
ULTRASONIDOS

1. Introducción

Con el fin de comprender e interpretar adecuadamente un estudio de ultrasonido es necesario contar con un bagaje de conocimientos básicos acerca de los principios físicos involucrados en la generación de imágenes por este método diagnóstico. El ultrasonido es una técnica de imagen basada en la emisión y la recepción de ondas sonoras, cuya frecuencia está por encima de la capacidad del oído humano para percibir las.

2.- Características físicas

Sonido

Es la sensación percibida con el órgano del oído producida por la vibración que se propaga en un medio elástico en forma de ondas.

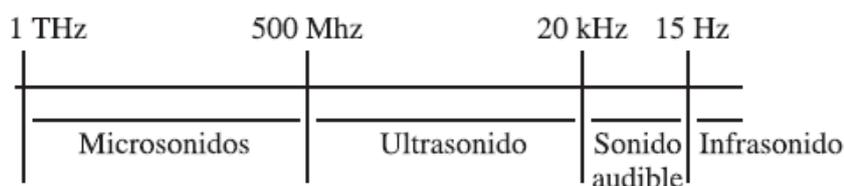
El ultrasonido se define, entonces, como una serie de ondas mecánicas, generalmente longitudinales, originadas por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico) y propagadas por un medio material (tejidos corporales), cuya frecuencia supera a la del sonido audible por el humano: 20,000 ciclos/segundo o 20 kilohercios (20 KHz).

Algunos de los parámetros que se utilizan a menudo en ultrasonidos son: frecuencia, velocidad de propagación, interacción del ultrasonido con los tejidos, ángulo de incidencia-atenuación y frecuencia de repetición de pulsos. A continuación se describen brevemente cada una de estas variables.

Frecuencia

La frecuencia de una onda de ultrasonido consiste en el número de ciclos o de cambios de presión que ocurren en un segundo. La frecuencia la cuantificamos en ciclos por segundo o hercios. La frecuencia está determinada por la fuente emisora del sonido y por el medio a través del cual está viajando.

El ultrasonido es un sonido cuya frecuencia se ubica por encima de 20 kHz. Las frecuencias que se utilizan en medicina para fines de diagnóstico clínico están comprendidas más frecuentemente en el rango de 2-30 MHz. Las frecuencias altas (30 MHz) se usan para estructuras superficiales; por ejemplo, para valorar la piel, ojos y estructuras vasculares por vía de cateterización; para fines experimentales se manejan frecuencias superiores a 50-200 MHz



Velocidad de propagación

Es la velocidad en la que el sonido viaja a través de un tejido y se considera en promedio de 1.540 m/s para los tejidos blandos.

La velocidad de propagación del sonido varía dependiendo del tipo y características del material por el que atraviese. Los factores que determinan la velocidad del sonido a través de una sustancia son la densidad y la compresibilidad, estos dos términos se refieren a la cantidad y distancia de las moléculas, respectivamente: la velocidad es inversamente proporcional a la compresibilidad, es decir, las moléculas en los tejidos más compresibles están muy separadas, por lo que transmiten el sonido más lentamente, por lo tanto los materiales con mayor densidad y menor compresibilidad transmitirán el sonido a una mayor velocidad. Esta velocidad varía en cada tejido; por ejemplo, en la grasa, las ondas sonoras se mueven lentamente, mientras que en el aire, la velocidad de propagación es tan lenta que las estructuras que lo contienen no pueden ser evaluadas por ultrasonido.

Interacción con los tejidos

Cuando la energía acústica interactúa con los tejidos corporales, las moléculas tisulares son estimuladas y la energía se transmite de una molécula a otra adyacente.

La energía acústica se mueve a través de los tejidos mediante ondas longitudinales y las moléculas del medio de transmisión oscilan en la misma dirección. Estas ondas sonoras corresponden básicamente a la rarefacción y compresión periódica del medio en el cual se desplazan. La distancia de una compresión a la siguiente (distancia entre picos de la onda sinusoidal) constituye la longitud de onda (λ), la cual se obtiene al dividir la velocidad de propagación entre la frecuencia. El número de veces que se comprime una molécula es la frecuencia (f) y se expresa en ciclos por segundo o hercios.

Cuando una onda de ultrasonidos atraviesa un tejido suceden una serie de hechos; entre ellos, la reflexión o rebote de los haces ultrasónicos hacia el transductor, que es llamado «eco». Una reflexión ocurre en el límite o interfase entre dos materiales y provee la evidencia de que un material es diferente a otro. Esta propiedad es conocida como impedancia acústica y es el producto de la densidad y velocidad de propagación. El contacto de dos materiales con diferente impedancia acústica da lugar a una interfase entre ellos. Así es como tenemos que la impedancia (Z) es igual al producto de la densidad (D) de un medio por la velocidad (V) del sonido en dicho medio: $Z = VD$.



Al entrar en contacto con dos tejidos de diferente impedancia acústica, una parte de la onda acústica emitida por el transductor se refleja como eco, y la otra parte se transmite por el tejido

Cuando dos materiales tienen la misma impedancia acústica, este límite no produce un eco. Si la diferencia en la impedancia acústica es pequeña, se producirá un eco débil. Por otro lado, si la diferencia es amplia, se producirá un eco fuerte y si es muy grande, se reflejará todo el haz de ultrasonido. En los tejidos blandos la amplitud de un eco producido en la interfase entre dos tejidos representa un pequeño porcentaje de las amplitudes incidentes. Cuando se emplea la escala de grises, las reflexiones más intensas o ecos reflejados se observan en tono blanco (hiperecoicos) y las más débiles en diversos tonos de gris (hipoecoicos) y cuando no hay reflexiones en negro (anecoico).

Ángulo de incidencia

La intensidad con la que un haz de ultrasonido se refleja dependerá también del ángulo de incidencia o insonación (de manera similar a como lo hace la luz en un espejo). La reflexión es máxima cuando la onda sonora incide de forma perpendicular a la interfase entre dos tejidos. Si el haz ultrasónico se aleja sólo unos cuantos grados de la perpendicular, el sonido reflejado no regresará al centro de la fuente emisora y será tan sólo detectado parcialmente, o bien, no será detectado por la fuente receptora (transductor).

Atenuación

Mientras las ondas ultrasónicas se propagan a través de las diferentes interfases tisulares, la energía ultrasónica pierde potencia y su intensidad disminuye progresivamente a medida que inciden estructuras más profundas (circunstancia conocida como atenuación y puede ser debida a la absorción o a la dispersión). La absorción implica la transformación de la energía mecánica en calor; mientras que la dispersión consiste en la desviación de la dirección de propagación de la energía. Los líquidos son considerados como no atenuadores; el hueso es un importante atenuador mediante absorción y dispersión de la energía, mientras que el aire absorbe de forma potente y dispersa la energía en todas las direcciones.

Frecuencia de repetición de pulsos

La energía eléctrica que llega al transductor estimula los cristales piezoeléctricos allí contenidos y éstos emiten pulsos de ultrasonidos, de tal forma que el transductor no emite ultrasonidos de forma continua sino que genera grupos o ciclos de ultrasonidos a manera de pulsos. Lo que el transductor hace es alternar dos fases: emisión de ultrasonidos-recepción de ecos-emisión de ultrasonidos-recepción de ecos, y así sucesivamente. La frecuencia con la que el generador produce pulsos eléctricos en un segundo se llama frecuencia de repetición de pulsos y es mejor conocida por sus siglas en inglés «PRF» y es igual a la frecuencia de repetición de pulsos de ultrasonidos (número de veces que los cristales del transductor son estimulados por segundo). La PRF, por lo tanto, determina el intervalo de tiempo entre las dos fases: emisión y recepción de los ultrasonidos. Este intervalo de tiempo debe ser el adecuado para que de manera coordinada un pulso de ultrasonido alcance un punto determinado en profundidad y vuelva en forma de eco al transductor antes de que se emita el siguiente pulso. El PRF depende entonces de la profundidad de la imagen y suele variar entre 1,000 y 10,000 KHz.

Cada uno de los pulsos recibidos y digitalizado pasan a la memoria gráfica, se ordenan, se procesan y son presentados en forma de puntos brillantes en el monitor; en éste se emiten secuencias de al menos 20 barridos tomográficos por segundo para ser visualizados en tiempo real.

Resolución

Es la habilidad de distinguir las diferentes partículas que reflejan el ultrasonido. Los diferentes tejidos localizados cerca proporcionan reflexiones individuales. La resolución se refiere a la nitidez y al detalle de la imagen. En ecografía, la resolución depende de dos características inherentes a la agudeza visual: el detalle y el contraste. La resolución lineal determina qué tan lejanos se ven dos cuerpos reflejados y debe ser tal que se puedan discriminar como puntos separados. La resolución de contraste determina la diferencia de amplitud que deben tener dos ecos antes de ser asignados a diferentes niveles de gris.

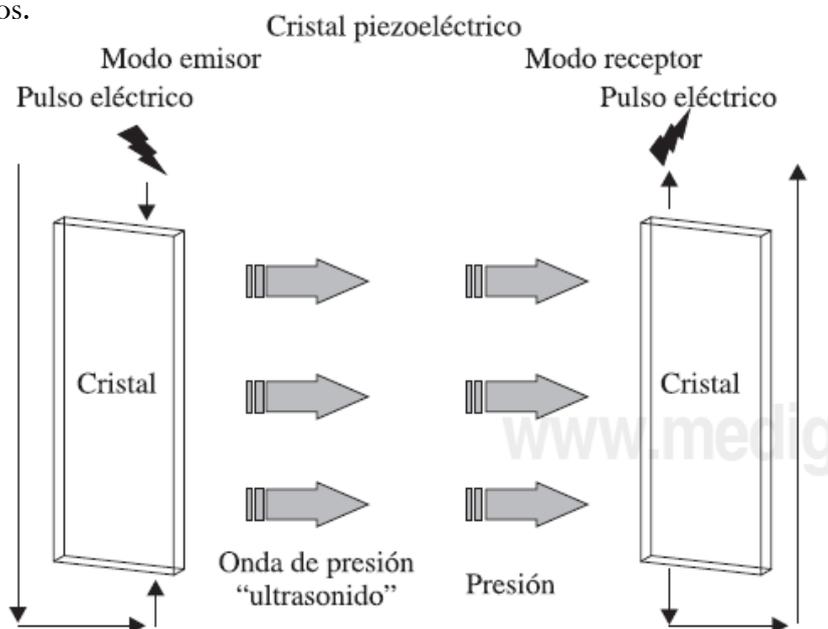
Escala de grises

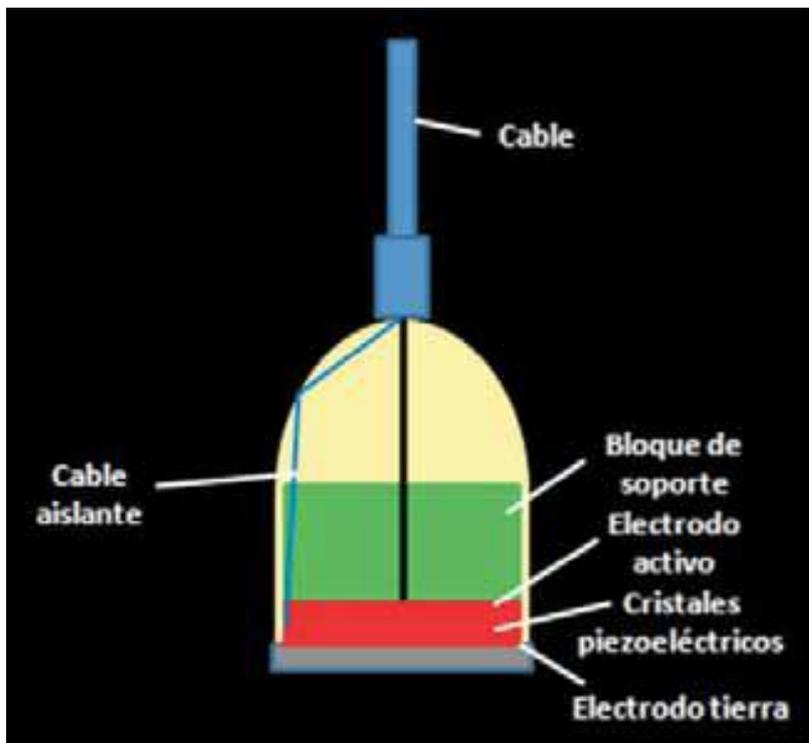
Las estructuras corporales están formadas por distintos tejidos, lo que da lugar a múltiples interfases que originan, en imagen digital, la escala de grises.

El elemento orgánico que mejor transmite los ultrasonidos es el agua, por lo que ésta produce una imagen ultrasonográfica anecoica (negra). En general, los tejidos muy celulares son hipoeoicos, dado su alto contenido de agua, mientras que los tejidos fibrosos son hiperecoicos, debido al mayor número de interfaces presentes en ellos.

Transductores

Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada en otra de diferente a la salida. En el caso de los transductores de ultrasonido, la energía ultrasónica se genera en el transductor que contiene a los cristales piezoeléctricos. Éstos poseen la capacidad de transformar la energía eléctrica en sonido y viceversa, de tal manera que el transductor o sonda actúa como emisor y receptor de ultrasonidos.





Al transmitirse el impulso eléctrico a los cristales, éstos vibran de manera proporcional a la potencia de la electricidad dentro del transductor creando ondas similares al sonido dentro de una campana

La circonita de plomo con titanio es una cerámica usada frecuentemente como cristal piezoeléctrico y constituye el alma del transductor; recientemente se desarrollaron polímeros piezoeléctricos como polivinilideno (PVDF) y trifluoroetileno (TrFE) que han demostrado ser útiles para la producción de frecuencias altas (> 100 MHz). Existen varios tipos de transductores que difieren tan sólo en la manera en que están dispuestos sus componentes. Los transductores sectoriales tienen una ventana pequeña; por ejemplo, para la visualización de las costillas, con un ángulo de escaneo ancho; los convexos tienen un amplio campo a distancia, con un tamaño de ventana adecuado y los lineales se caracterizan por tener un amplio plano de contacto, ideal para pequeñas estructuras. Estos últimos son los más frecuentemente empleados en la ultrasonografía musculoesquelética, se componen de un número variable de cristales piezoeléctricos (usualmente de 64 a 256) que se disponen de forma rectangular, se sitúan uno frente al otro y funcionan en grupos, de modo que al ser estimulados eléctricamente producen o emiten simultáneamente un haz ultrasónico.

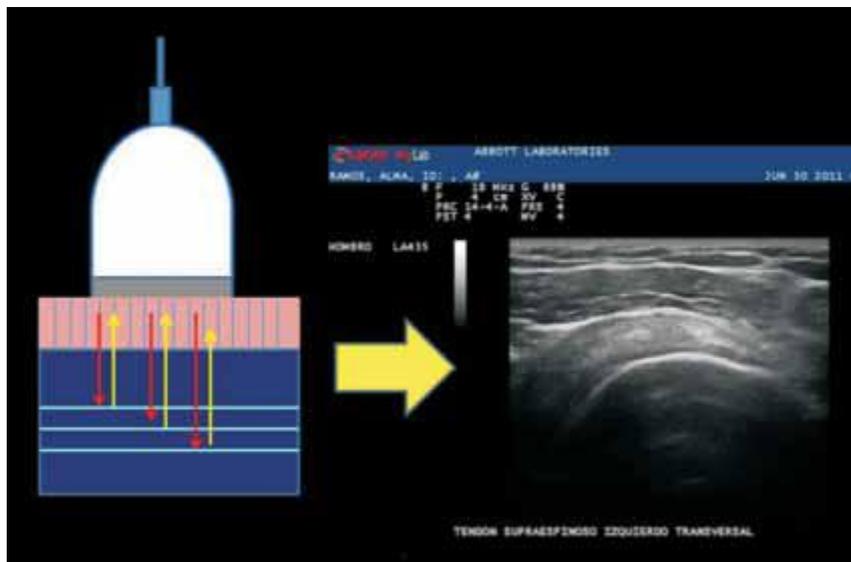


Diferentes tipos de transductores:
 a) Transductor sectorial
 b) Transductor convexo
 c) Transductor lineal.

Creación de la imagen

Las imágenes ecográficas están formadas por una matriz de elementos fotográficos. Las imágenes en escala de grises están generadas por la visualización de los ecos, regresando al transductor como elementos fotográficos (píxeles). Su brillo dependerá de la intensidad del eco que es captado por el transductor en su viaje de retorno.

El transductor se coloca sobre la superficie corporal del paciente a través de una capa de gel para eliminar el aire entre las superficies (transductor-piel). Un circuito transmisor aplica un pulso eléctrico de pequeño voltaje a los electrodos del cristal piezoeléctrico. Éste empieza a vibrar y transmite un haz ultrasónico de corta duración, el cual se propaga dentro del paciente, donde es parcialmente reflejado y transmitido por los tejidos o interfases tisulares que encuentra a su paso. La energía reflejada regresa al transductor y produce vibraciones en el cristal, las cuales son transformadas en corriente eléctrica por el cristal y después son amplificadas y procesadas para transformarse en imágenes.



Un haz ultrasónico se propaga de un medio a otro, mientras que un pequeño porcentaje es reflejado a manera de «eco» y llega al transductor (receptor), en donde se transforma en una pequeña onda de voltaje que mediante un complejo proceso electrónico se transforma en una imagen en la pantalla.

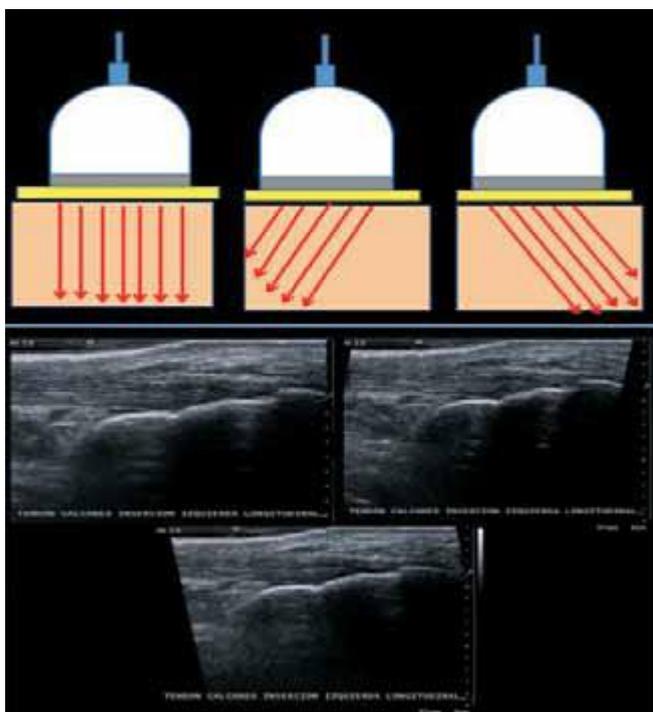
El circuito receptor puede determinar la amplitud de la onda sonora de retorno y el tiempo de transmisión total, ya que rastrea tanto cuando se transmite como cuando retorna. Conociendo el tiempo del recorrido se puede calcular la profundidad del tejido refractante usando la constante de 1.540 metros/segundo como velocidad del sonido. La amplitud de la onda sonora de retorno determina la gama o tonalidad de gris que deberá asignarse. Los ecos muy débiles dan una sombra cercana al negro dentro de la escala de grises, mientras que los ecos potentes dan una sombra cercana al blanco.

Modalidades de la ecografía

Existen tres modos básicos de presentar las imágenes ecográficas. El modo A o de amplitud, que es el que se empleó inicialmente para distinguir entre estructuras quísticas y sólidas y se utilizó para representar gráficamente una señal. Hoy en día es excepcionalmente empleado, salvo para comprobar los parámetros técnicos viendo la amplitud a distintas profundidades

El modo M se emplea para las estructuras en movimiento como el corazón; se realiza una representación gráfica de la señal, la amplitud es el eje vertical, y el tiempo y la profundidad son el eje horizontal.

El modo B es la representación pictórica de la suma de los ecos en diferentes direcciones (axial, lateral), favoreciendo que el equipo reconozca la posición espacial y la dirección del haz. Las señales de eco detectadas son procesadas y transmitidas a luminosidad, lo que resulta en un brillo. Las estructuras con mayor reflejo aparecen más brillantes que las estructuras con menos reflejo. Ésta es la modalidad empleada en todos los equipos de ecografía en tiempo real y se trata de una imagen bidimensional estática.



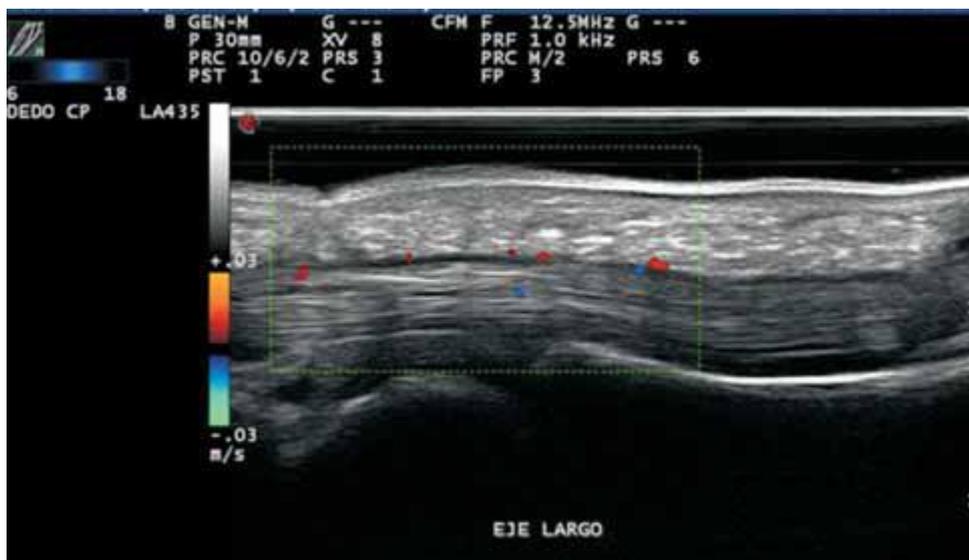
En la imagen se esquematizan los haces lineales en diferentes direcciones en una imagen convencional del modo B del ultrasonido; en la imagen inferior se observa el modo B en la inserción del tendón calcáneo izquierdo, proyección longitudinal.

Imagen en tiempo real: es el modo B dinámico, se obtiene en varias imágenes por segundo (aproximadamente 28 imágenes/segundo). Es el modo más utilizado en medicina.

Ecografía Doppler

El principio básico radica en la observación de cómo la frecuencia de un haz ultrasónico se altera cuando a su paso se encuentra con un objeto en movimiento (eritrocitos o flujo sanguíneo). La frecuencia aumenta cuando el emisor y reflector se acercan, y disminuye cuando éstos se alejan. El equipo detecta la diferencia entre la frecuencia del haz emitido y la frecuencia del haz reflejado (frecuencia Doppler).

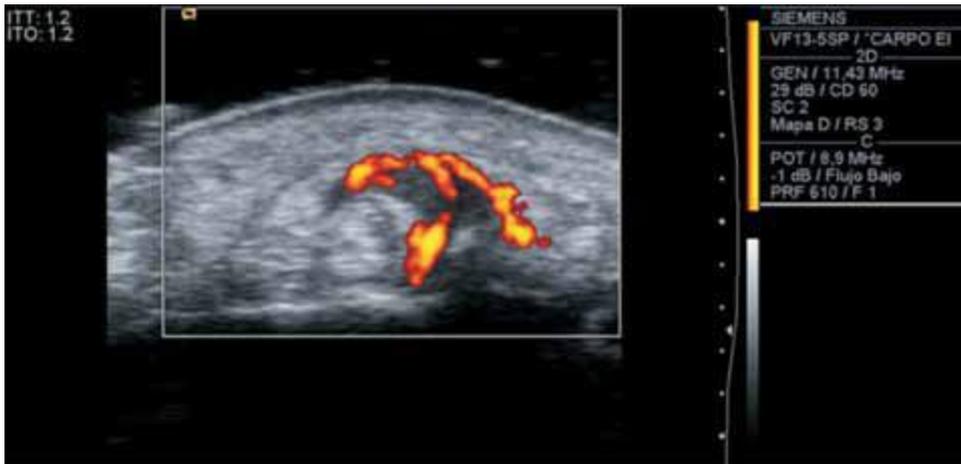
Estos sistemas ofrecen información acerca del flujo del campo o área de interés; detectan y procesan la amplitud, fase y frecuencia de los ecos recibidos con imágenes en modo B. La ecografía Doppler es una técnica adecuada en la evaluación ultrasonográfica de las enfermedades del sistema musculoesquelético. Así, la inflamación asociada a procesos reumáticos origina un aumento en el flujo vascular o hiperemia tisular que es detectable por ecografía Doppler. La información obtenida mediante la técnica de Doppler puede presentarse de dos formas diferentes: en Doppler color se muestran las estructuras en movimiento en una gama de color. Se representan tanto la velocidad como la dirección del flujo sanguíneo. Tradicionalmente el flujo que se acerca a la sonda se colorea en rojo (arterial) y el que se aleja en azul (venoso). La intensidad del color traduce el grado de cambio de frecuencia y la magnitud de la velocidad del flujo. El Doppler color también depende del ángulo de insonación, por lo que éste debe ser adecuado para detectar el flujo. Esta técnica no puede detectar el flujo cuando es perpendicular al haz de ultrasonidos.



Ultrasonido Doppler de color.

Por otro lado, el Doppler de poder, también denominado de potencia o de energía, muestra tan sólo la magnitud del flujo y es mucho más sensible a los flujos lentos. A diferencia de la ultrasonografía vascular en la aplicación musculoesquelética, la información sobre la velocidad y dirección del flujo es de menos utilidad; por lo tanto, el Doppler de poder generalmente resulta ser una técnica más utilizada en el aparato locomotor que la de Doppler color. El Doppler de poder es más sensible para detectar los ecos en zonas de baja perfusión, lo cual es su principal ventaja. Sin embargo, hoy en

día los equipos de alta gama tienen un Doppler de color muy sensible y la diferencia entre ambas técnicas es cada vez menos marcada.



Ultrasonido Doppler de poder.

Otro sistema es el Doppler pulsado que consta de un elemento transductor que emite y recibe sonido. Esto permite calcular la profundidad, que viene dada por el tiempo que tarda el eco en volver. El sonido se envía en ráfagas cortas y se detiene durante un corto intervalo en el que el sistema espera el eco de retorno.

El Doppler Duplex consiste en una combinación de imágenes en tiempo real con la velocidad y corrección de ángulos del sistema Doppler, este sistema se utiliza en las vasculitis como la arteritis temporal para detectar estenosis.

RESUMEN

El ultrasonido o ecografía es una técnica de imagen, no invasiva y accesible que permite la evaluación del sistema musculoesquelético en tiempo real, con la ventaja de examinar las articulaciones de forma dinámica sin someter al paciente a radiación ionizante. Tiene la desventaja de ser dependiente del operador, el cual debe tener un amplio conocimiento de los principios físicos del ultrasonido, estar familiarizado con la sonoanatomía de los tejidos y de la anatomía musculoesquelética. Estos conocimientos son deseables para el especialista en padecimientos musculoesqueléticos para interpretar adecuadamente los estudios ecográficos y así evitar diagnósticos erróneos y procedimientos innecesarios. En la presente revisión se analizan los principios básicos de la ecografía y del sistema musculoesquelético.