



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
GRUPO CT SCANNER DE MEXICO
HOSPITAL SANTA FE**

**DOPPLER EN OBSTETRICIA,
VITALIDAD FETAL REVISION**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
ESPECIALISTA EN RADIOLOGIA E IMAGEN**

**P R E S E N T A:
DRA. VERONICA ENSASTIGA CASTILLO**

**ASESOR:
DRA. NELSON PEÑATA RUIZ**

MÉXICO, DF. A 7 DE SEPTIEMBRE 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dr. José Manuel Cardoso Ramón
Jefe de Enseñanza / Profesor Titular
Grupo CT Scanner

Dr. Kenji Kimura Fujikami
Asesor de tesis
Profesor Adjunto
Grupo CT Scanner

Dr. Sergio Fernández Tapia
Profesor Adjunto
Grupo CT Scanner

Dr. Nelson Peñata Ruiz
Profesor Adjunto
Grupo CT Scanner

Dr. José Ruiz Gómez
Director Médico
Hospital Santa. Fe

Agradecimientos

A mi mama con toda mi admiración, porque sin ti no hubiera llegado hasta donde estoy, gracias mami por todo tu esfuerzo y por ir siempre conmigo, por ser mi mejor amiga y por ser como eres. Te amo con todo mi corazón.

A mis hermanas por su apoyo incondicional y por cuidarme y procurarme siempre.

A mi papá por su comprensión y cariño.

A mi abuelita por toda tu ayuda en los momentos difíciles.

A todos mis profesores, por su ayuda, enseñanza y por formar parte importante en mi vida.

A mis amigas Anamari, Mony y Michel las quiero mucho.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	2
MARCO TEÓRICO	3
CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31

INTRODUCCION

El ultrasonido Doppler es una técnica no invasora usada comúnmente para la evaluación hemodinámica y fetal.

Durante el embarazo se llevan a cabo una serie de acontecimientos que mediante la exploración ecográfica es posible vigilar tanto el desarrollo como el bienestar fetal.

Con la ayuda de las nuevas técnicas de ultrasonido Doppler es posible determinar enfermedades intrauterinas que anteriormente era imposible, como anemia fetal, retardo en el crecimiento intrauterino y vitalidad fetal.

El embarazo incrementa de forma considerable la circulación uterina, misma que favorece el adecuado crecimiento fetal. Los cambios vasculares que ocurren en la circulación uterina provocados por el embarazo, se deben a la pérdida de los componentes elásticos y musculares de las arterias espirales, a la invasión trofoblástica y su reemplazo por tejido fibrinoide.

La forma de la onda de velocidad de flujo de la arteria uterina es única; se distingue por una velocidad alta al final de la diástole y flujo continuo durante la misma. En el transcurso del embarazo, y hasta su término, el flujo aumenta constantemente. La falla en la invasión de las arterias espirales por el trofoblasto resulta en una mayor resistencia vascular uterina, con disminución de la perfusión a través de la placenta, lo que puede llevar a restricción del crecimiento intrauterino y finalmente ocasionar preeclampsia.

El Doppler de la arteria uterina sirve como una forma de rastreo para identificar el riesgo de sufrir algunas enfermedades o para predecir con alto grado de certeza el desarrollo de un embarazo sin complicaciones. No evalúa la salud fetal ni determina la de conducta obstétrica.

OBJETIVOS

El presente estudio tiene como principal objetivo la correcta evaluación y seguimiento fetal.

Brindar orientación respecto al tema de Doppler Obstétrico

Conocer sobre los trastornos que pueden ser diagnosticados durante el embarazo.

Evitar las posibles complicaciones que se pueden presentar durante el embarazo y evitar una intervención innecesaria.

MARCO TEORICO

Circulación fetal

La sangre oxigenada y rica en nutrientes de la placenta llega al feto por la vena umbilical, que desemboca en el hígado, un 50% de su flujo se desvía a la cava inferior a través del conducto venoso de Arancio, en la cava inferior se mezcla sangre bien oxigenada con la venosa procedente de la porción caudal del feto, siendo a este nivel la saturación de oxígeno inferior a la de la vena umbilical, pero superior a la de la vena superior.(Fig.1) (1)

A nivel de las aurículas la *crista dividens* separa la sangre procedente de la cava superior hacia la aurícula derecha y la de la cava inferior a través de la válvula del *foramen oval* a la aurícula izquierda de forma preferencial, una pequeña porción de la sangre de la cava inferior se mezcla con la sangre de la vena cava superior. (4)

La sangre de la vena cava inferior, de la aurícula izquierda pasa a ventrículo izquierdo y de él a la aorta ascendente, irrigándose de manera preferente dos órganos vitales: **corazón y cerebro**. (8)

La sangre de la vena cava superior, mezclada con una pequeña cantidad de sangre de la vena cava inferior, pasa a aurícula y ventrículo derechos, donde es impulsada a través de la arteria pulmonar hacia el pulmón, pero como éste no es funcional, apenas recibe la sangre que necesita para su nutrición, desviándose la mayor parte a través del ducto arterioso hacia la aorta descendente. La circulación del ducto y pulmonar se hallan influidas recíprocamente por la pO_2 , de tal manera que en caso de hipoxia fetal se mantiene abierto el ducto arterioso y se contrae la circulación pulmonar. (Fig. 2) . (14)

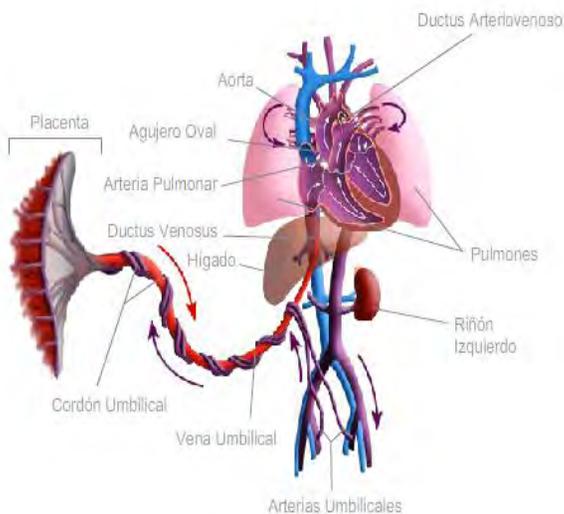


Fig. 1. Transporte del flujo sanguíneo fetal.

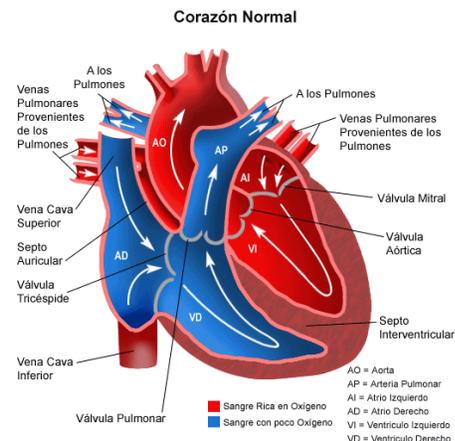


Fig. 2 Circulación cardíaca.

Una porción de la sangre de la aorta descendente se distribuye para irrigar los órganos abdominales y miembros inferiores, mientras que la mayor parte se reúne en las dos arterias umbilicales que, a través del cordón umbilical, alcanzan la placenta.

Gasto cardíaco fetal :

Su volumen – minuto alcanza los 220 cc/Kg/minuto, es decir unas 3 veces el del adulto. Esto lo consigue a través del aumento de la frecuencia cardíaca (120-160 lpm) y el trabajo paralelo de ambos ventrículos. . (6)

Caracteres de la circulación fetal :

Durante la vida fetal el gasto cardíaco de los dos ventrículos es de aproximadamente 450ml/kg/min, correspondiendo a 300ml (66%) al ventrículo derecho y 150ml (34%) al ventrículo izquierdo, manejando ambos ventrículos presiones iguales ya que los dos eyectan a través de la aorta. De esta forma en la vida fetal los ventrículos funcional paralelamente y no en serie como en la vida extrauterina. . (16)

El gasto cardíaco destinado al pulmón es sólo de un 3-7%, en comparación del 50% en el adulto. Las resistencias periféricas son menores.

Con el avance de la gestación y el aumento del volumen corporal fetal aumenta el porcentaje de flujo sanguíneo destinado al cuerpo, mientras disminuye el destinado a la placenta.

El gasto ventricular del feto. Del 66% del flujo que se dirige hacia el tronco de la Arteria pulmonar, solo el 7% va hacia las ramas pulmonares derecha e izquierda, ya que los pulmones están colapsados, por lo que el restante 59% se dirige hacia la aorta descendente, a través del ductos arterioso. El 34% de la sangre que maneja el ventrículo izquierdo se distribuye un 3% va a las arterias coronarias, un 21% va a los vasos del cuello, el restante 10% que llega al istmo aórtico se junta en la aorta descendente con el que proviene del ductus arterioso.. (16) El tamaño de las cavidades y vasos son la expresión real del flujo que manejan por lo tanto el tronco de la arteria pulmonar, el Ductus arterioso y la aorta descendente tienen un tamaño similar ya que manejan flujos fetales similares y el ventrículo derecho es de mayor desarrollo que el izquierdo. 23)Fig.3.

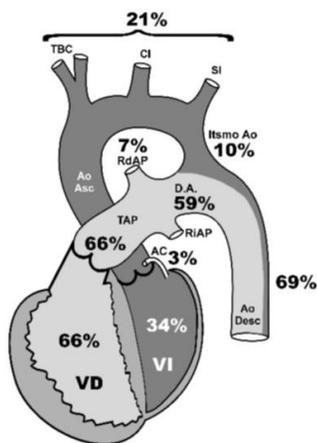


Fig. 3. Muestra el gasto ventricular

Circulación tras el nacimiento :

La interrupción de la circulación umbilical en el parto, junto a la expansión pulmonar y vasodilatación de su lecho vascular, producen un cambio en el gradiente de presiones que

provoca el cierre de los cortocircuitos fisiológicos, que se colapsan. El aumento de la tensión de oxígeno conduce también al cierre del ducto arterioso, a la vez que dilata el lecho vascular pulmonar. Se establece así una circulación como en el adulto. . (35)

El cordón umbilical tiene pues una vena, con sangre oxigenada, y dos arterias con sangre venosa.

El feto recibe sangre oxigenada de la placenta a través de la vena umbilical. La parte de la sangre recibida pasa a través de los sinusoides hepáticos, mientras que la mayoría de la sangre que entra pasa a través del conducto venoso directamente en la vena cava inferior. En ésta vena, la sangre rica en oxígeno de la placenta se mezcla con la sangre de las porciones caudales del feto. La corriente mezclada de la sangre entra en la aurícula derecha y cruza la membrana interauricular a través del agujero oval en la aurícula izquierda. . (78)

En ésta aurícula la sangre se mezcla otra vez con sangre pobremente oxigenada de las venas pulmonares y después pasa a través del ventrículo izquierdo a la aorta. La sangre de la vena cava superior y una pequeña cantidad de sangre de la vena cava inferior es desviada en la arteria pulmonar, donde la sangre se desvía en la aorta torácica descendente a través del conducto arterial. La sangre mezclada resultante entra en la aorta abdominal, a la circulación de las vísceras y de las extremidades inferiores, alcanzando eventualmente la placenta a través de las arterias umbilicales, para la oxigenación. Fig. 4a. . (24)

Después del parto se produce la expansión del pulmón con aire y el líquido pulmonar fetal sale desde el alvéolo, para ser reabsorbido; se produce dilatación de las arteriolas pulmonares y aumento del flujo sanguíneo; como consecuencia de todo esto, aumenta el nivel de oxígeno sanguíneo, se contrae el ductus arterioso y la sangre fluye a través de los pulmones para captar oxígeno. Fig. 4b.

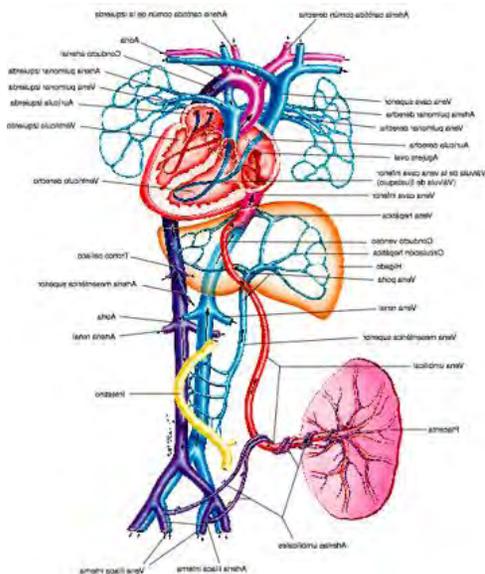


Fig. 4 Muestra la circulación fetal

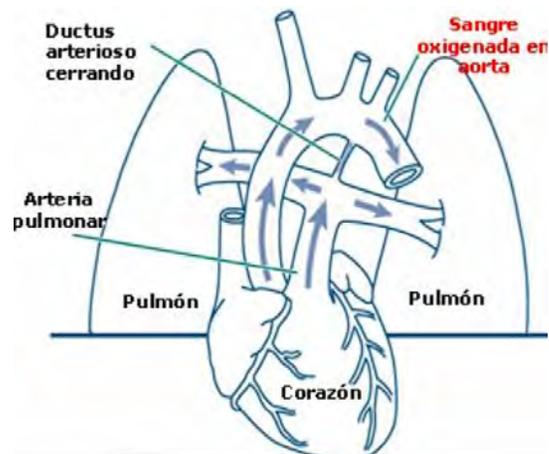


Fig. 4b muestra el pulmón y la circulación después del parto Cesa el shunt a través del ductos arterioso, la sangre fluye Preferentemente a través de los pulmones.

Circulación uterina materna

El útero está irrigado por las arterias ováricas y uterinas, éstas últimas son ramas de la arteria iliaca interna. Cuando alcanzan la posición ístmica del útero, ascienden a través de la pared antes de anastomosarse con las arterias ováricas en el cuerpo del útero. (45) La sangre que irriga las paredes anterior y posterior provienen de las arterias arcuatas que rodean al útero. Las ramas nacen de las arterias arcuatas en ángulo recto y se dirigen hacia el endometrio, donde se dividen en dos o mas arterias espirales. Fig. 5.

Durante el embarazo aproximadamente 100 de las arterias espirales conectan con la circulación materna en el espacio intervilloso.(16) Estos vasos pasan por importantes modificaciones para condicionar el flujo sanguíneo 10 veces superior necesario para satisfacer los requerimientos metabólicos del feto y la placenta. (22)

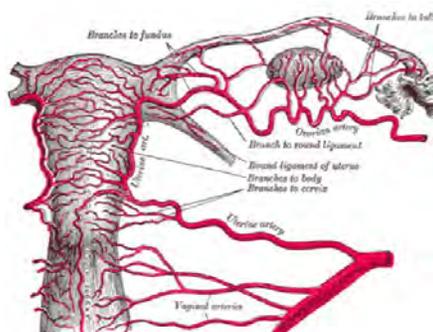


Fig. 5 representa la circulación uterina

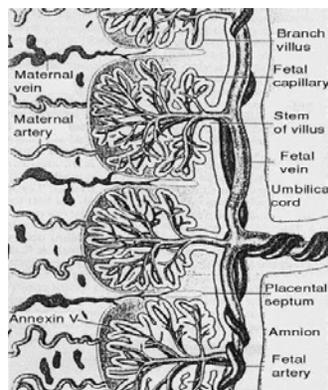


Fig. 6a y 6b invasión trofoblástica

Durante el primer trimestre (8ª a 9ª semana de gestación) una primera impronta de trofoblasto endovascular invade las paredes de las arterias espirales en la decidua y hacia la 15ª semana se detienen a la altura de la unión de ésta con el miometrio.

Durante el segundo trimestre, una segunda impronta de trofoblasto endovascular invade el segmento miometrial de las arterias espirales, generando una pérdida de su capa muscular vascular. La conversión de las pequeñas arterias espirales musculares en grandes canales vasculares transforma la circulación uteroplacentaria de un sistema vascular de alta resistencia a uno de baja resistencia, además con pérdida de la incisura. Fig. 6a y 6b.(5) (Fleischer, Manning Ecografía en obstetricia y ginecología, Ed Marbán, 6ª. Ed. P.263-

En embarazos complicados por preeclampsia y/o fetos pequeños para su edad gestacional (PEG), la invasión trofoblástica está casi completamente restringida al segmento decidual de las arterias espirales, con pocas o ninguna evidencia de la invasión más allá de la unión de la decidua y el miometrio. Un defecto mas allá de las 24 o 26 semanas provoca una alta impedancia del flujo sanguíneo en la circulación útero-placentaria y se asocia al desarrollo posterior de la preeclampsia en el embarazo.(18) La velocimetría Doppler de las arterias uterinas es capaz de detectar la alta impedancia del flujo sanguíneo y, así identificar a las pacientes con riesgo de desarrollar preeclampsia o fetos (PEF). (23)

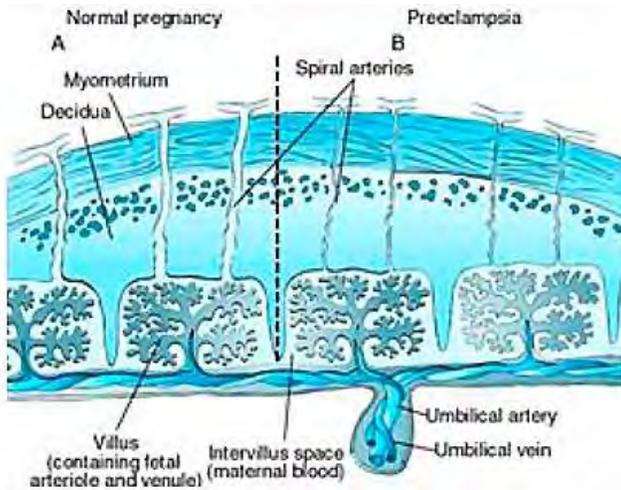


Fig. 6b invasión trofoblástica en embarazo normal y con preeclampsia.

DOPPLER

Historia En 1842, el físico austriaco Johann Christian Doppler postuló la correlación entre modificaciones de frecuencia y velocidad, basado en el cambio de color de las estrellas según si estuviesen aproximándose o alejándose de la Tierra. Describió el fenómeno que hoy lleva su nombre, en relación con la luz. . (45)

En 1845, el holandés Buys Ballot comprobó experimentalmente el efecto Doppler en las ondas sonoras. **Definición y Características** Si en lugar de los tejidos (blanco estático), el haz ultrasónico impacta contra los glóbulos rojos circulando en el interior de un vaso (blanco móvil), el eco retorna al transductor con la longitud de onda modificada; esto implica un cambio de la frecuencia en relación inversa: si la longitud disminuye, la frecuencia aumenta para que la velocidad permanezca constante (1540 m/seg en tejidos blandos). (45) Este fenómeno de transformación de la frecuencia se denomina **efecto Doppler**. La ecuación Doppler evalúa la diferencia entre la frecuencia recibida y la emitida por el transductor. Fig. 7.

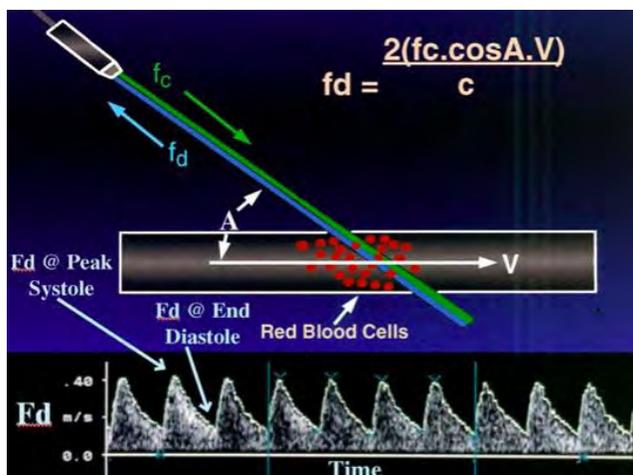


Fig.7 efecto Doppler (f_d) es dependiente de la velocidad de flujo (V), de la sangre en el interior de los vasos, la frecuencia inicial del ultrasonido (f_c) y el coseno del ángulo (A) que el.....

Sistema Doppler de onda continúa

El transmisor opera continuamente, suministrando una señal eléctrica de frecuencia y amplitud constantes; esta señal se aplica al transmisor montado a la sonda ultrasónica. La elección de la frecuencia depende de la aplicación clínica, la cual es de 2 MHz para los estudios obstétricos y abdominales profundos. (45) Al transmitirse una onda continua de ultrasonido, es necesaria la utilización de dos elementos transductores: uno para la transmisión y otro para la recepción. La señal del receptor consiste en un acoplamiento de señales, algunas de igual frecuencia que la del transmisor (causadas por reflexiones de estructuras estacionarias en el campo ultrasónico y por pérdida de corriente eléctrica desde el circuito transmisor al receptor) y algunas con frecuencias distintas por el efecto Doppler (causadas por reflexiones de objetos en movimiento en el haz). (53)

Cuando la señal de referencia transmitida y la señal Doppler amplificadas se mezclan, el resultado consiste en la extracción de señales de cambio de frecuencia Doppler que corresponden a los objetos en movimiento en el haz ultrasónico; el proceso se denomina "detección no coherente" ya que las señales de ecografía suministran su propia fuente de fase y frecuencia de referencia.

Sistema Doppler pulsado En la imagen pulsada, los rangos de los objetos pueden ser estimados partiendo de los retrasos correspondientes en la recepción de ecos que siguen a la transmisión de un pulso ultrasónico, asumiendo un valor determinado para la velocidad del ultrasonido. La base del método es el uso de la medida del rango de ecos pulsados para la selección de las señales de cambio de frecuencia Doppler desde objetos en movimiento según su distancia a la sonda ultrasónica. (48) Esta técnica provee una excelente resolución en distancia y permite obtener información acerca del flujo dentro de una determinada región, denominada volumen de muestra (simple volumen) que puede seleccionarse a voluntad del operador. Es apta para la medición de flujo de velocidades medias y bajas dentro de un sitio específico. El pulso de ultrasonido generará ecos a lo largo de toda su trayectoria, pero el transductor actuará como receptor de un determinado período de tiempo, coincidente con el tiempo necesario para captar los ecos provenientes del volumen de muestra; el equipo ignorará los ecos que provengan de otras áreas. (46) La profundidad a la que se encuentre el volumen de muestra determinará la máxima frecuencia de repetición de pulsos del equipo según la siguiente ecuación:

- $PRF = V/2 \times Dvol$
- PRF: frecuencia de repetición de pulsos
- V: velocidad de propagación del ultrasonido en el medio
- Dvol: distancia o profundidad a la que se encuentra el volumen de muestra

A medida que el volumen de muestra se ubica a mayor profundidad, la frecuencia de repetición de pulsos disminuye. La frecuencia de repetición de pulsos es la velocidad de muestreo del sistema; la misma es regulable y el control correspondiente se denomina:

- Rango de velocidades
- Rango de repetición de pulsos
- Rango o escala de flujo
- Máxima profundidad ó
- Máxima velocidad.

Se relaciona inversamente con el tamaño del espectro: a mayor frecuencia de repetición de pulsos, menor altura espectral y viceversa. En algunos casos, el espectro será tan alto que se visualizará parcialmente en la pantalla, desapareciendo en el límite superior del monitor y reingresando por el margen inferior; este fenómeno se denomina **aliasing**, el cual alude a la posibilidad de que el artefacto simule flujo en dirección opuesta a la real. El aliasing ocurre cuando la frecuencia Doppler que retorna al transductor excede el valor máximo medible, impuesto por el límite de Nyquist. El límite de Nyquist equivale a la mitad de la frecuencia de repetición de pulsos utilizada; es el umbral a partir del cual la frecuencia que retorna tras impactar el glóbulo rojo móvil determinará aliasing.

En el monitor, en modo espectral, el límite de Nyquist corresponde al máximo valor representable en el eje vertical (de velocidades). El aliasing puede producirse por: línea de base alta, frecuencia de repetición de pulsos baja, ángulo de ataque muy agudo, frecuencia original demasiado alta, o velocidades excesivas. Para eliminarlo se puede: descender la línea de base, aumentar la frecuencia de repetición de pulsos, aumentar el ángulo de insonación o cambiar a un transductor de menor frecuencia.⁽⁵⁶⁾

Sistema Dúplex

Son equipos que asocian imagen en modo B con Doppler pulsado; los transductores electrónicos multicristal (lineales, convexos o sectoriales) permiten la obtención simultánea de información anatómica (imagen bidimensional) y funcional hemodinámica (registro audio-espectral) en tiempo real.

Estos sistemas tienen la ventaja de permitir la identificación de la localización anatómica en la que se origina la señal Doppler, guiando el emplazamiento del haz ultrasónico, tener una frecuencia de repetición de pulsos alta, lo cual nos limita la profundidad a la que podemos llegar con el volumen de muestra.⁽⁵⁷⁾

Sistema Doppler color

La técnica es conceptualmente similar a la de Doppler pulsado, pero en lugar de evaluar la información proveniente de un solo volumen de muestra, se procesa la información de un gran número de volúmenes ubicados a lo largo de la línea de exploración y para varias líneas de exploración. Combina la imagen bidimensional con Doppler pulsado pero codifica los datos que retornan al transductor como señal color y no como registro gráfico espectral.

El color utiliza el efecto Doppler que producen los glóbulos rojos en movimiento para diferenciar los blancos móviles (vasos permeables) de los estáticos (tejidos). La información, codificada en colores, es superpuesta a la imagen bidimensional. Por convención, el flujo que se acerca al transductor se visualiza en rojo y el que se aleja en azul. ⁽⁴³⁾

La señal color representa el promedio de las velocidades presentes en el vaso analizado, con lo cual no es posible inferir velocidades máximas; para calcular velocidades e índices se debe recurrir al registro espectral.

Con respecto al aliasing en los equipos color, cuando la frecuencia Doppler que retorna al transductor excede el límite de Nyquist para el canal positivo, el color vira al opuesto; lo mismo ocurre para el canal negativo.

Al ser un artefacto, el cambio de color no significa inversión de la dirección circulatoria; la interlínea que separa ambos colores será blanca y representa al límite de Nyquist. Cuando realmente exista una modificación en la dirección de la columna circulante (por cambio de rumbo del vaso o del flujo en su interior), la interface entre ambos color será negra y representa a la línea de base. (46)

Sistema Power Angio (Doppler de energía)

Permite mostrar en pantalla la potencia de los ecos que provienen del flujo sanguíneo, superpuesta a la imagen bidimensional. Realiza un promedio de la potencia de la señal Doppler recibida, el cual es directamente proporcional al número de glóbulos rojos existentes en la región de estudio.

La información obtenida es independiente del ángulo, no tiene aliasing y el color representa densidad de sangre, es decir cantidad o concentración de glóbulos rojos; establece contrastes entre blancos de escasa y alta concentración, mostrando la variación de amplitud o potencia (power).

Este sistema tiene mucha mayor sensibilidad que el Doppler color convencional y es el método de elección para el estudio de flujos extremadamente lentos.

Filtros de pared

Sirven para eliminar los cambios de frecuencia que ocurran por debajo del umbral seleccionado. Su ajuste ideal apunta a "borrar" ruidos indeseables de baja frecuencia (como el latido parietal y la vibración de tejidos perivasculares) sin suprimir el registro de las velocidades más bajas, que interesa incluir en el espectro.

Si el filtrado es insuficiente, los ruidos generados aparecerán como una señal montada en la línea de base. Por el contrario, si el filtrado es excesivo y el ajuste resulta superior a las velocidades diastólicas del vaso, no hay representación gráfica de las mismas; el registro mostrará ausencia de velocidades diastólicas, interpretando erróneamente el hecho como una resistencia distal aumentada.

El sistema Doppler dúplex pulsado se ha convertido en el instrumento estándar en el que se basan la mayoría de los exámenes realizados. La imagen Doppler color es muy apropiada para identificar aquellas regiones de una imagen ultrasónica que contienen sangre con flujo, para guiar la localización del volumen de muestra y así aumentar la rapidez y facilidad de un examen dúplex.

Hemodinamia

1) Perfiles de flujo

La forma en que se distribuyen las velocidades en el registro espectral o modo en que se agrupan los glóbulos rojos según su velocidad de desplazamiento dentro de un vaso determina tres perfiles de flujo que dependen del calibre y trayecto del vaso, del patrón de flujo en el vaso que la origina y de las características del lecho distal.

a) Plug: Espectro delgado con amplia ventana sistólica; es característico de vasos largos, rectos y de buen calibre. La mayoría de los glóbulos rojos circulan a una velocidad similar, inscribiendo un trazado de escaso espesor (rango de velocidades estrecho). No es usual en vasos analizados en Doppler obstétrico.

b) Laminar: Es la estructura del flujo parabólico; los glóbulos rojos progresan con mayor velocidad en el eje central, con disminución de la misma hacia las paredes vasculares. Espectro ancho, con amplio rango de velocidades y poca ventana sistólica. Es característico de arterias de pequeño calibre, como las analizadas en Doppler obstétrico (uterina, umbilical).

c) Mixto: Combina rasgos de los patrones antes descritos, con ascenso sistólico muy delgado y descenso sistólico y fase diastólica de espectro ancho.

Velocimetría

Técnica por medio de la cual es posible calcular la velocidad del blanco móvil en base al efecto Doppler. Se aplica para detectar presencia, dirección, velocidad y patrón del flujo sanguíneo.

Registro espectral (ondas de velocidad de flujo)

Representación gráfica del movimiento de los glóbulos rojos con respecto al tiempo. En el eje vertical se representan los cambios de frecuencia convertidos a velocidades, y en el eje horizontal se ubica el tiempo.

Debido a que los glóbulos rojos no circulan con velocidad uniforme, el equipo recibe una gama de frecuencias en la unidad de tiempo. El procesamiento habitual de la información que llega al transductor es el análisis espectral; el espectro de frecuencias Doppler obtenido es procesado por el equipo y convertido a las velocidades equivalentes.

La línea de base (LB) representa la ausencia de señal Doppler (velocidad cero); los registros arteriales suelen aparecer por encima de la línea y los venosos por debajo. El segmento inicial de la onda de velocidad de flujo es la fase ascendente de la sístole y culmina en el punto que representa la máxima velocidad alcanzada (pico sistólico). En relación con los índices, recibe la denominación de A.

A partir del pico sistólico las velocidades caen conformando la fase descendente de la sístole. El componente sistólico de la onda está regido por la fuerza contráctil del corazón. A partir del cierre valvular aórtico (cva), se grafican las velocidades correspondientes a la diástole, la cual

depende de la elasticidad del vaso. El valor diastólico que se toma en cuenta en velocimetría Doppler es el máximo valor alcanzado al final del período o velocidad telediastólica (46).

Entre ambas fases sistólicas y la línea de base se delimita un espacio denominado ventana sistólica (VS), la cual es pequeña en el flujo laminar debido a su ancho espectro. Durante la diástole existe mayor diferencia entre las velocidades de los glóbulos rojos centrales y periféricos por lo que el espectro se ensancha; en cambio, durante la sístole los glóbulos rojos se desplazan a una velocidad más uniforme con lo cual el ancho del espectro disminuye.

Si la frecuencia recibida por el transductor es mayor que la emitida, ese gradiente positivo significa que el flujo se aproxima por lo que el espectro se inscribe como señal positiva (por encima de la línea de base); si la frecuencia que retorna es menor que la emitida, la onda de velocidad de flujo se graficará por debajo de la línea (señal negativa).

Análisis vascular

Las arterias evaluadas en Doppler obstétrico tienen escaso calibre y algunas son de trayecto flexuoso. Esto, sumado al movimiento potencial fetal y del cordón umbilical determina que no se pueda conocer con certeza el ángulo de ataque ni realizar una corrección angular confiable.

Por lo tanto, no se evalúan las cifras de velocidad absoluta sino que se recurre al análisis de las relaciones entre ellas, que son independientes del ángulo. Para acceder a las ondas de velocidad de flujo del segmento vascular a estudiar, se debe obtener un volumen de muestra; habitualmente se presenta como un rectángulo o 2 líneas paralelas sobre la línea direccional e indica el lugar a analizar.

Índices de resistencia

En el Doppler obstétrico se evalúa la morfología de la onda de velocidad de flujo y se calculan ciertos índices velocimétricos estableciendo relaciones entre pico sistólico y velocidad telediastólica sin medir sus velocidades absolutas.

Dichos índices aportan información respecto del lecho distal (destino final del vaso analizado), lo cual fue propuesto en 1974 por Pourcelot. Existen tres índices que suministran información respecto de la resistencia vascular distal a la cual se considera determinante principal del flujo sanguíneo, fundamentalmente en los lechos vasculares terminales. (25)

Se denomina índice de resistencia a:

- $IR = A$ (pico sistólico) - B (velocidad telediastólica) / A
- El índice sístole/diástole (S/D)
- Se define como $S/D = A / B$

El índice de pulsatilidad (IP) fue propuesto en 1975 por Gosling y King, y se define como: $IP = A - B / M$ (velocidad media calculada automáticamente)

Cuanto mayor sea el valor del índice obtenido, mayor será la resistencia distal que enfrenta el segmento vascular estudiado. Para la determinación de índices se debe intentar seleccionar una

secuencia no menor de cinco ciclos en que las ondas de velocidad de flujo sucesivas aparezcan idénticas.

Muchos factores fisiológicos pueden incidir en la configuración de la onda: debido a la respiración fetal, la longitud del ciclo cardíaco puede ser irregular lo cual incide en el tiempo de caída del flujo diastólico en el nivel basal.

Si existe bradicardia, los ciclos cardíacos más prolongados determinan que la caída de la velocidad de flujo diastólico hasta el nivel basal lleve más tiempo, con lo cual aumenta la relación de velocidad de flujo entre sístole y diástole. Un ángulo de incidencia subóptimo ó una mala regulación de las ganancias también pueden influir en la configuración de la onda de flujo.

La onda de velocidad de flujo se considera anormal cuando aumenta la distancia entre sístole y diástole o cuando existe ausencia o inversión del flujo diastólico, independientemente de la variante morfológica que adopte.

VASOS ANALIZADOS EN DOPPLER OBSTÉTRICO

La evaluación Doppler de los vasos debe ser efectuada en ausencia de movimientos corporales enérgicos y durante episodios de apnea fetal.

El crecimiento y desarrollo normal del feto depende sobre todo de la adecuada cantidad de oxígeno y nutrientes provenientes del flujo sanguíneo a través de la circulación feto placentaria. Por esto, el estudio del flujo de la arteria uterina entre las 24 y 26 semanas de gestación nos informará acerca de cualquier cambio patológico.

De la misma forma, el estudio del flujo de la arteria umbilical y de la arteria cerebral nos permiten determinar el bienestar fetal y el diagnóstico temprano de compromiso fetal, cuando éste ocurre⁷.

Durante el embarazo, el flujo de la arteria umbilical se determina fácilmente, habiéndose establecido patrones de flujo normal para las diversas edades de la gestación. Trazos de flujo anormal se asocian con mortalidad perinatal, sufrimiento fetal crónico y anomalías congénitas³.

El flujo de la arteria cerebral, en fetos normales tiene un índice de resistencia mayor que el de la arteria umbilical, de tal modo que la relación entre ambos es siempre mayor que 1. Cuando esta relación se altera, es decir, que el resultado es menor que 1, estamos observando redistribución del flujo fetal por hipoxia y sufrimiento fetal^{1,17,11}.

El Doppler de la arteria uterina se consideró anormal cuando se incrementó el valor del IR para la edad gestacional, por la ausencia de flujo diastólico o inversión de flujo.

la presencia de una muesca en la flujometría Doppler de la arteria uterina^(7,68), está asociada a enfermedad hipertensiva y RCIU y puede ser un método útil de diagnóstico y pronóstico temprano en el control prenatal. (9-11,14).

La evaluación de la forma de onda de velocidad de flujo de la arteria uterina alerta cuando un índice de resistencia sea anómalo (A-B mayor a 2.60, IR más de 0.62) o haya un *notch* protodiastólico. Si una de las dos arterias uterinas muestra un índice de resistencia mayor a

0.62 o tiene un *notch* a partir de la semana 24, es indicación de resultado anormal.^{5,10} Fig 10b.

Un índice de resistencia (IR) de arteria uterina $> 0,58$ cuando es realizado entre las semanas 22 y 24, tiene una sensibilidad media del 87% en la predicción de preeclampsia, RCIU y resultado adverso perinatal. (Coleman MA et al. Ultrasound Obstet Gynecol 2000. 15(1):7-12)

Las alteraciones de la flujometría Doppler de la arteria umbilical están asociadas a mortalidad perinatal con ausencia de flujo diastólico e inversión de flujo, hallazgos que representan un signo ominoso, especialmente cuando está asociado a toxemia severa y RCIU.

Las pacientes con riesgo de insuficiencia útero-placentaria, con alteración de la relación entre los índices de resistencia de la arterias cerebral/umbilical, puede identificar compromiso fetal antes que la prueba sin estrés. Estos hallazgos, en numerosos estudios, demuestran el valor del estudio de flujometría Doppler en el diagnóstico y manejo del RCIU¹⁷.

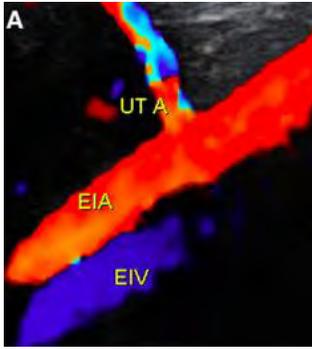
Otros investigadores han comparado la utilidad de la prueba sin esfuerzo y el Doppler de la arteria cerebral media, para evaluar el compromiso fetal. Wiener⁽²²⁾ estudió 13 fetos con ausencia de flujo diastólico en la arteria umbilical antes del parto y encontró que no existen variaciones de la frecuencia cardíaca fetal, a pesar de un aumento significativo en la velocidad de flujo diastólico en la arteria cerebral media, ya que la alteración de la frecuencia cardíaca ocurre después de la pérdida de la capacidad de vasodilatación de la arteria cerebral media.

La hipoxemia es mejor reconocida por la flujometría Doppler de la arteria cerebral media que por cambios en la frecuencia cardíaca fetal.

Los fetos con RCIU con Doppler de arteria cerebral media y prueba sin esfuerzo, concluyendo que el Doppler de la arteria cerebral media es el mejor predictor del estado ácido base del feto.

ARTERIA UTERINA

Desde el punto de vista anatómico, la arteria uterina es rama de la arteria ilíaca interna o hipogástrica y cruza la arteria ilíaca externa.⁽⁴⁴⁾ La forma de buscarla, consiste en la colocación del transductor en la fosa ilíaca por dentro de la espina ilíaca anterosuperior, aparecerá la arteria uterina cruzando a la ilíaca. El punto exacto para ubicar el Doppler gate es justo antes del entrecruzamiento vascular. Fig. 8.



**Fig. 8. Arteria uterina (UTA) en el punto de cruce
Con los vasos iliacos.**

El circuito útero-placentario, incluye las ondas de velocidad de flujo de la arteria uterina, el espacio retrocorial, la arteria umbilical y vena umbilical, sectores que han demostrado utilidad en la predicción de hipertensión inducida por el embarazo (HIE), el crecimiento fetal retardado (CFR) y el desprendimiento prematuro de placenta . (5).

Los índices utilizados para valorar la arteria uterina son la relación sístole/diástole (S/D), el índice de pulsatilidad (IP), el índice de resistencia (IR) y el índice de la incisura (de poco uso en la actualidad)



Fig. 9 Esquema de los índices utilizados en obstetricia

De todos ellos, el que tiene mayor uso y aplicabilidad es el IP. Los puntos de corte para la normalidad son los siguientes: **S/D con valor menor de 2,4, IR menor de 0,56 e IP menor de 1,45.8**. Esto se explica porque a medida que aumentan los flujos, las resistencias caen. Actualmente se toma un promedio de los resultados de ambas arterias y ese es el reportado.

Perfiles de onda en la circulación útero-placentaria normal.

Útero no grávido

Los perfiles de onda de la arteria uterina que se obtienen de úteros sin embarazo se caracterizan por alta impedancia del flujo sanguíneo. Los índices Doppler (coeficiente S/D, IP e IR) varían de acuerdo con la fase del ciclo menstrual. La ausencia de velocidades finales diastólicas y muescas al principio de la diástole son más pronunciadas en la fase folicular.



Fig. Patrón de flujo normal de la arteria uterina en el cual hay flujo diastólico alto (flecha), ausencia de incisura en IP bajo.

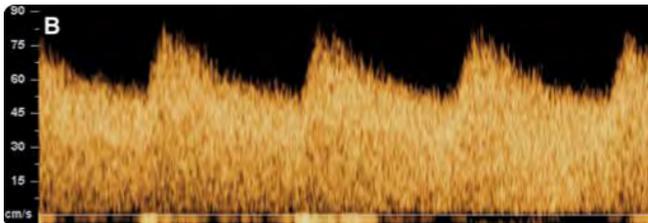


fig. 10a Perfil de ondas de velocidad normal de la arteria uterina. Nótese las velocidades altas durante la diástole.

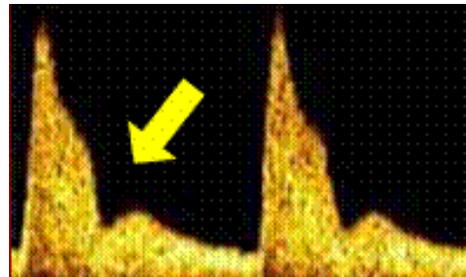


Fig. 10b Ondas Doppler alteradas por la presencia de la Incisura protodiastólica (flecha). Semana 26 de gestación.

En la literatura la evaluación Doppler deben analizarse 3 ondas continuas.

Para obtener el IP de cada arteria uterina independientemente usando el valor de IP de 1.41 para diferenciar entre normal y anormal. (Doppler ultrasonography in obstetrics: from the diagnosis of fetal anemia to the treatment on intrauterine growth-restricted fetuses, 2003: 10.054, Obsterics, Giancarlo Mari, MD)

En el primer trimestre

La circulación intervellosa materna sólo se establece totalmente aproximadamente a las 11 o 12 semanas, antes, el espacio intervellosa de la placenta definitiva está separado de la circulación uterina por una lámina de trofoblasto que taponan el extremo de las arterias uteroplacentarias.(8) De ésta manera una cantidad muy limitada de sangre materna llega al espacio intervellosa durante el primer trimestre y las señales de Doppler color no se detectan en la sustancia placentaria.(12) La detección del flujo sanguíneo en el espacio intervellosa durante el primer trimestre está asociado con una alta frecuencia de aborto.

ANATOMIA VASCULAR FETAL

La ecografía Doppler revela la vascularidad fetal con gran detalle desde el primer trimestre, aunque proporciona más detalle a partir del segundo trimestre.

El flujo va desde la vena umbilical hasta el conducto venoso y después dentro de la vena cava inferior hacia la aurícula derecha.(23) La vena umbilical se ha valorado desde el punto de vista de la ausencia normal o la presencia anormal de modulaciones en el perfil de onda venoso y del cálculo de los volúmenes de flujo.

Arteria Umbilical

El cordón umbilical se forma a partir del tallo corporal y del conducto vitelino, se puede observar con ultrasonido transvaginal desde las 7 semanas de gestación. (35)

Está formado por dos arterias y una vena. Uno de sus extremos se implanta en la placenta y el otro en la cara anterior y media del abdomen fetal. Fig. 11.

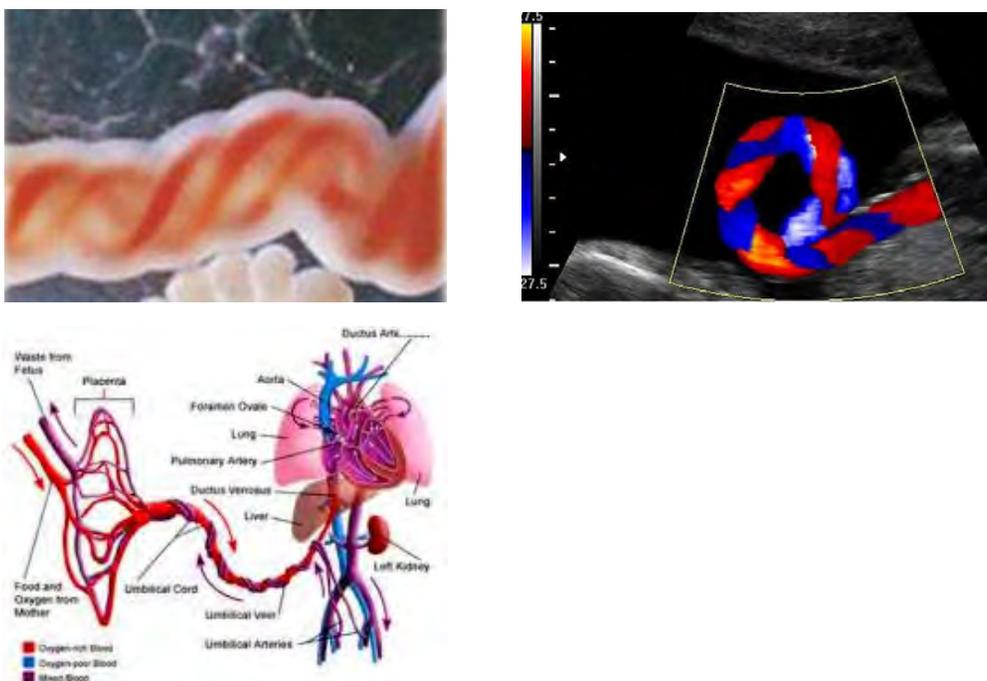


Fig. 11 Muestran el cordón umbilical formado por dos arterias (rojo en Doppler Color, fig izq.) y una vena. Abajo: Muestra la circulación fetal.

A partir de ahí, las arterias izquierda y derecha se separan y se dirigen hacia las arterias ilíacas con las que se anastomosan.(8) La vena umbilical trae sangre oxigenada de la placenta al feto; ingresa dirigiéndose hacia el hígado y el seno portal desde donde se comunica con la circulación general a través de la vena porta y del ductus venoso.

El análisis de la onda de velocidad de flujo de la arteria umbilical tiene como objetivo el estudio de la resistencia periférica de la placenta. (9)

A las 7 semanas de gestación, la resistencia periférica es muy alta por lo que la onda muestra únicamente el componente sistólico, con ausencia de velocidad diastólica, debido a la pobre vascularización placentaria.

Entre las 12^a. y 14^a. semanas comienza a visualizarse flujo diastólico con un progresivo y permanente aumento hasta el término del embarazo. Todos los fetos deben presentar flujo telediastólico en la semana 20; hacia las 28-30 semanas suele conseguirse una onda madura de velocidad de flujo en la arteria umbilical.

La forma de la onda es simple, sin muesca sistólica ni diastólica y con gran velocidad de flujo diastólico. El análisis de las curvas muestra una constante disminución de la resistencia placentaria a lo largo de la gestación normal. (18)

A pesar de que la resistencia al flujo en el espacio intervilloso no se modifica durante el tercer trimestre, en la arteria umbilical sigue disminuyendo hasta la semana 42; esto se debe al aumento del caudal del árbol vascular placentario.

Para colocar la muestra Doppler, cualquier punto del cordón umbilical es buen lugar, excepto en sus extremos como son: la implantación placentaria y la pared abdominal fetal, ya que pueden presentar flujo turbulento que altere la forma de la onda. (18)

Valores normales de Doppler de arteria umbilical (30 semanas, p 50)

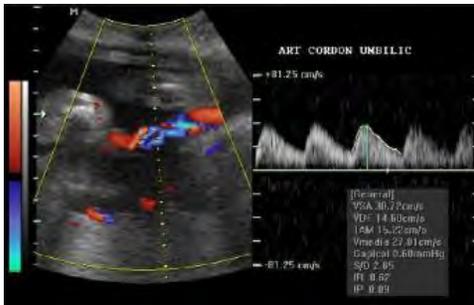
- Índice Sístole/Diástole (S/D) **2.96**
- Índice de Resistencia (IR) **0.65**
- Índice de Pulsatilidad (IP) **1.03**

Nota: El Doppler de la arteria umbilical deberá estar disponible para la evaluación de la circulación placentaria- fetal en embarazo con sospecha de insuficiencia placentaria grave.

La arteria umbilical es el reflejo de la circulación placentaria y como tal presenta patrones de flujo similares a los de la arteria uterina y contrarios a los de la arteria cerebral media. Normalmente, la arteria umbilical presenta una morfología de alto flujo y baja impedancia, no obstante, ante la presencia de obstrucción vascular a nivel placentario estos patrones comienzan a presentar cambios patológicos.²³

La circulación de la arteria umbilical normalmente es de baja impedancia con incremento en la cantidad de flujo diastólico final conforme avanza la gestación. Las formas de onda reflejan el estado de circulación placentaria, y el incremento de flujo final diastólico visto con avance de la gestación, es un resultado directo de un incremento en el número de vellosidades del tronco terciario que se lleva a cabo con la madurez de la placenta. Enfermedades que obliteran la musculatura en las arterias pequeñas arterias del tronco terciario en consecuencia a una disminución progresiva en el flujo final diastólico de la arteria umbilical, hasta la ausencia de las ondas, y la inversión del flujo durante la diástole. Fig. 12

Fig 12. Flujo normal de la arteria umbilical



El flujo diastólico inverso en la circulación de la arteria umbilical representa un estadio avanzado del compromiso placentario, y se asocia con mas del 70% de obliteración arterial placentaria. Fig 13

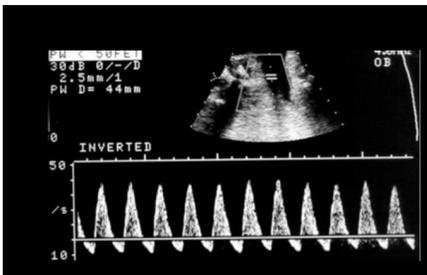


Fig. 13 Arteria umbilical formas de onda con inversión en el final de la diástole en un feto con restricción severa del crecimiento intrauterino.

La presencia o ausencia de inversión del flujo diastólico en la arteria umbilical comúnmente se asocia con restricción del crecimiento intrauterino y oligohidramnios.

Las ondas Doppler de la arteria umbilical se pueden obtener de algún segmento a lo largo del cordón umbilical. Las ondas obtenidas del último segmento del cordón muestran mas flujo diastólico final que las formas de onda obtenidas de la inserción del cordón en abdomen. (18) Los índices diferentes en Doppler de las ondas arteriales obtenidas de diferente localización anatómica del mismo cordón son menores y no tienen importancia clínica. Fig. 14.

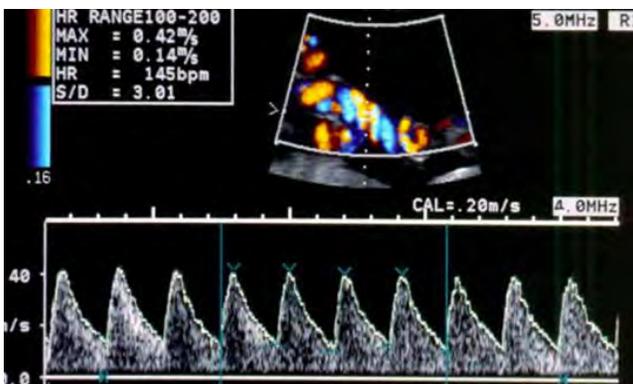


Fig. 14 Feto del 3er. Trimestre, con Doppler de la arteria umbilical, notese la baja impedancia con incremento en la velocidad diastólica final.

RECOMENDACIÓN

El Doppler de la arteria umbilical no deberá usarse como screening en embarazos normales, ya que no ha demostrado ser de gran valor en éste grupo. (33)

Técnica: para minimizar errores se debe visualizar correctamente al menos 5 ondas de velocidad de flujo pulsátil. (35) Medir el máximo pico sistólico y mínimo diastólico obtenidos. El ángulo de insonación debe ser el mínimo, en orden a evitar la subestimación de valores (a pesar del uso de índices ángulo-independientes). Se recomienda que el asa de cordón umbilical se encuentre en una posición lo mas vertical posible y cercano a la inserción placentaria para que el estudio sea suficientemente confiable. Fig. 15.

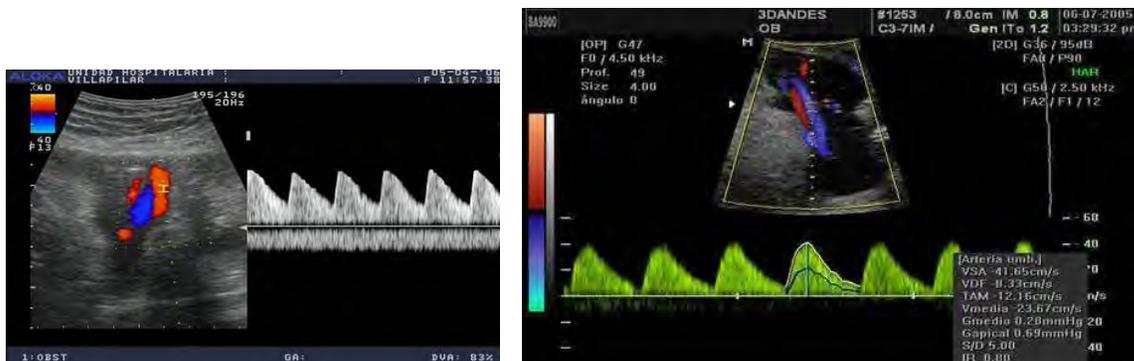


Fig. 15 y 16 morfología normal de las ondas Doppler de la Arteria umbilical con flujos diastólico elevado y con índice De pulsatilidad y relación S/D bajos.

Patrón anormal Doppler de la arteria umbilical

Nota: Dependiendo de otros factores, reducción, ausencia o inversión del flujo diastólico final en la arteria umbilical es una indicación para mayor vigilancia fetal o interrupción del embarazo. Si la interrupción se retrasa para mejorar la maduración pulmonar con administración materna de glucocorticoides, se sugiere vigilancia fetal intensiva hasta la interrupción para los fetos con inversión del flujo diastólico final

Circulación cerebral fetal

Drumm y Fitz Gerald reportaron las ondas anormales en fetos con restricción en el crecimiento intrauterino y la inversión del flujo en la arteria umbilical asociada con un pobre pronóstico.

El examen Doppler de la arteria umbilical puede disminuir la mortalidad perinatal en embarazos de alto riesgo(2) y la exploración de la arteria cerebral media se ha convertido en el método estándar para el diagnóstico de anemia fetal, sin necesidad de métodos invasivos.

En el estudio Doppler de la circulación cerebral fetal, puede evaluarse una sola arteria que sea representativa del total, como la arteria cerebral media, pero si se encuentra algún índice anormal, el estudio deberá ser completo.

La arteria cerebral media es rama terminal de la arteria carótida interna y, junto con la arteria cerebral anterior, es responsable de la irrigación de la mayor parte del cerebro.

En un corte axial transtalámico de la calota fetal puede apreciarse la cisura de Silvio; a nivel de esta se visualiza una estructura ecogénica pulsátil que corresponde a la arteria cerebral media.

El polígono de Willis se aprecia mejor en un corte axial a nivel de los pedúnculos cerebrales, donde también se puede observar el latido de la arteria basilar en la línea media. Una referencia importante es la presencia de las alas mayores del esfenoides, que se visualizan en situación más frontal que los pedúnculos cerebrales como dos líneas ecogénicas a cada lado de la línea media, abriéndose hacia adelante y afuera; se ubica la muestra sobre el recorrido de las mismas a 10-15 mm de la línea media y se obtiene la onda de velocidad de flujo de la porción inicial de la arteria cerebral media (proximal). (14) Fig 17



Fig. Muestra el Círculo Arterial cerebral

Normalmente la circulación cerebral tiene una alta impedancia con movimiento continuo del flujo hacia delante de todo el ciclo cardiaco

La Arteria cerebral media es el vaso cerebral mas accesible para la imagen ecográfica en el feto, lleva mas del 80% del flujo sanguíneo cerebral.

RECOMENDACIÓN

La medición de la velocidad pico sistólica de la arteria cerebral media es un predictor de anemia fetal severa puede ser usada para evitar procedimientos invasores innecesarios en embarazos complicados con isoimmunización celulas sanguíneas rojas

La onda de velocidad de flujo del segundo segmento (distal) se logra ubicando la muestra en la porción más extrema del ala mayor del esfenoides. En caso de que la cabeza fetal se encuentre muy descendida se puede utilizar el transductor transvaginal. La forma de la onda de velocidad de flujo de la arteria cerebral media muestra un patrón altamente pulsátil. El flujo diastólico aparece a partir de las 20 semanas y persiste hasta el término de la gestación. Fig 18.

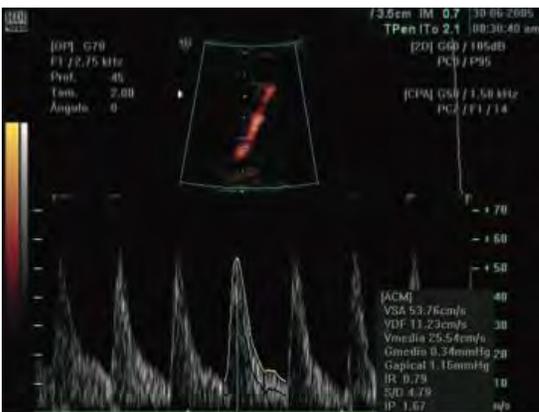


Fig 18 Doppler color de MCA - Sitio ideal. Centro de la arteria a 2 mm de su origen.

La velocidad de flujo y la resistencia vascular varían durante el transcurso del embarazo. El índice de pulsatilidad presenta un patrón parabólico con aumento desde la semana 15, alcanza valores máximos entre las 25 y 30 semanas, con caída en el tercer trimestre.

Los índices de pulsatilidad más bajos estarán relacionados con un aumento en la síntesis de ADN en el cerebro fetal durante las primeras 15 semanas y al final del tercer trimestre, períodos durante los cuales se evidencia un aumento en el flujo sanguíneo cerebral.⁽²³⁾ El índice de resistencia va disminuyendo al final del tercer trimestre, y esto es más marcado a partir de la semana 36.

Valores normales de Doppler de arteria cerebral media a las 26 semanas. Índice Sístole/Diástole (S/D) > 4.

Técnica: la ubicación del transductor debe ser en un plano estándar de diámetro biparietal, incluyendo el tálamo y el cavum del septum pelucidum. La arteria cerebral media (ACM) puede ser vista pulsando a nivel de la ínsula. ⁽⁴⁵⁾ En esta posición se mueve el transductor hacia la base del cráneo, logrando una visión de los pedúnculos cerebrales. Obteniendo una imagen Doppler color adecuada del polígono de Willis, se investiga la ACM aproximadamente un centímetro desde su nacimiento, como la principal rama en dirección ántero-lateral hacia el borde lateral de la órbita. Fig. 19.



Fig. 19. Ubicación de la ACM

Se debe ejercer la mínima presión con el transductor sobre la calota fetal, en orden a no producir un aumento transitorio de presión intracraneana y errores de medición

b. Tamizaje para insuficiencia placentaria

Se ha utilizado para la detección de trastornos hipertensivos, RCIU, resultado perinatal adverso y muerte fetal; también es útil como predictor de la severidad.

El momento ideal para realizar el examen de arterias uterinas es entre las 20 y las 26 semanas en mujeres de bajo riesgo. En mujeres de alto riesgo el examen se puede comenzar a realizar desde la semana 18, si el examen reporta resultados anormales se debe recomendar realizar una segunda evaluación a la semana 24-26, momento para el cual deben haberse generado los cambios de aumento del flujo diastólico, pérdida de la incisura e IP bajo.²³ (Figura 20).



Fig 20. Imagen del patrón de flujo anormal de la arteria uterina luego de la semana 26, en el cual se observa incisura (notch) y flujo diastólico bajo.

Si una paciente a las 26 semanas no ha presentado los cambios, es muy poco probable que su situación cambie en las siguientes semanas de embarazo, por tanto debe ser catalogada como paciente de alto riesgo y amerita vigilancia estricta a las 28, 32 y 36 semanas de embarazo.

Este estudio tiene una alta especificidad (>90%), pero su sensibilidad es baja (aproximadamente 60 - 70%).(33) Esto quiere decir que aquellas pacientes con pruebas normales tienen pocas posibilidades de desarrollar insuficiencia placentaria, mientras que aquellas con pruebas anormales tienen un 60% de posibilidades de desarrollar la enfermedad.

En una evaluación en el segundo trimestre la evaluación debe estar encaminada a encontrar marcadores tempranos de disfunción placentaria.

Prevención Secundaria

a. Diagnóstico de RCIU (Retardo en el Crecimiento Intra Uterino)

Quizá el campo donde mayor desarrollo ha tenido el estudio de ecografía Doppler vascular fetal ha sido en la vigilancia de la restricción del crecimiento intrauterino. En la actualidad se conoce de manera más o menos clara cuáles son los fenómenos vasculares acaecidos en un feto con restricción y cuál es la secuencia cronológica de ellos.(4) Además el Doppler facilita la distinción entre aquellos fetos sanos pequeños para la edad gestacional y aquellos con patología establecida.³⁷

Se considera que aquellos productos con peso fetal estimado por debajo del percentil 10 para la edad gestacional, deberían ir a un estudio Doppler como rutina, para así establecer o descartar el diagnóstico.³⁸

Establecer de manera clara el cuadro de restricción es de vital importancia, dado que a través del estudio Doppler podemos saber cuál es el momento adecuado para la interrupción del embarazo. (28)

De los vasos estudiados, los de mayor utilidad diagnóstica son la arteria umbilical y la arteria cerebral media. En caso que estos vasos presenten patrones anormales se deberá realizar además estudio de vasos venosos.¹⁶

Fisiopatología de los cambios en el Doppler de fetos con RCIU

A lo largo del proceso de descompensación hemodinámica el feto va presentando una serie de cambios secuenciales susceptibles de ser evaluados mediante ecografía Doppler, buscando conocer el momento óptimo para la interrupción del embarazo. (32)

Dentro del estudio Doppler existen cambios tempranos y cambios tardíos.³⁹ Los cambios tempranos: el primero es una disminución en el flujo de la arteria umbilical debido al aumento de la resistencia vascular placentaria, esto lleva a que en el feto se disparen mecanismos compensadores buscando redistribuir su flujo sanguíneo hacia áreas críticas de su organismo (cerebro, corazón, glándulas adrenales), mientras de la misma manera se deja de perfundir adecuadamente otras áreas, lo que genera disminución en la tasa de crecimiento y oligoamnios (hipoperfusión ósea, hepática y renal).⁴⁰ Esto en el sistema nervioso central es conocido como efecto *brain-sparing* (reflejo cerebral de preservación) y es visible con ecografía Doppler, la cual muestra aumento del flujo diastólico en la arteria cerebral media, así como caída en su índice de pulsatilidad.⁴¹ Este cambio refleja el aumento del flujo sanguíneo cerebral generado por la redistribución activada por los quimio y barorreceptores ubicados en el cayado aórtico y en las carótidas.⁴² Es de anotar que este cambio en la morfología de las ondas de la ACM no es signo de acidosis fetal y por tanto no es de manera aislada criterio para desembarazar a la paciente, ya que no se ha comprobado que genere secuelas a largo plazo en el producto de la gestación.

El último paso de esta primera etapa de cambios tempranos, es la pérdida del flujo diastólico de la arteria umbilical.

Parece ser que esta serie de cambios obedecen a un proceso de hipoxia compensada y que se dan alrededor de 7 a 10 días antes que el feto presente cambios de descompensación y acidemia.

Cambios tardíos: luego de los cambios descritos, se empieza a generar en el feto una alteración hemodinámica de tal magnitud que lleva a compromiso de la circulación venosa.

El primer cambio de esta segunda etapa consiste en la pérdida de la onda A (contracción auricular) a nivel del *ductus* venoso, lo cual refleja compromiso de la función miocárdica. Ya para este momento el feto ha comenzado a entrar en un proceso de acidosis que lo puede llevar a la muerte.

Solo hasta ahora, las pruebas de vigilancia fetal tradicionales (monitoría fetal sin estrés y perfil biofísico) comienzan a alterarse. Posteriormente el feto presenta inversión del flujo a nivel de la arteria umbilical. Luego el compromiso venoso se hace más profundo, la redistribución es más severa y la hipoxia-acidosis se hace más marcada.

El producto presenta luego inversión del flujo atrial a nivel del ductus venoso. Los cambios finales se dan cuando la función ventricular está tan comprometida que lleva a que se genere flujo pulsátil a nivel de la vena umbilical (es normal que haya pulsaciones hasta la semana 13 de gestación). Finalmente el feto pierde los mecanismos de autorregulación cerebral (*brain-sparing*), por lo cual el flujo diastólico que se había aumentado inicialmente, cae de nuevo a límites normales y la morfología Doppler de la ACM aparece con un aspecto normal (Figura).



Fig. Se muestra la secuencia cronológica de cambios en Doppler generados en un feto con RCIU y en proceso de descompensación hemodinámica. 1. Disminución del flujo diastólico en la arteria umbilical. 2. Aumento en el flujo diastólico en la arteria cerebral media. 3. Pérdida del flujo diastólico en la arteria umbilical 4. Pérdida de la onda de contracción atrial en el ductus venoso. 5. Flujo invertido en la arteria umbilical. 6. Flujo reverso en el ductus venoso. 7. Flujo pulsátil en la vena umbilical. 8. Pérdida de la compensación generada en el SNC, con patrón de flujo en cerebral media aparentemente normal.

El proceso de descompensación hemodinámica fetal, en la mayoría de los casos no se da al azar, y que por el contrario estos cambios llevan un orden secuencial lógico que ofrece la posibilidad de reconocer cuando el ambiente intrauterino es demasiado hostil para el feto y por tanto debe interrumpirse el embarazo.

El momento ideal para llevar a cabo la interrupción es cuando se comienzan a observar las alteraciones tardías en el Doppler; sin embargo el clínico debe valorar el riesgo de prematuridad contra el riesgo de hipoxia; 43 lo que sí parece claro es que aquellos fetos con más de 34 semanas de gestación y pruebas de vigilancia alteradas deben ser llevados cesárea .44

Vale la pena anotar que las pruebas tradicionales de vigilancia fetal (perfil biofísico y prueba sin estrés) solo se alteran en estadios avanzados de compromiso fetal y por tanto no son óptimas para el seguimiento de este tipo de pacientes.45

Diagnóstico de anemia fetal

Uno de los principales objetivos es tratar de disminuir la cantidad de procedimientos invasivos y buscar pruebas diagnósticas que los replacen de manera confiable. Uno de los campos en los que más se ha avanzado es en el diagnóstico de la anemia fetal.46

Las principales causas de anemia fetal son los cuadros de isoimmunización, ya sea al factor Rh o a los subgrupos sanguíneos y la infección por el parvovirus B-19.⁴⁷

Así como en la vida adulta, la anemia en el feto genera cambios hemodinámicos importantes. Inicialmente debido a la baja masa eritrocitaria se aumenta el gasto cardíaco tratando de suplir las demandas de oxígeno y de la misma manera al haber una menor cantidad de hematíes circulantes la viscosidad sanguínea disminuye llevando a una mayor velocidad de la sangre dentro del compartimiento intravascular.⁴⁸

Este cambio de velocidad puede ser valorado con Doppler, siempre y cuando se conozca el ángulo al cual se va a insonar el vaso. (35)

En la búsqueda de la arteria que cumpliera con dichas características, se empezó a estudiar la cerebral media, dado su trayecto lineal que ofrecía un ángulo conocido cercano a los 0°. Se encontró que el pico de velocidad sistólico posee una clara relación con el grado de anemia fetal y que tenía una sensibilidad y especificidad por lo menos igual al estudio delta 450 en líquido amniótico y con la ventaja de ser una prueba no invasiva.

El estudio juicioso de la velocidad de la arteria cerebral media permite decidir cuál es el momento adecuado para tomar acciones terapéuticas en un feto (cordocentesis – transfusión *in útero*) sin realizar pruebas invasivas previamente.

Para hacer un diagnóstico preciso de anemia fetal se debe seguir una técnica estricta y estandarizada. La cerebral media debe ser observada en su totalidad, evidenciando un trayecto lineal (ángulo de insonación menor de 30°) y el Doppler *gate* debe colocarse 2 mm después de su nacimiento en la arteria carótida; idealmente se deben lograr 30 ondas de morfología similar y en la mayor de ellas tomar el pico de velocidad, el procedimiento se debe repetir en 2 ocasiones más y reportar el mayor valor obtenido.

Los cuadros anémicos fetales se pueden dividir en moderados y severos, y solo aquellos cuadros severos (usualmente acompañados de *hidrops fetal*) deben ser llevados a transfusión. Se considera anemia severa cuando el pico de velocidad sistólica esta 1,55 múltiplos de la mediana por encima del valor de referencia para la edad gestacional.⁴⁹

En fetos con procesos anémicos se debe hacer seguimiento del pico de velocidad sistólica de arteria cerebral media por lo menos una vez a la semana, tratando de descubrir en qué momento el feto requiere terapia invasiva. Hay que tener en cuenta dos consideraciones importantes respecto al seguimiento de estos pacientes; lo primero es que fetos en riesgo de anemia (por ejemplo con prueba de Coombs positiva) así tengan un pico de velocidad sistólico normal, requieren seguimiento semanal con Doppler (durante tres semanas). Si el aumento de velocidades entre una muestra y otra es mayor de 1,99 cm/s el feto es de alto riesgo, mientras que si la diferencia entre las tomas es menor, el feto puede ser seguido cada 10 a 14 días hasta la semana 35 de embarazo.⁴⁰ Lo segundo es que el pico de velocidad sistólica sigue siendo un método confiable aún en aquellos fetos que ya han sido transfundidos.⁵⁰ Finalmente hay que recordar que el estudio de la velocidad pico sistólica de la ACM no es una prueba de tamizaje y por tanto no debe aplicarse a población de bajo riesgo, ya que esto solo generaría preocupaciones innecesarias. Se han revisado entonces algunas de las aplicaciones del ultrasonido Doppler, sin embargo todavía quedan por analizar varias de las otras utilidades de este instrumento diagnóstico que ha llegado a ocupar un lugar de privilegio dentro del ejercicio obstétrico

La principal ventaja de la prueba consiste en su alta especificidad (>90%), mientras que su mayor inconveniente es su baja sensibilidad (aproximadamente 60 - 70%). Esto quiere decir que aquellas pacientes con pruebas normales tienen pocas posibilidades de desarrollar insuficiencia placentaria, mientras que aquellas con pruebas anormales tienen un 60% de posibilidades de desarrollar la enfermedad.

Trastornos hipertensivos del embarazo

La ultrasonografía Doppler es una de las herramientas clínicas más importantes para la vigilancia de fetos que sufren trastornos hipertensivos del embarazo. Un aumento en los índices de los vasos uterinos o umbilicales puede mostrar una alteración en la circulación placentaria.

Como fue analizado con anterioridad, la impedancia al flujo en las arterias uterinas va disminuyendo gradualmente a partir del primer trimestre, llegando a tener máxima dilatación y mínima resistencia alrededor de la semana 26 a 28.

En los embarazos complicados por hipertensión dicha impedancia puede aumentar debido a una implantación anormal, con menor invasión trofoblástica de las arterias espirales maternas. Así, las ondas de velocidad de flujo Doppler de las arterias uterinas muestran mayor resistencia, con un índice S/D mayor a 2.6 durante el tercer trimestre. (35) Este aumento de impedancia puede evidenciarse en una arteria uterina mientras que la otra tiene una resistencia normal. Se demostró que si la diferencia entre el índice S/D entre la arteria uterina derecha y la izquierda es mayor a 1 la incidencia de un resultado fetal adverso es alta; esto probablemente se deba a placentación unilateral. Varios estudios han sugerido que el estudio Doppler de la arteria uterina puede ser útil como una herramienta de screening para detectar precozmente aquellos embarazos que sufrirán trastornos hipertensivos.

Bower y colaboradores mostraron que utilizando solamente la presencia de la muesca protodiastólica, se obtuvo una sensibilidad del 78% y una especificidad del 96% para predecir toxemia, y se identificaron todas las pacientes que requirieron la finalización del embarazo antes de las 34 semanas por complicaciones secundarias a hipertensión.

Los resultados del estudio de Harrington y colaboradores, en el que el punto final analizado fue la preeclampsia, mostraron una sensibilidad del 78% y un valor predictivo positivo del 31%, que aumentó a 50% cuando la muesca era bilateral; el valor predictivo negativo fue del 99%.

La persistencia de la muesca protodiastólica en la onda de velocidad de flujo de la arteria uterina usualmente indica enfermedad hipertensiva severa; la presencia de dicha muesca durante el tercer trimestre está asociada con mayor incidencia de retardo de crecimiento intrauterino, cesáreas por sufrimiento fetal y partos prematuros.(26) Se cree que la presencia de una muesca es mejor predictor de un resultado perinatal adverso que el índice de resistencia ó el índice S/D.

Casi un 40% de los embarazos con hipertensión tienen aumentado el índice de resistencia en la arteria umbilical, lo cual se asocia con retardo de crecimiento intrauterino y aumento de la morbimortalidad perinatal.

Según Ducey y colaboradores hay mayor incidencia de partos prematuros, recién nacidos de menor peso y con mayor tasa de complicaciones cuando las ondas de velocidad de flujo de las arterias uterinas y umbilicales son anormales.⁽³¹⁾ La presencia de la muesca en la onda uterina junto con un índice de resistencia umbilical anormal se asoció con las complicaciones más severas (21% de mortalidad y 74% de fetos con retardo de crecimiento).

Por lo tanto, el estudio de velocimetría Doppler de la circulación útero y fetoplacentaria es de gran valor clínico para la vigilancia rutinaria de embarazos complicados con preeclampsia y otros trastornos hipertensivos del embarazo.

La insuficiencia placentaria es la principal causa de restricción del crecimiento intrauterino normal y puede identificarse usando la velocimetría Doppler de la arteria umbilical. (1-4)

El Doppler de la arteria umbilical proporciona una estimación de la resistencia vascular placentaria y del flujo placentario.

Hay una fuerte asociación entre la reducción de la diástole final del flujo de la arteria umbilical y un incremento en la resistencia vascular en la microcirculación umbilical-placentaria. (5-6)

Además las formas de onda Doppler anormales de la arteria umbilical se han asociado con incremento en el riesgo de acidosis fetal, medida durante cordocentesis (12) puede mejorar la puntuación del perfil biofísico en el pronóstico de academia fetal e hipercapnia.⁽⁸⁾

El uso de Doppler durante la vigilancia prenatal ha evaluado la arteria umbilical y las formas de onda de la velocidad de flujo venoso, la circulación cerebral fetal y la circulación venosa fetal, en particular el ductos venoso.

Evacuación de la función placentaria usando la Velocimetría de la arteria umbilical.

De 7 a 16 días post concepción el desarrollo del saco vitelino y desarrollo temprano de las vellosidades coriónicas primarias en su sitio. A partir de entonces la placenta corioalantoidea su desarrollo en etapas consiste en invasión de arterias espirales por citotrofoblasto endovascular, seguida de una segunda ola de invasión que se extiende dentro del miometrio. La organización básica de la placenta humana está presente en aproximadamente 20 días de embarazo. Futuro refinamiento de ésta estructura básica continúan hasta el término en el cual hay aproximadamente 50 a 60 tallos de vellosidades primarias que se ramifican en varios terminales o vellosidades terciarias. La ramificación de las raíces vellosas y el posterior desarrollo de la no ramificación microcirculación placentaria es responsable de una baja resistencia vascular e incremento del flujo sanguíneo placentario y el incremento en el intercambio transplacentario de gases caracteriza la placentación humana. Esta baja resistencia vascular umbilical-placentaria es también responsable de la elevación del final de la diástole en la velocidad del flujo sanguíneo en la arteria umbilical, vista durante el tercer trimestre en un embarazo normal.

Una reducción en la ramificación del tallo de las vellosidades y una disminución en el desarrollo de la no ramificación en la microcirculación placentaria resulta en un menor número de pequeñas arteriolas en las raíces de vellosidades terciarias, junto con engrosamiento de la

interfase placentaria materno- fetal. Esto da como resultado una resistencia vascular placentaria- umbilical anormalmente alta y reducción del flujo sanguíneo umbilical e hipoxemia crónica fetal.

Con un incremento relativo de la resistencia vascular placentaria, la velocidad de flujo al final de la diástole en la arteria del cordón umbilical se reduce, mientras que el componente del pico sistólico no se afecta significativamente. Como resultado varios índices Doppler han sido usado para cuantificar anomalías en las formas de onda de flujo de la arteria umbilical, incluyendo la relación A/B, el índice de resistencia o relación Pourcelot y el índice de pulsatilidad. Estos índices se correlacionan estrechamente y se pueden utilizar indistintamente con similares valores predictivos que los resultados perinatales.

La insuficiencia placentaria puede ser cuantificada a partir de la reducción de la velocidad de Flujo Doppler diastólico final 1.- en la reducción de la velocidad del flujo diastólico final, 2.- ausencia de velocidad de flujo diastólico final y 3.- velocidad de flujo diastólico final invertida. El riesgo de mortalidad perinatal incrementa hasta un 60%, “al aumentar la gravedad de la reducción para revertir la velocidad de flujo diastólico final.” Por lo tanto en presencia de una velocidad flujo diastólico final invertido de la arteria umbilical, el parto por cesárea debe considerarse si se logra la viabilidad fetal. Esta decisión se verá influenciada por la estimación del peso fetal, edad gestacional, otros parámetros Doppler y otras evacuaciones de la salud fetal, tal como anomalías anatómicas fetales y cromosómicas. En casos de prematuridad la entrega puede retrasarse durante 48hrs, permitiendo el máximo de beneficios al feto con administración materna de glucocorticoides, bajo tales circunstancias, el monitoreo continuo de la frecuencia cardiaca fetal hasta el parto deberá considerarse.

A una edad gestacional temprana la velocidad de flujo diastólico final de la arteria umbilical disminuida o ausente es indicación para aumentar la vigilancia fetal, pero no necesariamente interrupción inmediata. (23,35). Sin embargo, casi al término, la insuficiencia placentaria grave, se refleja por ausencia de velocidad de flujo diastólico final en la arteria umbilical, es una indicación para interrupción del embarazo. Los fetos con ausencia de velocidad de flujo diastólico final de la arteria umbilical tienen restricción del crecimiento más severo. (2,7) tienen mayor riesgo de morbilidad y mortalidad perinatal, (19) y requieren interrupción en edad gestacional temprana que aquellos con velocidad de flujo final diastólico. (21). Sin embargo cuando los fetos son igualados por edad gestacional y peso al nacer, sin diferencias en el resultado perinatal se encuentran en los grupos con y sin velocidad de flujo diastólico final. (24,36). Aunque la ausencia en la velocidad de flujo diastólico final puede no afectar a largo plazo el pronóstico neurológico la inversión de la velocidad de flujo diastólico final en la arteria umbilical se asocia con una amplia gama de problemas a edad escolar, (37) sugiere que esto represente descompensación intrauterina, la cual puede tener efectos adversos en el desarrollo cerebral.

RECOMENDACIÓN

Ya que la información inexacta respecto a los estudios de Doppler fetal podría dar lugar a desiciones clínicas inadecuadas, es imperativo que las mediciones deben realizarse e interpretarse por operadores expertos que conozcan el significado de los cambios Doppler y con técnicas apropiadas. El modo Duplex con Doppler pulsado y Doppler color es el mínimo requerimiento de un equipo de ultrasonido.

CONCLUSIONES

El ultrasonido actualmente puede detectar desde malformaciones hasta valoración de la vitalidad fetal y el estado hemodinámico de la madre, con la ayuda del Doppler obstétrico las posibilidades de evitar complicaciones en los mismos son mayores.

La correcta evaluación del Dopple Duplex, es indispensable para el diagnóstico certero y de ser necesario la interrupción del embarazo con el fin de brindar mejor calidad de vida al recién nacido y así evitar complicaciones.

En México es necesario contar con médicos experimentados en la realización de Ultrasonido Obstétrico y sobretodo del Doppler Duplex.

BIBLIOGRAFIA

1. Giles WB, Trudinger BJ, Cook CM. Fetal umbilical artery flow velocity-time waveforms in twin pregnancies. *Br J Obstet Gynaecol* 1985;92:490–7.
2. Giles WB, Trudinger BJ, Baird PJ. Fetal umbilical artery flow velocity waveforms and placental resistance: pathological correlation. *Br J Obstet Gynaecol* 1985;92:31–8.
3. Lackman F, Capewell V, Gagnon R, Richardson B. Fetal umbilical cord oxygen values and birth to placental weight ratio in relation to size at birth. *Am J Obstet Gynecol* 2001;185:674–82.
4. Lackman F, Capewell V, Richardson B, daSilva O, Gagnon R. The risks of spontaneous preterm delivery and perinatal mortality in relation to size at birth according to fetal versus neonatal growth standards. *Am J Obstet Gynecol* 2001;184:946–53.
5. Adamson SL. Arterial pressure, vascular input impedance, and resistance as determinants of pulsatile blood flow in the umbilical artery. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1999;84:119–25.
6. Thompson RS, Trudinger BJ. Doppler waveform pulsatility index and resistance, pressure and flow in the umbilical placental circulation: an investigation using a mathematical model. *Ultrasound Med Biol* 1990;16:449–58.
7. Yoon BH, Syn HC, Kim SW. The efficacy of Doppler umbilical artery velocimetry in identifying fetal acidosis. A comparison with fetal biophysical profile. *J Ultrasound Med* 1992;11:1–6.
8. Yoon BH, Romero R, Roh CR, Kim SH, Ager JW, Syn HC, et al. Relationship between the fetal biophysical profile score, umbilical artery Doppler velocimetry, and fetal blood acid-base status determined by cordocentesis. *Am J Obstet Gynecol* 1993;169:1586–94.
9. Trudinger BJ, Giles WB, Cook CM. Flow velocity waveforms in the maternal uteroplacental and fetal umbilical placental circulations. *Am J Obstet Gynecol* 1985;152:155–63.
10. Hitschold TP. Doppler flow velocity waveforms of the umbilical arteries correlate with intravillous blood volume. *Am J Obstet Gynecol* 1998;179:540–3.
11. Kingdom JC, Burrell SJ, Kaufmann P. Pathology and clinical implications of abnormal umbilical artery Doppler waveforms. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1997;9:271–86.
12. Gagnon R, Challis J, Johnston L, Fraher L. Fetal endocrine responses to chronic placental embolization in the late-gestation ovine fetus. *Am J Obstet Gynecol* 1994;170:929–38.
13. Mansouri H, Gagnon R, Hunse C. Relationship between fetal heart rate and umbilical blood flow velocity in term human fetuses during labor. *Am J Obstet Gynecol* 1989;160:1007–12.
14. Thompson RS, Trudinger BJ, Cook CM. Doppler ultrasound waveforms in the fetal umbilical artery: quantitative analysis technique. *Ultrasound Med Biol* 1985;11:707–18.
15. Thompson RS, Trudinger BJ, Cook CM. A comparison of Doppler ultrasound waveform indices in the umbilical artery – I. Indices derived from the maximum velocity waveform. *Ultrasound Med Biol* 1986;12:835–44.
16. Thompson RS, Trudinger BJ, Cook CM. Doppler ultrasound waveform indices: A/B ratio, pulsatility index and Pourcelot ratio. *Br J Obstet Gynaecol* 1988;95:581–8.
17. Cook CM, Connelly AJ, Trudinger BJ. Doppler assessment of the umbilical circulation. *Semin Ultrasound CT MR* 1989;10:417–27.
18. Trudinger B, Cook CM, Thompson R, Giles W, Connelly A. Low-dose aspirin improves fetal weight in umbilical placental insufficiency. *Lancet* 1988;2:214–5.
19. Rochelson B, Schulman H, Farmakides G, Bracero L, Ducey J, Fleischer A, et al. The significance of absent end-diastolic velocity in umbilical artery velocity waveforms. *Am J Obstet Gynecol* 1987;156:1213–8.
20. Rochelson BL, Schulman H, Fleischer A, Farmakides G, Bracero L, Ducey J, et al. The clinical significance of Doppler umbilical artery velocimetry in the small for gestational age fetus. *Am J Obstet Gynecol* 1987;156:1223–6.
21. Ferrazzi E, Vegni C, Bellotti M, Borboni A, Della PS, Barbera A. Role of umbilical Doppler velocimetry in the biophysical assessment of the growth-retarded fetus. Answers from neonatal morbidity and mortality. *J Ultrasound Med* 1991;10:309–15.
22. Ferrazzi E, Bellotti M, Vegni C, Barbera A, Della PS, Ferro B, et al. Umbilical flow waveforms versus fetal biophysical profile in hypertensive pregnancies. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1989;33:199–208.
- JOGC
JULY 2003
523. Fong KW, Ohlsson A, Hannah ME, Grisaru S, Kingdom J, Cohen H, et al. Prediction of perinatal

- outcome in fetuses suspected to have intra- uterine growth restriction: Doppler US study of fetal cerebral, renal, and umbilical arteries. *Radiology* 1999;213:681–9.
24. Schreuder AM, McDonnell M, Gaffney G, Johnson A, Hope PL. Outcome at school age following antenatal detection of absent or reversed end diastolic flow velocity in the umbilical artery. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2002;86:F108–14.
 25. Vossbeck S, de Camargo OK, Grab D, Bode H, Pohlandt F. Neonatal and neurodevelopmental outcome in infants born before 30 weeks of gestation with absent or reversed end-diastolic flow velocities in the umbilical artery. *Eur J Pediatr* 2001;160:128–34.
 26. Montenegro N, Santos F, Tavares E, Matias A, Barros H, Leite LP. Outcome of 88 pregnancies with absent or reversed end-diastolic blood flow (ARED flow) in the umbilical arteries. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1998;79:43–6.
 27. Salafia CM, Pezzullo JC, Minior VK, Divon MY. Placental pathology of absent and reversed end-diastolic flow in growth-restricted fetuses. *Obstet Gynecol* 1997;90:830–6.
 28. Karsdorp VH, van Vugt JM, van Geijn HP, Kostense PJ, Arduini D, Montenegro N, et al. Clinical significance of absent or reversed end diastolic velocity waveforms in umbilical artery. *Lancet* 1994;344:1664–8.
 29. Tannirandorn Y, Phaosavasdi S. Significance of an absent or reversed end-diastolic flow velocity in Doppler umbilical artery waveforms. *J Med Assoc Thai* 1994;77:81–6.
 30. Wilson DC, Harper A, McClure G. Absent or reversed end diastolic flow velocity in the umbilical artery and necrotizing enterocolitis. *Arch Dis Child* 1991;66:1467.
 31. McParland P, Steel S, Pearce JM. The clinical implications of absent or reversed end-diastolic frequencies in umbilical artery flow velocity waveforms. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1990;37:15–23.
 32. Woo JS, Liang ST, Lo RL. Significance of an absent or reversed end diastolic flow in Doppler umbilical artery waveforms. *J Ultrasound Med* 1987;6:291–7.
 33. Trudinger BJ, Cook CM. Umbilical and uterine artery flow velocity waveforms in pregnancy associated with major fetal abnormality. *Br J Obstet Gynaecol* 1985;92:666–70.
 34. du Plessis JM, Hall DR, Norman K, Odendaal HJ. Reversed end diastolic flow velocity in viable fetuses: is there time to wait for the effect of corticosteroids before delivery? *Int J Gynaecol Obstet* 2001;72:187–8.
 35. Trudinger BJ, Cook CM, Giles WB, Ng S, Fong E, Connelly A, et al. Fetal umbilical artery velocity waveforms and subsequent neonatal outcome. *Br J Obstet Gynaecol* 1991;98:378–84.
 37. Newnham JP, Patterson LL, James IR, Diepeveen DA, Reid SE. An evaluation of the efficacy of Doppler flow velocity waveform analysis as a screening test in pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1990;162:403–10.
 38. Makikallio K, Tekay A, Jouppila P. Yolk sac and umbilicoplacental hemodynamics during early human embryonic development. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1999;14:175–9.
 39. Yarlaga P, Willoughby L, Maulik D. Effect of fetal heart rate on umbilical arterial Doppler indices. *J Ultrasound Med* 1989;8:215–8.
 42. Mehalek KE, Rosenberg J, Berkowitz GS, Chitkara U, Berkowitz RL. Umbilical and uterine artery flow velocity waveforms. Effect of the sampling site on Doppler ratios. *J Ultrasound Med* 1989;8:171–6.
 43. Joern H, Rath W. Correlation of Doppler velocimetry findings in twin pregnancies including course of pregnancy and fetal outcome. *Fetal Diagn Ther* 2000;15:160–4.
 40. Hofstaetter C, Dubiel M, Gudmundsson S. Two types of umbilical venous pulsations and outcome of high-risk pregnancy. *Early Hum Dev* 2001;61:111–7.
 41. Reed KL, Chaffin DG, Anderson CF. Umbilical venous Doppler velocity pulsations and inferior vena cava pressure elevations in fetal lambs. *Obstet Gynecol* 1996;87:617–20.
 42. Gudmundsson S. Importance of venous flow assessment for clinical decision-making. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1999;84:173–8.
 43. Gudmundsson S, Gunnarsson GO, Hokegard KH, Ingemarsson J, Kjellmer I. Venous Doppler velocimetry in relationship to central venous pressure and heart rate during hypoxia in the ovine fetus. *J Perinat Med* 1999;27:81–90.
 44. Hofstaetter C, Gudmundsson S, Dubiel M, Marsal K. Ductus venosus velocimetry in high-risk pregnancies. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1996;70:135–40.
 45. Gudmundsson S, Tulzer G, Huhta JC, Marsal K. Venous Doppler in the fetus with absent end-diastolic flow in the umbilical artery. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996;7:262–7.
 46. Divakaran TG, Waugh J, Clark TJ, Khan KS, Whittle MJ, Kilby MD. Noninvasive techniques to detect fetal anemia due to red blood cell alloimmunization: a systematic review. *Obstet Gynecol* 2001;98:509–17.

47. Mari G, Detti L, Oz U, Zimmerman R, Duerig P, Stefos T. Accurate prediction of fetal hemoglobin by Doppler ultrasonography. *Obstet Gynecol* 2002;99:589–93.
48. Morrow RJ, Adamson SL, Lewin M, Bull SB, Ritchie JW. The influence of spontaneous accelerations of fetal heart rate on umbilical artery velocity waveforms. *Am J Obstet Gynecol* 1989;160:995–7.
- JOGC
JULY 2003
49. Spencer JA, Price J, Lee A. Influence of fetal breathing and movements on variability of umbilical Doppler indices using different numbers of waveforms. *J Ultrasound Med* 1991;10:37–41.
50. Adamson SL, Morrow RJ, Langille BL, Bull SB, Ritchie JW. Site-dependent effects of increases in placental vascular resistance on the umbilical arterial velocity waveform in fetal sheep. *Ultrasound Med Biol* 1990;16:19–27.
51. Kurjak A, Dudenhausen JW, Hafner T, Kupesic S, Latin V, Kos M. Intervillous circulation in all three trimesters of normal pregnancy assessed by color Doppler. *J Perinat Med* 1997;25:373–80.
52. Campbells S, Vyas S, Nicolaides KH. Doppler investigation of the fetal circulation. *J Perinat Med* 1991;19:21–6.
53. Surat DR, Adamson SL. Downstream determinants of pulsatility of the mean velocity waveform in the umbilical artery as predicted by a computer model. *Ultrasound Med Biol* 1996;22:707–17.
54. Gagnon R, Johnston L, Murotsuki J. Fetal placental embolization in the late-gestation ovine fetus: alterations in umbilical blood flow and fetal heart rate patterns. *Am J Obstet Gynecol* 1996;175:63–72.
55. Trudinger BJ, Stevens D, Connelly A, Hales JR, Alexander G, Bradley L, et al. Umbilical artery flow velocity waveforms and placental resistance: the effects of embolization of the umbilical circulation. *Am J Obstet Gynecol* 1987;157:1443–8.
56. Joern H, Funk A, Goetz M, Kuehlwein H, Klein A, Fendel H. Development of quantitative Doppler indices for uteroplacental and fetal blood flow during the third trimester. *Ultrasound Med Biol* 1996;22:823–35.
57. Woolf SH, Battista RN, Angerson GM, Logan AG, Eel W. Canadian Task Force on the Periodic Health Exam. Ottawa: Canada Communication Group; 1994. p. xxxvii.