decúbito supino y la de dos torniquetes en un segmento de la extremidad, para producir una presión suficientemente elevada, cohibiendo así la circulación venosa superficial, pero no la circulación venosa profunda ni la arteria

En cada uno de los puntos del segmento estudiado, haciendo un «barrido» sobre dicha zona, se realizan compresiones en el pie y por debajo de la pantorrilla. El incremento de la presión venosa profunda y del flujo da como resultando una eyección de sangre a través de las venas perforantes incompetentes.

Al cesar la compresión, se aprecia un flujo de drenaje del sistema venoso superficial hacia el profundo. Si colocamos la sonda Doppler en un plano perpendicular, el registro en un punto de un sonido bifásico nos indica que a este nivel existe una perforante insuficiente.

Una modificación a este método es el estudio en ortostatismo para evidenciar mejor la estasis venulo-capilar de la circulación superficial, cuya repercusión en el sufrimiento histioangeico de la unidad microcirculatoria terminal va a tener una trascendencia capital.

Colocando la sonda sobre una ectasia venosa, con la otra mano se efectúa una breve pero fuerte compresión sobre la musculatura distal. Esta maniobra induce una aceleración del flujo, que se traduce por un sonido rápido.

Cuando la compresión cesa, aparece una señal de flujo, absolutamente particular, caracterizada por un «rumor en cascada» de unos segundos de duración, y que con lentitud se va debilitando en una larga «cola acústica», lo que se reproduce en cada maniobra de compresión de forma exacta.

Determinación de la presión venosa

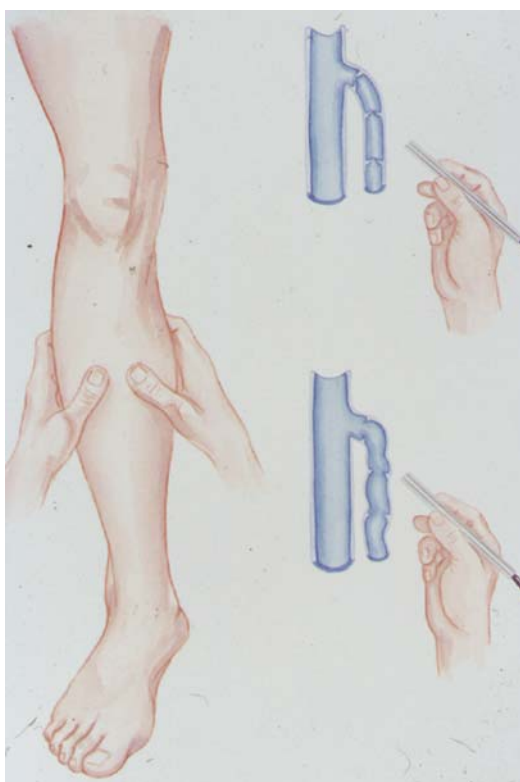
La técnica se realiza con un esfigmomanómetro colocado en el tobillo, realizando las determinaciones sobre la safena interna y la tibial posterior.

Como cifras normales medias, se admiten 16 mmHg en clinostatismo y 54 mmHg en ortostatismo.

Esta determinación es de gran importancia sobre todo en el diagnóstico del síndrome posflebítico, en donde, por supuesto, la presión venosa está aumentada.

Aplicación del Doppler en manos y pies

En las manos y los pies podemos medir: arcadas palmares y plantares (permeabilidad, dirección del flujo, dependencia y predominancia); arterias de los



*Figura 2.
Doppler venoso.
Exploración confluyente
safenofemoral*

pulpejos de los dedos, y presión arterial digital, con un manguito de unos 2 cm de ancho y que tenga una longitud de 1,5 cm.

El Doppler, a pesar de ser un excelente método diagnóstico en patología vascular, tiene grandes limitaciones a la hora de valorar la microcirculación, por lo que necesita el complemento de otras técnicas más específicas. Hay que tener en cuenta que el 50-75% del flujo microcirculatorio, a nivel cutáneo, está dedicado a la termorregulación, mientras que el 25-50% restante participa activamente en los procesos metabólicos. Esto explica, por ejemplo, que pueda existir isquemia tisular, aunque el flujo esté conservado. En estos casos hay un predominio del flujo a través de las anastomosis arteriovenosas sobre el flujo metabólico, como puede ocurrir en la diabetes mellitus, en la algiodistrofia, etc.

Esto es muy importante para el explorador, porque ha de tener en cuenta qué es lo que busca para utilizar así el método más adecuado en cada caso. El Doppler ha sido muy válido para la valoración hemodinámica de los grandes troncos arteriales y venosos, cuyas patologías no dejan indiferente a la microcirculación, que es, a la vez, su punto de partida y su término.

Cuando perseguimos conocer el flujo sanguíneo del circuito derivativo directo (vía anastomótica arteriovenosa) y/o del circuito metabólico, es mejor utilizar el láser-Doppler.

Láser-doppler

El término *láser* lo conforman unas siglas que se refieren a *Light Activation by Stimulated Emission of Radiation*. Esta técnica combina el efecto Doppler-Fizeau con el láser. Principio: cuando la luz se encuentra en un objeto móvil, varía su frecuencia proporcionalmente a la velocidad del objeto. Permite apreciar:

- Flujo cutáneo normal.
- Variaciones del flujo cutáneo en función de las variaciones de la microcirculación.
- Variaciones del flujo cutáneo ante diferentes factores que incluyen en dicho flujo, como ocurre en los aumentos secundarios a hiperemia posisquémica, simpatectomía, hipertermia, vasodilatadores, etc., o a la disminución por frío, fármacos, tabaco, compresión del eje arterial por el manguito neumático, etc.

Ello permite realizar algunas pruebas complementarias, utilizando alguno de los factores antes citados. Es una técnica valiosa para el estudio de la microcirculación. Sin embargo, tiene sus limitaciones.

Dada la gran especificidad que este método tiene para captar los objetos en movimiento, hay que tener presente que la señal recogida no sólo corresponde a los glóbulos rojos, sino también al resto de células sanguíneas. Por eso, en algunas patologías, como puede ocurrir en las leucemias, trombocitopenias, etc., los datos aportados: no se corresponden con lo que ocurre realmente a nivel de la microcirculación. En los resultados de esta técnica influyen, directamente, la cantidad y variaciones de la sangre en un determinado territorio.

Por otro lado, y dada la gran sensibilidad del láser-Doppler, las características de la piel tienen mucha importancia y pueden artefactar los resultados: cicatrices, callosidades, etc.

Es una técnica que no tiene parámetros estandarizados, por lo que los resultados son muy dispares, dependiendo de los diferentes exploradores. Por todo ello, hay que familiarizarse con su uso antes de tomar como definitivos los hallazgos obtenidos.

A pesar de estos inconvenientes, el láser-Doppler es un método de exploración de la microcirculación, pudiendo apreciarse con él el estado del lecho vascular subpapilar, donde se localizan las dos vías de la unidad microcirculatoria terminal. En definitiva, es uno de los métodos más fiables, completos y de bajo coste y que, por supuesto, exige un buen manejo del mismo.

Métodos pletismográficos

Los métodos pletismográficos se basan en la detección y cuantificación de los cambios de volumen de la extremidad, en respuesta a la actividad respiratoria o a la compresión venosa proximal temporal con un manguito de oclusión.

De acuerdo con el método utilizado, los pletismógrafos pueden ser:

- Pletismógrafo de aire.
- Pletismógrafo de anillos de mercurio (*strain gauge*).
- Pletismógrafo de agua.
- Pletismógrafo de impedancia.
- Pletismógrafo de célula fotoeléctrica.

Se trata de un test fisiológico que puede ser influido por una serie de factores: el estado del flujo arterial del miembro, el tono venoso y la presión venosa central, los cuales deben ser considerados a la hora de evaluar los resultados. Estas técnicas permiten cuantificar los parámetros de capacitancia venosa (VC) y máximo flujo venoso de salida (MVO) de la extremidad en estudio.

Los métodos más utilizados en la actualidad son la pletismografía venosa por oclusión con anillos de mercurio (*strain gauge*) y por impedancia.

Principio de acción

La pletismografía por aire y el *strain gauge* basa sus determinaciones en la modificación que se registra en el perímetro máximo de la pierna cuando se obstruye, el retorno venoso mediante un manguito ocluyente emplazado en la zona proximal del muslo, mantenido a una presión de 60-70 mmHg (Figura 3).

Cuando se utilizan los anillos de mercurio, el incremento de volumen en la extremidad se registra en forma de aumento de resistencia (R) al paso de la corriente eléctrica por el interior de unos finos arcos de "silastic" que contienen una aleación altamente

conductora a base de indio y galio y que se emplazan previamente a nivel de la pantorrilla.

$$dR = 2 \cdot dL$$

Pequeñas variaciones de volumen (dV), para un segmento circular del miembro, van a repercutir sobre el radio (r) del sector:

$$dV = 2 \cdot dr$$

Sabiendo que el perímetro de la circunferencia es en función del radio de la misma, en la primera ecuación, dL puede sustituirse por $d(2\pi r)$:

$$dR = 2 \cdot d(\pi r)$$

De donde se concluye que las variaciones de resistencia eléctricas en el interior del anillo de registro van a depender estrechamente de la modificación del radio:

$$dR = 4 \cdot d\pi r$$

El estudio contrastado del perfil de ambas curvas ha permitido obtener conclusiones sobre el estado circulatorio de los segmentos venosos.

Una reducción en la curva de máximo volumen de capacitancia por debajo de ciertos valores indica una obliteración de los segmentos venosos de la pierna.

Un alargamiento de la curva de drenaje (MVO) orienta sobre una dificultad de vaciado por obliteración de segmentos proximales.

Finalmente, una afectación de ambos componentes orienta sobre una obliteración masiva de ambos sectores.

Para los valores de referencia siempre es ineludible realizar dos determinaciones sucesivas y utilizar comparativamente el registro de la extremidad contralateral.

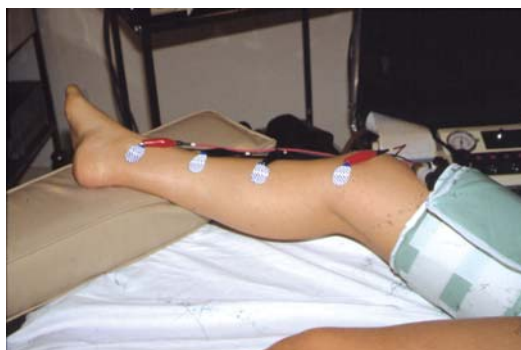
Como factores distorsionadores cabe mencionar la existencia de una insuficiencia cardíaca derecha y la escasa relajación del paciente durante la exploración.

Las técnicas descritas se emplean básicamente en el despistaje de la trombosis venosa de los miembros inferiores y para valorar la reducción de capacitancia en la evolución de la secuela posflebítica.

Para el estudio y valoración de la insuficiencia venosa valvular, ya sea profunda o superficial, funcional o postrombótica, es más útil emplear la pletismografía basada en la célula fotoeléctrica.

Pletismografía fotoeléctrica

Este sistema no mide los cambios de volumen, sino que detecta los cambios en el contenido sanguíneo de la piel a través de la reflexión de un haz de luz. Si



*Figura 3.
Pletismografía:
disposición del manguito
de oclusión y del sistema
de medida en la
pletismografía de
impedancia*

bien no deberíamos incluirla en el apartado de los métodos pletismográficos, su denominación está mundialmente aceptada.

La fotopletismografía está formada por un transductor constituido a su vez por dos elementos: un fotoemisor de luz infrarroja, que se sitúa encima de la piel de la zona a examinar, y un fotodetector, contiguo al primero que recoge la luz del mismo una vez reflejada. La señal obtenida es amplificada y registrada sobre papel o monitor. La profundidad de penetración de la luz infrarroja es de hasta 3 mm y permite conocer la velocidad de llenado de los plexos venosos a este nivel. Para ello se provoca un vaciado de los mismos mediante un ejercicio muscular de dorsoflexión del pie con el miembro inferior elevado unos 45° sobre la horizontal, traduciéndose en un gráfico oscilante de vaciado. A continuación, se coloca la extremidad en posición horizontal y se mide el intervalo de tiempo en que los plexos vuelven a llenarse (tiempo de recuperación) Si ello se produce a través de la unidad microcirculatoria terminal (arteriola-capilar-vénula), el tiempo de recuperación nunca es inferior a los 22-24 segundos en circunstancias normales con sistema arterial de aporte indemne. Pero si existe una insuficiencia venosa valvular, el llenado se produce por vía retrógrada, es decir, a contracorriente y con un intervalo inferior, de unos 3 a 5 segundos.

La aplicación de un manguito de oclusión a bajas presiones por encima del transductor para obliterar el sistema venoso superficial nos servirá para distinguir la etiología, superficial o profunda, de la insuficiencia venosa. Un segundo manguito situado por debajo nos confirma el grado de competencia valvular a nivel de las venas perforantes.

Termografía

Método cualitativo basado en la detección de cambios de la temperatura local a nivel de las extremidades.

La temperatura cutánea traduce en primer término las condiciones de irrigación local de los plexos arteriolares y, en menor grado, la de las redes venulas subcutáneas.

Depende del grosor del panículo adiposo, dado que éste es un mal conductor del calor, y del punto del cuerpo a determinar, ya que no todos los puntos del cuerpo se sitúan a la misma temperatura.

De las diversas técnicas de medición de la temperatura cutánea, cabe mencionar dos de ellas, a saber: la de contacto directo y la de emisión cutánea de rayos infrarrojos.

Métodos de contacto directo

Termómetro cutáneo

Esta técnica presenta algunos inconvenientes, pues su medio de aplicación podría modificar los intercambios térmicos o los puntos de contacto, aparte de la posibilidad de que el captador quede sometido a las condiciones ambiente y, por lo tanto, no refleje exactamente las condiciones cutáneas.

La temperatura cutánea media y el balance térmico de la producción y pérdida del calor son determinados con arreglo a cierto número de puntos escogidos en el cutis. En el pie: 15 puntos de medición, en tanto que en las piernas son suficientes 5 puntos.

Termografía por cristales líquidos

Derivados del colesterol -cristal líquido de ésteres de colesterol-, estos cristales tienen la propiedad de modificar su color y estructuras bajo los efectos de las variaciones térmicas. Los cristales se colocan directamente sobre la piel o por medio de una placa flexible. A cada tipo de cristal corresponde un color determinado, y éste, a su vez, se correlaciona con una gama de temperatura. El método adolece de cierta imprecisión.

Emisión cutánea de rayos infrarrojos

Termografía infrarroja

Se fundamenta en el principio de la captación de la irradiación que emite la piel, en función de la ley de Stefan Boltzman, según la cual todo cuerpo emite irradiaciones infrarrojas (CIR) con arreglo a su coeficiente de capacidad de irradiación y su propia temperatura (T).

La irradiación energética es captada por un sistema óptico y se transforma en energía eléctrica

por medio de un aparato que, gracias a un sistema de exploración análogo al de una cámara de televisión, analiza cada punto de la imagen infrarroja. Por medio de una selección de los referidos puntos y de la interposición de filtros de distintos colores, es posible obtener imágenes de la topografía térmica. La comparación entre el color y la temperatura cutánea -que constituye el binomio cromotérmico- traduce la repartición de los volúmenes sanguíneos a nivel de la microcirculación: arteriolas, capilares y vénulas, cuya expresión varía con arreglo al entorno. A esto se asocia un examen que aún forma parte de las exploraciones funcionales no invasivas de la microcirculación: la capilaroscopia.

La termografía se utiliza fundamentalmente a nivel de las piernas y los pies, donde existe un volumen tisular pequeño, una superficie amplia y un gran contenido en sangre. En general, se trata de un método orientativo, nunca de un método diagnóstico por sí mismo. Sus principales aplicaciones en los trastornos venosos de los miembros inferiores son: enfermedad tromboembólica venosa (ETE), varices y control del tratamiento con flebotónicos en la insuficiencia venosa crónica.

Capilaroscopia

La capilaroscopia es un método simple que permite estudiar *in vivo* y de manera no traumática la microcirculación superficial. Los capilares pueden ser visualizados directamente a diferentes niveles: lecho ungueal, conjuntiva ocular, pómulos y borde y punta de la lengua.

El lugar a observar está en función de la patología sospechada o a estudiar. Por ejemplo, en la conjuntiva ocular permite sospechar la existencia de un terreno diabético; en la lengua los síndromes de Rendu-Osler-Weber y de Behçet y al final de la evolución de las colagenosis; en el lecho ungueal se descubre la mayoría de los acrosíndromes vasculares (acrocianosis, fenómeno de Raynaud, eritromelalgia, etc.) y las colagenosis, así como ciertas vasculitis y arteritis.

Desde el punto de vista angiológico, lo que interesa es la *capilaroscopia periungueal*. Esta técnica posee una serie de ventajas: permite la visualización directa del capilar, a nivel del lecho vascular papilar; es una prueba de muy bajo coste y no invasiva, pudiéndose repetir cuantas veces se crea oportuno; evidencia los cambios morfológicos que se producen en los capilares, permitiendo así una serie de clasifi-

caciones, según las diferentes patologías que se examinen.

Historia

Marcello Malpighi descubrió (1661) el capilar en la rana; pocos años después Boerhaave (1668-1738) fue probablemente el primero en estudiar *in vivo* la microcirculación del hombre a nivel de la conjuntiva, describiendo en particular la agregación intravascular de los glóbulos rojos.

En 1823, Purkinje observó los capilares cutáneos con la ayuda de una lupa. En 1874, Hueter inventó la capilaroscopia del labio inferior. Pero es en 1911 cuando Lombard emplea por primera vez la capilaroscopia cutánea en el hombre. Aplicó, para ello, el aceite de vaselina sobre la piel, del cual Unna, ya en 1891, había demostrado que hacía la epidermis transparente a la luz. Lombard (1912), por sus observaciones microscópicas, remarca también la disposición particular de los capilares del repliegue supraungueal. Fue, sin duda, el primero en practicar la capilaroscopia periungueal.

El *capilaroscopia* es un microscopio óptico, cuya óptica puede dar aumentos de 50 a 200 veces; en general se emplean las lentes de 50 para la piel compacta y las de 100 para el limbo cutáneo periungueal. Dicha óptica se mantiene separada 2 cm, entre el dedo a estudiar y la lente, debiéndose proteger esta última de los movimientos intempestivos del sujeto examinado.

La iluminación se hace con un haz lateral frío, con el fin de no provocar una vasodilatación o una hipersudoración artificial. El haz luminoso tiene una incidencia del 45 % en relación con la superficie cutánea. La incorporación de una cámara fotográfica y un flash electrónico unidos, anexos uno a la columna óptica y el otro al dispositivo de alumbrado, respectivamente, permiten obtener interesantes documentos iconográficos.

La *posición* del paciente es importante, dado que la zona examinada debe estar inmóvil. Para los dedos de la mano, en general, el paciente debe estar sentado con la mano a la altura del corazón.

Para los dedos del pie la situación es más delicada: se puede estudiar con el enfermo sentado sobre una silla en alto (Fagrell) o en decúbito dorsal con las piernas medio plegadas para que los pies reposen en plano horizontal.

La *preparación de la superficie cutánea* requiere la aplicación de aceite de cedro, a modo de una fina

capa para evitar una rápida desecación. Otro sustitutivo es el aceite de vaselina.

Dirección del examen

En el examen capilaroscópico debe seguirse una sistemática que, a nuestro entender, se esquematiza en:

- la morfología y el número de capilares,
- su funcionamiento,
- las venas subcapilares,
- el plexo arteriolar subpapilar,
- el fondo pericapilar,
- el halo,
- las hemorragias pericapilares.

En la capilaroscopia periungueal es fundamental examinar los diez dedos en búsqueda de las anomalías morfológicas que pueden ser focales y escapar a la exploración de uno o dos dedos.

A nivel del pie iniciamos el examen por el primer dedo; por lo general, éste es el más accesible al examen. En los miembros superiores, si bien empezamos por el pulgar, es el anular el que aporta mayor información por estar relativamente protegido de los traumatismos, y la morfología de los capilares en él son, por ello, más fácilmente visibles (Figura 4).

En la interpretación de la capilaroscopia debemos tener presente que «si bien ciertos cuadros son suficientemente típicos como para hacer un diagnóstico a simple vista, el análisis minucioso de los diferentes elementos que componen este cuadro es siempre indispensable, aunque no sea más que para permitir posteriores comparaciones y apreciar la evolución de los fenómenos microcirculatorios» (Franco-Carpentier).

Se inicia el estudio por la *morfología del bucle capilar*, siendo el bucle en horquilla el más frecuente y



Figura 4.
Capilaroscopia del lecho ungueal, con estasis venulocapilar por insuficiencia venosa crónica

más representativo en el adulto sano (40%) Sus dos ramas, ascendente y descendente, rectilíneas y de diámetro regular, son paralelas entre ellas y al eje del dedo, y se sitúan en un plano paralelo a la superficie cutánea. La primera fila de asas capilares es la mejor para el estudio morfológico. En el bucle deben valorarse: las sinuosidades, variaciones de calibre, longitud del asa, presencia de megadolicocapilares, formas en pelotones glomerulares, ramificaciones, etc.

En la *observación* del flujo *sanguíneo* debemos fijarnos durante bastante tiempo en el grupo: de capilares, la forma de tránsito de la sangre y apreciar sus cualidades reológicas. Lo primero que llama la atención es la coloración de la columna sanguínea, siendo en los sujetos normales de color rojo vivo. Toda variación de color presupone un cambio en la velocidad circulatoria, siendo escarlata con el aumento del flujo y de tonalidad vinosa-púrpura en presencia de estasis.

A 100 aumentos, el flujo es habitualmente homogéneo. A mayores aumentos, en ocasiones el flujo es discontinuo e incluso puede apreciarse una agregación eritrocitaria que, de persistir, facilitaría fenómenos de trombosis capilar, si bien la observación de esto último es poco frecuente. La estasis capilar va unida por lo general a la estasis venulocapilar.

Venas subpapilares a nivel del reborde periungueal tienen, a menudo, trayecto arciforme, regular y paralelo al reborde dérmico. Las ramas capilares eferentes se disponen en ángulo recto y ofrecen un aspecto en candelabro. Su diámetro es, en el sujeto normal, del orden de 20 a 35 μ . Su color es siempre más oscuro que el del capilar: púrpura, violáceo, azulado. Las vénulas son uno de los factores más importantes en la coloración del fondo, de modo que por la coloración de este último se puede apreciar indirectamente la congestión venular.

El *plexo arteriolar subpapilar* es menos rico, más delgado y está situado a más profundidad que el plexo venular en la dermis, no siendo visible en el adulto.

El *fondo pericapilar* depende de la pigmentación epidérmica y de la repleción sanguínea de los vasos subcapilares. Si hay escasa pigmentación el color del fondo es rosado o anaranjado.

En presencia de estasis venulocapilar por insuficiencia venosa crónica (IVC), y sobre todo en la acrocianosis, el color es lila-púrpura. La hiperemia de la eritromelalgia lo intensifica y el tinte rosado se torna más vivo. Por contra, la hipoemia le da al fondo una palidez, como observamos en la fase sincopal del fenómeno de Raynaud.

Por *halo* entendemos el contorno capilar. Por lo general, en la papila dérmica esta franja, formada alrededor del capilar, es bien visible y adquiere una coloración amarillenta o parda.

La presencia de edema pericapilar intenso da una turbidez al halo. Esta especie de borrosidad es bien manifiesta en la esclerosis colágena de la esclerodermia y/o dermatomiositis.

Las *hemorragias pericapilares espontáneas* son pronóstico del grado evolutivo de una microangiopatía o de la severidad de los fenómenos vasoespásticos. Por lo general, afectan a la última fila de capilares, en su zona de reflexión que aparece a menudo modificada. Estas hemorragias son también frecuentes en las colagenosis y en las vasculitis.

Las *gotitas de sudor* forman una interfase con el aceite de cedro, por lo que son bien visibles en capilaroscopia.

Patología en la capilaroscopia

Las anomalías patológicas que podemos encontrar son:

Cuantitativas

- Disminución del número de asas.
- Aumento del número de asas.
- Verdadero desierto de capilares.

Cualitativas

- Megacapilares.
- Distrofias capilares.
- Dilatación de las asas, sin llegar a megacapilares.
- Telangiectasias.
- Asas filiformes.
- Capilares regresivos.
- Alargamiento de las asas.
- Microaneurismas.
- Neogénesis capilar.

Otras anomalías

- Hemorragias intracapilares.
- Edema intercapilar.
- Exudado intercapilar.
- Anomalías de la coloración del fondo.
- Estasis sanguínea.
- Etc.

Según los hallazgos patológicos, pueden realizarse diferentes clasificaciones. Desde un punto de vista práctico

vamos a enumerar las anomalías que podemos encontrar en la patología venosa de los miembros inferiores:

Insuficiencia venosa crónica

Síndrome de estasis venulocapilar:

- Asa capilar elongada.
- Vénula dilatada.
- Flujo de estasis.
- Halo de borrosidad en el entorno pericapilar.

Pero, además de la morfología, la capilaroscopia nos permite:

- Medir la presión capilar.
- Aprender el comportamiento hemorreológico de los hematíes.
- Medir la velocidad del flujo capilar.
- Grabación de las imágenes y posteriores observaciones.
- Determinar el efecto de algunos fármacos vasoactivos.
- Estudiar el comportamiento capilar bajo condiciones provocadas: pruebas con frío y calor, etc.

Como complemento a la capilaroscopia, Bollinger describió otra técnica complementaria: la *videomicroscopia con fluoresceína*. Este método es el mismo que el de la capilaroscopia, a la que se añade un vídeo y un ordenador-procesador de datos. Al paciente se le inyecta fluoresceína sódica, por lo que debe considerarse una técnica invasiva. Ello permite:

- Mejorar la calidad del contraste de imagen.
- Evidenciar y cuantificar morfológicamente estructuras que son difícilmente apreciables con la capilaroscopia convencional.
- Medir la difusión transcápilar por medio de la videodensimetría.
- Etiquetar los fenómenos dinámicos tales como la difusión capilar de pequeños solutos o permeabilidad macromolecular.

Se trata de una técnica muy válida, si bien no se halla exenta de complicaciones debidas a la inyección de fluoresceína, tratándose, por tanto, de una técnica invasiva.

PO₂ transcutánea

Historia

En 1851, el profesor Gerlach, de la *Royal Veterinarian School* de Berlín, observó en el hom-

bre, el caballo y el perro el intercambio de O₂ y CO₂ entre la piel y el aire ambiental. El nivel de intercambio aumentaba según se elevaba la temperatura ambiental, así como con el ejercicio.

Tuvieron que transcurrir cien años para que Baumberger y Goodfriend llevaran a cabo su experimento de intercambio de gases a través de la piel sumergiendo un dedo en una solución *buffer* de fosfato calentada a 45°C. La PO₂ de la solución fue medida polarográficamente. Para ambos la PO₂ de la solución se aproxima a la PO₂ arterial, manteniéndose en equilibrio con ésta. Dichos resultados fueron también confirmados en 1957 por Rooth y colaboradores, los cuales emplearon en sus mediciones electrodos de platino. Para Evans y Naylor, a temperatura normal la PO₂ de la piel es casi cero y aumenta tras la administración de drogas que causan hiperemia. Asimismo, el resultado de la lectura varía en diferentes sitios de la piel. Los registros más altos de la prueba se dan en los recién nacidos. En 1969, Huch y Lubbers demostraron que después de inducir la hiperemia mediante drogas, la PO₂ podía ser registrada en lugares muy selectivos de la piel de los recién nacidos utilizando electrodos especiales. Para ello desarrollaron un electrodo que inducía la hiperemia local aplicando calor a la zona mediante un termostato eléctrico. Estas publicaciones acerca de la PtcO₂ fueron el inicio del desarrollo de la medición transcutánea de oxígeno aplicada en el diagnóstico clínico.

Lectura de la PO₂ cutánea

Los análisis de la determinación de oxígeno transcutáneo indican que la PtcO₂ refleja el balance entre el aporte de oxígeno a la piel y el consumo cutáneo del mismo; es, pues, el balance final entre una serie de factores generales y locales que analizaremos más adelante.

El aumento de calor producido por el electrodo tiene una serie de efectos: dilata los capilares de la piel, aumenta la disociación de la oxihemoglobina, aumenta el aporte de oxígeno a la zona y el consumo local del mismo.

Todos estos efectos dan unos valores de PtcO₂ a nivel del tórax de un 80% de PO₂ en el adulto sano.

La medición de la PtcO₂, está claramente en dependencia con el transporte sistémico de oxígeno, que es producto del gasto cardíaco y del contenido de oxígeno arterial.

La relación entre la PtcO₂ de un miembro y el área de referencia (infraclavicular derecha) debe ser independiente de las variaciones en el aporte de oxí-

geno y refleja exactamente la relación entre el aporte y la demanda de oxígeno de la extremidad. Éste es el índice de perfusión regional (IPR). Con él se obvian toda una serie de influencias centrales en la medición de la PtcO₂.

Hay una serie de factores generales y locales que afectan la medición de la PtcO. Entre los factores locales hay que destacar: flujo sanguíneo local (densidad de capilares), consumo de O₂ local, condiciones locales de difusión, aumento de grosor de la piel, inflamación y edema.

Los factores sistémicos se pueden agrupar en los que afectan al contenido de oxígeno en la sangre arterial y aquellos que afectan al flujo sanguíneo. Los del primer grupo se ven condicionados por la ventilación y las propiedades de la hemoglobina. El otro factor sistémico, el flujo sanguíneo, depende del gasto cardíaco y de la distribución de la perfusión. Todos estos factores producen cambios similares con independencia de donde estén ubicados los electrodos, a excepción de la perfusión, que puede cambiar las lecturas obtenidas de la PtcO₂, dependiendo de que los sitios de aplicación de los electrodos sean zonas bien o mal perfundidas. Por ello, en función del tipo de patología a estudiar, aparecerá la correspondiente modificación en la PtcO₂. Se puede afirmar que la PtcO₂ es una variable que refleja la perfusión del tejido subyacente.

Oximetría transcutánea

La exploración se realiza en el laboratorio de exploraciones funcionales a una temperatura ambiental entre 21 y 24° C, con el paciente en decúbito supino sobre la camilla.

Se emplea un monitor para la lectura de la PO₂ transcutánea, unido a un módulo de calibración y a un registro gráfico. Los sensores deben ser aplicados cuidadosamente, ajustando la membrana de celofán-teflón con la precaución de eliminar las posibles burbujas de aire que distorsionan los resultados.

El elemento termistor que proporciona el calor alrededor del sensor se debe programar para una temperatura de 44-45°C, dejándolo al aire para que se estabilice durante 20 minutos antes de la prueba.

La calibración del monitor se efectúa cada día, utilizando la calibración al aire. Para ello disponemos de unas tablas en las que conociendo la presión barométrica y la temperatura podemos obtener la presión parcial de oxígeno ambiental (PO₂ = 140 mmHg). Otra posibilidad de calibración es el «cero absoluto», que se realiza sumergiendo el electrodo

en una solución de hiposulfito sódico (PO₂ = 0), empleando para ello la unidad de calibración que, junto con el registro gráfico, componen el sistema de oximetría transcutánea.

El sensor se aplica en tres niveles: el tórax, en la región infraclavicular derecha (toma de referencia); en los miembros superiores (dorso de las manos) y en los miembros inferiores (zona supramaleolar interna y/o dorso del pie)

Las determinaciones de los pies y/o manos reflejarían las presiones distales de oxígeno.

El sensor se aplica utilizando un gel de contacto, en la menor cantidad posible, para asegurar un mejor contacto piel-electrodo y se fija a la piel con unos anillos adhesivos de doble acción.

Una vez iniciada la medición, se aprecia una caída en la lectura de la tensión de oxígeno, que va subiendo progresivamente al irse produciendo la hiperemia cutánea por medio del calor. La lectura se hace estable entre los 15 y 20 minutos. La medición se inicia por el tórax, y posteriormente en la región acromioclavicular de las extremidades.

Este método sencillo y de bajo coste es útil como orientación del estado circulatorio a un determinado nivel. Entre sus limitaciones cabe citar: no refleja el estado de los capilares nutricionales y no tiene valor predictivo sobre la evolución de determinado cuadro clínico.

Si inhalando oxígeno se producen cambios en los valores obtenidos, es señal de la riqueza microcirculatoria al mismo nivel en que se realiza la exploración.

La PO₂ transcutánea en la insuficiencia venosa crónica con afección cutánea (dermatitis ocre, hipodermatitis inflamatoria esclerosada, dermatitis fibroesclerosada) evidencia una correlación entre el grado de lesión cutánea y los valores del índice PO₂, adquiriendo un valor pronóstico. Para ello, se determina la PO₂ transcutánea a 43 °C, a los 15 min y 20 min, en la región infraclavicular derecha y a nivel de la lesión cutánea que por lo general es supramaleolar interna.

De estos parámetros se obtiene un índice de

$$PO_2 = \frac{PO_2 \text{ lesión cutánea}}{PO_2 \text{ tórax}}$$

En la dermatitis ocre el índice se mantiene dentro de un rango de normalidad, con un índice promedio de 0,84 + 0,11. En la hipodermatitis inflamatoria esclerosada se observa un descenso del índice con un promedio de 0,61 + 0,08. En la dermatitis fibroescler-

rosa hay un descenso muy importante del índice, siendo el índice promedio de $0,45 + 0,08$. Los más bajos son aquellos que presentan úlceras múltiples o de repetición.

Ecografía

A pesar del escepticismo en su debut en los años 60, la ecografía y el ecoDoppler se han beneficiado de grandes progresos tecnológicos (escala de grises, tiempo real) que les permiten hoy en día tomar parte en las técnicas de exploración del sistema venoso de los miembros inferiores.

Técnica

Tipo de aparato

Se distinguen dos tipos de ecógrafos:

- MODO B: estático, que permite la realización de imágenes de buena calidad. Poco manejable, aumenta la duración del examen, limita el número de proyecciones y no permite el estudio dinámico de la pared vascular. Ha quedado en desuso.
- MODO B EN TIEMPO REAL: realiza hoy en día una iconografía próxima al MODO B. Su extrema manejabilidad en la elección de las proyecciones, su rapidez de puesta en marcha y los datos dinámicos que aporta, hacen que sea el aparato de elección en el estudio de la vena cava inferior y de sus ramas.
- La ecografía MODO B EN TIEMPO REAL acoplada al DOPPLER PULSADO permite asociar los datos morfológicos de la ecografía con los registros hemodinámicos del examen Doppler.

Frecuencia de emisión de los ultrasonidos de imágenes

La definición de las imágenes ecográficas está directamente en función de la frecuencia de emisión de la sonda utilizada. Cuanto más elevada es la frecuencia mejor es la definición de las imágenes, pero más débil es la penetración del haz de ultrasonidos en profundidad.

La frecuencia de las sondas a utilizar en función de la penetración del haz necesario para visualizar la vena cava inferior y sus tributarias viene dada en la Tabla 1. La apreciación directa de un trombo parietal es fácil si el vaso es superficial (vena femoral común), mientras que es más difícil si el vaso está

Frecuencia (Hmz)	Profundidad de exploración	Vaso a estudiar
3,5	12	Aurícula derecha Vena cava inferior Venas suprahepáticas, Venas renales y venas ilíacas (adultos)
5	6 cm	Idem en adultos delgados o en niños
7,5	4 cm	Venas ilíacas externas y venas femorales comunes
10	2 cm	Venas femorales superficiales y venas poplíteas

Tabla 1.
Frecuencia de las sondas a utilizar en función del segmento venoso explorado

en profundidad (vena ilíaca primitiva o vena cava inferior).

Medios de contraste

La ecografía no necesita habitualmente el empleo de medios de opacificación. A veces la inyección directa de suero fisiológico conteniendo las microburbujas de aire en una vena tributaria inferior del vaso estudiado permite realizar una verdadera opacificación vascular ecográfica. Esta ecografía de contraste, utilizada sobre todo en ecografía cardíaca, puede ser adaptada igualmente en ciertos casos de estudio del sistema venoso.

Si pensamos mejorar las imágenes ecográficas, se puede utilizar como medio de contraste: "polvo para dispersión de microburbujas para inyección", cuyo principio es bexafluoro sulfúrico. Cuando se mezcla con una solución de cloruro sódico 0,9% y se inyecta por v.e, forma una dispersión que contiene millones de pequeñas burbujas (microburbujas) de gas, bexafluoruro sulfúrico. Cada una de estas burbujas es más pequeña que un hematíe. Las burbujas actúan como reflector de la onda de ultrasonidos y proporcionan un mejor eco que el de los tejidos del cuerpo.

Imágenes elementales en ecografía

Se distinguen esquemáticamente tres tipos de imágenes ecográficas:

- Las imágenes an-ecogénicas (o vacías de eco, que corresponden a los líquidos).
- Las imágenes ecogénicas, que corresponden a las estructuras tisulares, a las colecciones organizadas (trombos, pus...), a los líquidos denominados impuros (conteniendo las partículas en suspensión: cristales de colesterol...) y a las micro-burbujas de aire (ecografía de contraste).

- La sombra acústica, debida a interrupción del haz de ultrasonidos por las estructuras de alta impedancia acústica, muy diferentes a las de las partes blandas. En la práctica se trata de aire, de las calcificaciones y de los materiales metálicos.

Aportaciones de la ecografía en comparación con otras técnicas de imágenes

Basada en el principio de la reflectividad tisular de los ultrasonidos, la ecografía es una técnica original, diferente de los otros métodos de imágenes radiológicas que se fundamentan en la absorción tisular de rayos X.

El examen ecográfico es indoloro, poco costoso, no irradiante. No precisa de inyección de ningún medio de contraste yodado. Puede repetirse tantas veces como sea necesario para seguir la evolución de un proceso patológico o precisar una región particular en función de la hipótesis diagnóstica o del bilan preoperatorio.

La ecografía es capaz de adaptar el plano de corte al eje de la estructura vascular estudiada, cualquiera que sea su orientación para obtener los cortes a la vez sagitales y transversales de un mismo vaso.

Ella permite el estudio simultáneo del vaso y de su entorno anatómico, elemento esencial en el preoperatorio de un proceso natural.

La ecografía MODO B EN TIEMPO REAL aporta datos dinámicos de las variaciones del calibre y de la pulsatibilidad venosa en función del ciclo respiratorio o en el curso de una maniobra de Valsalva. La alteración de estos datos fisiológicos normales es un elemento diagnóstico de despistaje en las modificaciones patológicas venosas.

Límites de la ecografía

El examen ecográfico sufre un cierto número de limitaciones que pueden ser atribuidas al paciente, a la técnica en sí misma o al operador.

Al paciente

La obesidad, los gases y la estasis digestiva, la ecogeneidad propia del paciente, la insuficiencia respiratoria, la presencia de cicatrices cutáneas, vendajes o drenajes son algunos factores que pueden reducir la calidad del examen. En ocasiones limitan el número de proyecciones realizables o incompletan la exploración, pero raramente la imposibilitan.

A la técnica

La resolución de la imagen ecográfica está en función de la frecuencia de la sonda utilizada y, por consiguiente, de la profundidad de la estructura estudiada, así como en relación con el revestimiento cutáneo. Una débil diferencia de ecoestructura será tanto más difícil de visualizar cuanto más profundo esté el vaso a estudiar. Este fenómeno es en parte responsable de débiles rendimientos diagnósticos de la ecografía en el despistaje de las trombosis venosas ilioacas.

Al operador

El examen ecográfico no tiene límites técnicos de duración o de proyecciones; sólo son habitualmente registradas las imágenes juzgadas por el operador como representativas de la patología estudiada. En todo caso la limitación, de haberla, vendrá dada por la experiencia del operador.

Ecografía Doppler pulsada

Actualmente para la flebología, la ecoDoppler pulsada, también conocida como ecoDoppler dúplex, se ha convertido en la herramienta básica e indispensable. Son sus excelentes resultados en la enfermedad venosa profunda los que le dan esta gran importancia.

En la pantalla aparece una “mira” (Figura 5) muy útil para acceder a las zonas difíciles de la extremidad inferior, ya que en algunos casos las venas pueden encontrarse superpuestas. La ecoDoppler pulsada se utiliza de forma general en las consultas de flebología, angiología y radiología, desplazando claramente las indicaciones de la flebografía. Permite realizar un estudio exhaustivo de la anatomía y la hemodinámica venosa.

Las condiciones de uso es el mismo que en los demás exámenes ultrasonográficos.

Primero, la ecoDoppler pulsada se practica con el paciente de pie, para la exploración de las venas superficiales y, luego, con el paciente tumbado, para la exploración de las venas profundas. Las pacientes no deben prepararse de ninguna manera especial.

Indicaciones

Los exámenes funcionales hemodinámicas ecoDoppler están indicados en:

- los pacientes varicosos candidatos a cirugía, para establecer la técnica quirúrgica mas adecuada:

fleboextracción, crioescclerosis, método de Müller...

- las varices esenciales de los miembros inferiores, en el marcaje preoperatorio de la técnica CHIVA con la realización de la cartografía venosa superficial -mapeo-.
- la enfermedad varicosa, en el marco de una esclerosis guiada de varices mediante ecografía / ecoescclerosis
- la insuficiencia venosa crónica, en el diagnóstico diferencial entre varices esenciales o secundarias (postflebiticas, fistulas arterio-venosa, displasia congénita) y en la detección precoz de un reflujo sanguíneo
- el control evolutivo de las varices en caso de agravamiento clínico y presencia de complicaciones
- el contexto de la enfermedad tromboembólica venosa -ETE- como primera prueba diagnóstica, mas ante la sospecha de una trombosis venosa profunda -TVP- de los miembros inferiores
- la varicoflebitis ascendente de las safenas interna y/o externa para descartar una progresión del trombo a través de sus respectivos cayados al sistema venoso profundo
- el síndrome posttrombótico, con dermatitis de estasis y/o úlceras fleboestáticas, cuando se desea observar la participación venosa de los sistemas: superficial, perforante y/o profundo.

Aspectos ecográficos de las venas de los miembros inferiores

La exploración ultrasónica permite obtener numerosos datos anatomofuncionales del sistema venoso de los miembros inferiores:

Diámetro de las venas

La frecuencia de la sonda determina la resolución lateral y, de este modo, puede observarse el menor de los calibres. Las venas de los miembros inferiores suelen estudiarse con una sonda de 10 MHz. Ello nos permite visualizar mejor las venas de 2 mm de diámetro (por ejemplo, las colaterales del cayado de la safena interna y ciertas perforantes). Por contra, una sonda de 20 MHz detectará venas de 0,3 mm de diámetro (venas intradérmicas) (Figura 5).

Por lo general, la vena safena interna tiene un calibre de 3 a 5 mm, si bien puede aumentar fisiológicamente en 1 a 3 mm en caso de hipertermia, bipe-



Figura 5.
Equipo de ecoDoppler dúplex

destación prolongada, hipertensión pelviana provocada (Valsalva), embarazo o período premenstrual.

Permeabilidad

En ausencia de trombosis, la luz venosa se manifiesta como una estructura anecogénica y totalmente compresible.

Cuando hay un "fenómeno de *sludge*" -aglutinación de hematíes en monedas- la sangre circulante se muestra ecogénica. Este fenómeno se observa en los confluente venosos (por ejemplo, en el confluente safenofemoral), en las proximidades de las válvulas, en presencia de estasis venosa o en el embarazo.

Válvulas

Éstas se visualizan directamente en forma de ribete ecogénico, haciendo una impronta en la luz venosa o indirectamente delimitadas por la ecogeneidad de la sangre perivalvular.

Grosor de la pared venosa

En el estado basal, la pared se presenta como un delgado ribete flexible, poco ecogénico y bien defini-

do en ausencia de flujo dinámico. Se observa un engrosamiento parietal en las venas safenas varicosas de los niños o de los ancianos y no en las varicosas en pacientes mayores, también deportistas de élite y en las venas arterializadas de los injertos de safenas (puentes arteriales).

Reparación de las venas perforantes

La ecografía precisa exactamente el origen, el trayecto y la terminación de las venas perforantes y de

sus eventuales colaterales supraaponeuróticas e infraaponeuróticas. Es decir, solamente la ecografía permite la visualización de las venas perforantes en su trayecto intramuscular ascendente y vertical, ya que éstas no suelen opacificarse por el medio de contraste en las flebografías.

EcoDoppler en color

En la exploración vascular ultrasonográfica es la incorporación más reciente. Funciona de la misma manera que la ecoDoppler pulsada. A una imagen ecográfica se le superpone la información sobre la velocidad de la sangre (en función de la intensidad de la luz) y el sentido de la circulación sanguínea (en función de los colores).

Añade una información visual: el sentido de la corriente sanguínea, roja para el flujo en dirección centrífugo hacia los pies -arteria-, azul para el flujo centrípeto hacia el corazón -venoso-. Sin embargo, exceptuando para la exploración de las insuficiencias venosas profundas, las aportaciones del EcoDoppler Color no son superiores a las del EcoDoppler Pulsado Simple.

Indicaciones

Para diferenciar de manera más sencilla las arterias y las venas se utiliza la codificación en color. Permite la localización de las venas perforantes

Figura 6.
EcoDoppler veno femoral

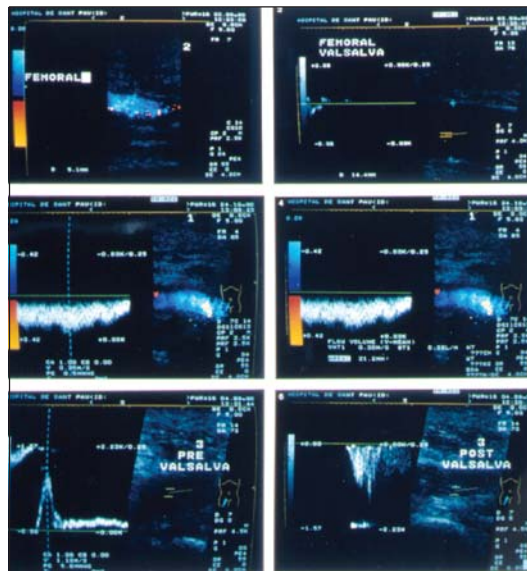


Figura 7.
EcoDoppler
confluente iliocava

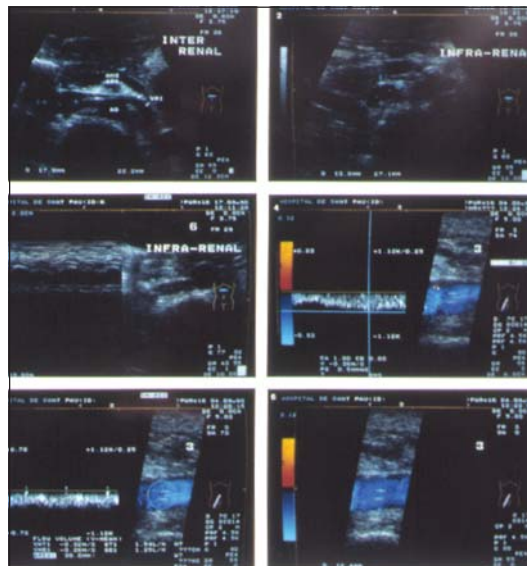
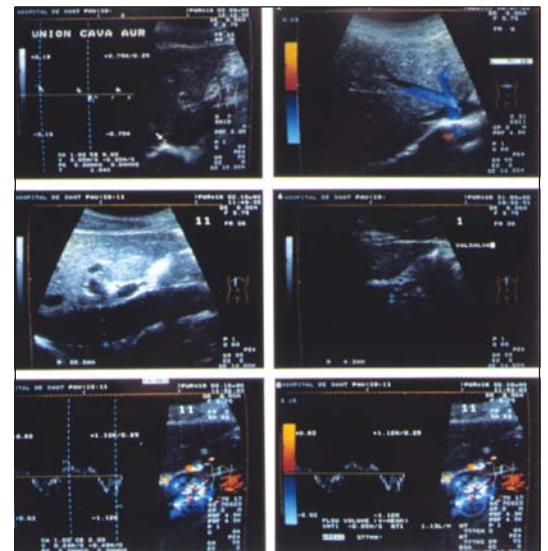


Figura 8.
EcoDoppler VCI terminal



no competentes, aunque su utilización está especialmente justificada en el sector iliocava, las venas pélvicas y las renales, que generalmente son difíciles de explorar en modalidad blanco y negro (Figuras 6, 7 y 8).

También está indicada cuando se utilizan sondas intravaginales para explorar las venas parauterinas y ováricas.

Nuevas exploraciones ultrasonográficas

Power Doppler

Es otro tipo de ecoDoppler en color que permite la visualización de los flujos sanguíneos venosos que circulan a velocidad muy baja y que son prácticamente indetectables de otro modo. Este aparato no detecta la frecuencia, es decir, la velocidad de flujo de la sangre en las venas, ni su sentido, sino que únicamente detecta la potencia de la señal Doppler, que es proporcional al número de glóbulos rojos presentes en el volumen de sangre medido. Así pues, proporciona información puramente morfológica que puede completar la información obtenida con el ecoDoppler pulsado y el ecoDoppler en color.

Puede ser útil en la exploración de las venas parenquimatosas (hepáticas), algunas venas pélvicas y las colaterales de los cayados safenos, en las que el flujo sanguíneo es muy lento y es posible que no dé señal en el Doppler convencional.

EcoDoppler tridimensional

En el futuro, este examen podría permitir precisar la morfología de las perforantes intramusculares y su relación con las aponeurosis durante el movimiento. También podría permitir determinar la naturaleza de las lesiones valvulares en toda su superficie. Presenta algunos inconvenientes, ya que no se trata de un examen en tiempo real, como los otros exámenes ecográficos, sino de una reconstrucción secundaria por ordenador de los diferentes cortes obtenidos con la sonda, lo que multiplica por dos la duración del examen.

Ecografía de alta frecuencia

Este aparato de ecografía bidimensional en tiempo real permite visualizar las pequeñas vénulas de la

piel. La dermis, que tiene un grosor real de 1 a 3 mm, se muestra en la pantalla con un grosor de 6 cm.

La resolución axial es de 0,08 mm y la resolución lateral de 0,2 mm, lo que permite visualizar perfectamente las varicosidades intradérmicas y, sobre todo, su conexión con las venas hipodérmicas y subaponeuróticas. Estos tres últimos exámenes todavía no tienen un uso establecido en la práctica habitual.

Bibliografía recomendada

- Abbad CM. Examen hemodinámico no invasivo del sistema venoso de las extremidades inferiores. En: *La exploración hemodinámica en angiología y cirugía vascular*. Sociedad Española de Angiología y Cirugía vascular, 1988;111-29.
- Azcona Elizalde JM. Exploración instrumenta. Técnica y métodos. En: *Insuficiencia venosa crónica de los miembros inferiores*. Congreso Nacional de Angiología y Cirugía vascular. XXXII Jornadas Angiológicas Españolas, 1986;99-127.
- Barnes RW, Collicott PE, Mozersky DJ, Summer DS, Strandness DE. *Non invasive quantitation of maximum venous outflow in acute thrombo phlebitis surgery*. 1972;72:971-9.
- Bernstein EF. *Non-invasive diagnostic techniques in vascular disease*. The C.v. Mosby Company, 2ª ed., 1982.
- Blanchemaison P. *Guide des Examens Paracliniques en Angiologie*. París: Ed. Len Médical, 2000.
- Browse NL, et al. *Diseases of the veins*. Edward Arnold Ed., 1987.
- Cloarec M, Caillard P. *Laboratoire d'exploration fonctionnelle périphérique vasculaire. Et pathologie veineuse*. Vie Médicale, 1981;Mars 3.
- Comerota AJ, Knight LC, Maurer AH. El diagnóstico de la trombosis venosa aguda profunda: Métodos no invasivos y radioisotópicos. *Anales de Cirugía Vascular* 1988;2(4):407-25.
- Dany F, Kim M, Brutus P, Bouchet E, Chritides C. *L'examen des veines par l'effect doppler*. La Nouv Press Médicales, 1981;10:6.
- Davinroy. *L'examen Doppler veineux. Organisé par le Docteur...* VIII^e Reunion La Baule, 1982;7:8.
- Franceschi CI. Exploración venosa de los miembros. En: *Diagnóstico vascular por ultrasonografía doppler. Colección de medicina ultrasonora*. Barcelona: Toray-Masson, 1982:95-9.
- Jiménez Cossío JA. *Métodos diagnósticos no invasivos en la patología venosa de las extremidades*. Barcelona: Frumtost-Zyma, S.A., 1991.

- La exploración hemodinámica en angiología y cirugía vascular.* Jurado Grau J, editor, 1988
- Kistner RL. Diagnosis of chronic venous insufficiency. *Journal of Vasc Surg* 1986;3:185.
- Laroche JP, et al. Proposal for Doppler methodology in order to make the diagnosis of deep venous thromboses. *Ultrasons* 1981;2:191.
- Latorre J. Revisión de los métodos diagnósticos. En: *Sector ilíaca*. Barcelona: Editorial Edika Med, 1993:113-52.
- Latorre J. Exploraciones funcionales de la circulación venosa. En: *Insuficiencia linfovenosa de los miembros inferiores*. Barcelona: Ed. Edika Med, 1996.
- Marinel-lo J, Juan J. *Diagnóstico hemodinámica en angiología y cirugía vascular*. Barcelona: Ed. Glosa, 2003.
- Pourcelot, L. *Application de l'examen Doppler à l'étude de la circulation périphérique*. Paris: Editions médicaux Specia, 1980.
- Raghavendra BN, Rosen RJ, Lam S, Riles T, Horii SC. Deep venous thrombosis: detection by high resolution real-time ultrasonography. *Radiology* 1984;152: 789-93.
- Diagnóstico por ecografía*. Rumack CM, Wilson SR, Charboneau JW, editores. Marban Libros SL, 1999
- Sentou Y, Babilliot J. Apport de l'examen doppler e pathologie veineuse des membres inférieurs. *Phlébologie* 1981; 34(2):231-55.
- Strandness DE. Duplex scanning: past, present and future. *Sem vasc Surg* 1988;1(1):2-8.
- Van De Heyning-Meier J. Le sonar doppler en pratique phlébologique. *Phlébologie* 1975;28(2):22F233.