

Guía Práctica ISUOG: Uso de la ecografía Doppler en obstetricia

Traducido del inglés al español de Drs. Ramos Mejía, D – y Cafici, D de la Sociedad Argentina de Ultrasonografía en Medicina y Biología (SAUMB)

Este documento fue traducido de parte de MFM GROUP (Drs. Cafici, D – Herrera, M – Mejides, A – y Ximenes, R)

Comité de Estándares Clínicos (CEC)

La Sociedad Internacional de Ultrasonografía en Obstetricia y Ginecología (ISUOG) es una organización científica que promueve la práctica clínica segura y la enseñanza e investigación de alta calidad relacionado con el diagnóstico por imágenes en el ámbito de la salud de la mujer.

El Comité de Estándares Clínicos de ISUOG desarrolla Guías Prácticas y Consensos que les proporciona a los trabajadores de la salud un enfoque basado en consensos para trabajar en el diagnóstico por imágenes.

Estas guías pretenden reflejar lo que para la ISUOG es considerado como la mejor práctica al momento de su publicación.

Ni la sociedad ni sus empleados o miembros aceptan cualquier responsabilidad por las consecuencias de cualquier dato inexacto, opiniones o declaraciones emitidas por el CEC.

Los documentos del Comité de Estándares Clínicos de la ISUOG no pretenden establecer normas legales de prácticas, dado que la interpretación de las evidencias que subyacen estas Guías pueden estar influenciadas por circunstancias individuales, protocolos locales y recursos disponibles.

Estas guías pueden ser libremente distribuidas con el consentimiento de ISUOG (info@isuog.org).

Alcance del documento

Este documento resume las Guías de Práctica respecto a cómo realizar la ecografía Doppler de la circulación fetoplacentaria.

Es de suma importancia no exponer al embrión y feto al ultrasonido de energía indebidamente perjudicial, sobre todo en las primeras etapas del embarazo. En ese periodo el registro Doppler, cuando esté clínicamente indicado, se debe realizar en los niveles de energía lo más bajos posible. ISUOG ha publicado una guía sobre el uso de la ecografía Doppler en el estudio fetal de las semanas 11-13.6¹. Cuando se realicen estudios Doppler, el índice térmico (IT) (thermal index = TI) debe ser ≤ 1.0 y el tiempo de exposición debe ser lo más breve posible, por lo general no más de 5-10 minutos y no debe exceder los 60 minutos¹.

No es la intención de estas guías definir indicaciones clínicas, especificar el momento adecuado para su aplicación en el embarazo o discutir cómo interpretar los resultados o el uso del doppler en la ecocardiografía fetal.

El objetivo es describir el Doppler pulsado y sus diferentes modalidades: Doppler espectral, codificación color y Doppler de energía, que se utilizan comúnmente para estudiar la circulación materno-fetal. No describimos la técnica de Doppler continuo porque no se aplica en imágenes obstétricas, sin embargo, en casos en los que el feto tiene una condición que genere flujos de alta velocidad (por ejemplo, estenosis aórtica o regurgitación tricuspídea), podría ser útil para definir claramente las velocidades máximas evitando el aliasing.

Las técnicas y prácticas descritas en esta Guía han sido seleccionadas para reducir al mínimo los errores de medición y mejorar la reproducibilidad. Puede que no sean aplicables en ciertas condiciones clínicas específicas o para protocolos de investigación.

Recomendaciones

¿Qué equipo se necesita para la evaluación Doppler de la circulación fetoplacentaria?

- El equipo debe contar con flujo color y onda espectral con visualización en pantalla de las escalas de velocidad o la frecuencia de repetición de pulsos (pulse repetition frequency = PRF) y la frecuencia de ultrasonido Doppler (en MHz).
- El índice mecánico (mechanical index = MI) y el TI (MI) deben visualizarse en la pantalla.
- El sistema de ultrasonido debe generar un trazado del contorno de la velocidad máxima demostrando toda la forma de onda espectral Doppler.
- El trazado de la onda debiera ser posible de efectuar usando trazados de ondas manuales o automáticos.
- El software debe ser capaz de estimar el pico sistólico máximo (peak systolic velocity = PSV), velocidad de fin de diástole (end-diastolic velocity = EDV) y la velocidad máxima promedio calculada a partir del trazado de la onda y calcular los índices Doppler habituales, como por ejemplo el índice de pulsatilidad (pulsatility index PI), índice de resistencia (resistance index = RI) y la relación sístole/diástole (S/D). En el trazado los distintos puntos incluidos en los cálculos deben estar indicados para asegurar un correcto cálculo de los índices.

¿Cómo pueden optimizarse la exactitud en las mediciones Doppler?

Doppler pulsado

- Los registros deben ser obtenidos durante la ausencia de movimientos respiratorios y corporales fetales y, si es necesario, durante la retención temporal de aire por parte de la madre.

- La utilización de Doppler Color no es obligatorio, aunque es muy útil para la identificación del vaso de interés y para definir la dirección del flujo sanguíneo.
- La insonación óptima es la alineación completa con el flujo sanguíneo (ángulo de insonación de 0°). Esto garantiza mejores condiciones para evaluar velocidades y formas de ondas. Pueden ocurrir pequeñas desviaciones en el ángulo: un ángulo de insonación de 10° corresponde a un error de velocidad del 2%, mientras que un ángulo de 20° corresponde a un error del 6%. Cuando la velocidad absoluta constituya un parámetro de importancia (por ejemplo, arteria cerebral media (ACM)) y se obtenga un ángulo > a 20°, se puede utilizar la corrección angular, pero esta metodología en si mismo puede dar lugar a errores. En este caso, si la onda obtenida no se logra mejorar mediante intentos sucesivos, debe añadirse un comentario en el informe que indique el ángulo de insonación obtenido y si se llevó a cabo la corrección angular o si la velocidad se obtuvo sin corregir el ángulo.
- Es recomendable comenzar con un volumen de muestra (VM) amplio para garantizar el registro de las velocidades máximas durante todo el pulso. Si la interferencia de otros vasos genera contaminación en el trazado, el VM puede ser reducido para mejorar el registro. Se debe tener en cuenta que el volumen de muestra se puede reducir en altura pero no en su ancho.
- Al igual que las imágenes en escala de grises, la penetración y resolución del haz Doppler puede ser optimizada mediante el ajuste de la frecuencia (MHz) del transductor.
- El filtro de la pared del vaso, llamado también “rechazo de velocidad baja”, “filtro de movimiento de la pared”, “filtro de pared” o “filtro de paso alto”, es utilizado para eliminar el ruido del movimiento de las paredes del vaso. Por convención, debe utilizarse en el nivel más bajo posible ($\leq 50\text{-}60$ Hz) con el fin de eliminar el ruido de la baja frecuencia de los vasos periféricos. Cuando se usa un filtro alto, se puede crear un efecto de ausencia de flujo de fin de diástole. (Ver Figura 4b)
- Un filtro de pared superior es útil para definir un trazado bien definido de estructuras como el flujo en el tracto de salida de las arterias aorta o pulmonar. Un filtro de pared inferior podría causar ruido, apareciendo artefactos cerca de la línea de base o luego del cierre valvular.
- La velocidad de barrido horizontal debe ser lo suficientemente rápida como para separar adecuadamente las formas de onda sucesivas. Lo ideal es una muestra de 4 a 6 (pero no más de 8 a 10) ciclos cardíacos completos. Para la frecuencia cardíaca fetal de 110 a 150 lpm, una velocidad de barrido de 50 a 100 mm/s se considera adecuada.
- El PRF debe ajustarse de acuerdo al vaso estudiado: un PRF bajo permitirá la visualización y la medición precisa de un flujo de baja velocidad, sin embargo, se producirá aliasing cuando se encuentren altas velocidades. La forma de onda debe ocupar por lo menos el 75% de la pantalla Doppler. (ver Figura 3).
- Las mediciones Doppler deben ser reproducibles. Si hay evidente discrepancia entre las mismas se recomienda que se repita el registro. Convencionalmente, la medición más cercana a la esperada es la elegida para el informe a menos que sea técnicamente inferior.

- Con el fin de aumentar la calidad de los registros, se debe realizar una actualización frecuente en tiempo real de la escala de grises o de la imagen color. (Es decir, después de confirmar en la imagen en tiempo real de que el volumen de muestra está colocado correctamente, la imagen 2D y/o Doppler color debe ser congelada cuando las ondas Doppler están siendo registradas).
- Asegure una posición correcta y optimice el registro del Doppler de la imagen congelada 2D escuchando la representación audible del efecto Doppler sobre en los parlantes.
- Las ganancias deben ser ajustadas con el fin de ver claramente la forma de onda sin la presencia de artefactos en el fondo de la pantalla.
- Es aconsejable no invertir la visualización Doppler en la pantalla del ultrasonido. En la evaluación del corazón fetal y de los vasos centrales es muy importante mantener la dirección original del flujo color y la onda en la pantalla Doppler. Convencionalmente cuando el flujo se acerca al transductor se representa en color rojo y las ondas se muestran por encima de la línea de base, mientras que cuando el flujo se aleja del transductor, se representa en color azul y las ondas se muestran por debajo de la línea de base

Ecografía Doppler Color

- En comparación con la escala de grises, las imágenes Doppler color aumentan la potencia total emitida. La resolución del Doppler color aumenta cuando la caja de color se reduce en tamaño. Se debe prestar atención a los cambios en el MI y el TI ya estos se modifican que cambian de acuerdo con tamaño y a la profundidad de la caja color.
- El aumento del tamaño de la caja color también aumenta el tiempo de procesamiento y por lo tanto reduce la resolución temporal o tasa de actualización de imágenes (frame rate); por tal motivo la caja se debe mantener lo más pequeña posible para incluir sólo el área en estudio.
- La escala de velocidad o PRF deben ser ajustados para representar la velocidad del color real del vaso estudiado. Cuando el PRF es alto, los vasos de baja velocidad no se representarán en la pantalla. Cuando se aplique un PRF inadecuadamente bajo, se generará aliasing en forma de codificaciones color de velocidades de flujo contradictoria y dirección de flujo ambiguo.
- Al igual que con imágenes en escala de grises, la resolución y la penetración del Doppler color dependen de la frecuencia del ultrasonido. La frecuencia del modo Doppler color deberá ser ajustada para optimizar las señales. POR ACA
- La ganancia debe ser ajustada con el fin de evitar ruidos y artefactos representados por la visualización aleatoria de puntos de color en el fondo de la pantalla.
- El filtro también debe ser ajustado para excluir el ruido de la región estudiada.
- El ángulo de insonación afecta a la imagen Doppler color; éste debe ser ajustado optimizando la posición de la sonda de ultrasonido de acuerdo con el vaso o área estudiada.

Doppler de energía y Doppler de energía direccional

- Se aplican los mismos principios que los aplicables al Doppler color.
- El ángulo de insonación tiene menos efecto en las señales del Doppler de energía, sin embargo se deben realizar los mismos procesos de optimización.
- No existe el fenómeno de aliasing usando Doppler de potencia; sin embargo, un PRF bajo puede conducir a ruidos y artefactos.
- La ganancia debe reducirse con el fin de evitar la amplificación del ruido (evidenciable como un color uniforme en el fondo)

¿Cuál es la técnica adecuada para obtener la forma de onda Doppler de la Arteria Uterina?

Usando la ecografía Doppler, la rama principal de la arteria uterina se localiza fácilmente en la unión cérvico-corporal del útero, con la ayuda de Doppler color. Las mediciones de velocimetría Doppler se realizan por lo general cerca de esta ubicación, ya sea por vía transabdominal^{2,3} o transvaginal³⁻⁵.

Las velocidades absolutas tienen poca o ninguna importancia para la evaluación de las ondas de velocidad de las arterias uterinas, utilizándose comúnmente la valoración semicuantitativa de las mismas. Las mediciones deben ser reportadas de manera independiente para las arterias uterinas derecha e izquierda, debiendo señalarse la presencia de muescas o incisuras (*notch*).

Evaluación de la arteria uterina en el primer trimestre (Figura 1)

1. Técnica transabdominal

- Por vía transabdominal, se obtiene un corte sagital del útero y se identifica el canal cervical. Es preferible que la vejiga materna esté vacía.
- El transductor se mueve lateralmente hasta que se identifica el plexo vascular paracervical.
- Mediante la utilización de Doppler color se identifica a la arteria uterina en su trayecto ascendente hacia el cuerpo uterino.
- Las mediciones se toman en este punto, antes de que la arteria uterina se divida en las arterias arcuatas.
- El mismo proceso se repite en el lado contralateral.

2. Técnica transvaginal

- Por vía transvaginal, el transductor se coloca en el fondo de saco anterior. Similar a la técnica transabdominal, el transductor se moviliza lateralmente para visualizar el plexo vascular paracervical, y los pasos siguientes se llevan a cabo en la misma secuencia que para la técnica transabdominal.
- Se debe tener cuidado de no insonar la arteria cervicovaginal (que corre de cefálico a caudal) o las arterias arcuatas. Las velocidades de más de 50 cm/s son

típicas de arterias uterinas, lo que puede ser usado para diferenciar estos vasos de las arterias arcuatas.

Evaluación de la arteria uterina en el segundo trimestre (Figura 2)

1. Técnica transabdominal

- Por vía transabdominal, el transductor se coloca longitudinalmente en el cuadrante lateral inferior del abdomen, medialmente angulado. El mapeo del flujo en color es útil para identificar la arteria uterina a nivel de su cruce con la arteria ilíaca externa
- El volumen de muestra se coloca 1 cm por encima de este cruce.
- En una pequeña proporción de casos, la arteria uterina se ramifica antes de la intersección con la arteria ilíaca externa. En este caso se ubica el volumen de muestra justo antes de la bifurcación de la arteria uterina.
- El mismo proceso se repite para la arteria uterina contralateral.
- A medida que avanza la edad gestacional, el útero suele experimentar una dextrorrotación y, por lo tanto, la arteria uterina izquierda no corre tan lateralmente como lo hace la derecha.

2. Técnica transvaginal

- Se debe solicitar a la paciente que vacíe su vejiga y se la ubicará adoptando una posición de litotomía dorsal.
- El transductor debe colocarse en el fondo de saco lateral para identificar a la arteria uterina a la altura del orificio cervical interno, utilizando el Doppler color.
- El mismo procedimiento debe repetirse para la arteria uterina contralateral.

Se debe recordar que los rangos de referencia para los índices de las arterias uterinas dependen de la técnica de medición utilizada, por lo que se deberán usar valores de referencia específicos para las vías transabdominal y transvaginal. Las técnicas para la evaluación de las arterias uterinas deberán reproducir ajustadamente la técnica utilizada para establecer los valores de referencia.

Nota: En mujeres con anomalías uterinas congénitas, la evaluación de las arterias uterinas y su interpretación no es fiable, ya que todos los estudios publicados han sido en mujeres con (presunta) anatomía normal.

¿Cuál es la técnica adecuada para obtener la forma de onda de la arteria umbilical?

Hay una diferencia significativa en los índices Doppler de la arteria umbilical según esta sea registrada en el extremo fetal, en un asa de cordón libre y a nivel del ingreso a la placenta⁶. La impedancia es más alta a nivel fetal y el flujo de fin de diástole ausente o reverso se detecta más frecuentemente de inicio en este sitio. Han

sido publicados rangos de referencia para los índices de la arteria umbilical en todos estos diferentes sitios^{7,8}.

En términos de simplicidad y consistencia, las mediciones deben realizarse en cordón libre. Sin embargo, en gestaciones múltiples, y/o cuando deban compararse mediciones longitudinalmente, el registro en un punto determinado como ser a nivel del extremos fetal, placentario o en porción intraabdominal, puede ser más fiable. Se deberán usar los rangos de referencia apropiados de acuerdo al sitio estudiado.

La figura 3 muestra registros de velocidades adecuados e inadecuados. La figura 4 muestra la influencia del filtro de pared del vaso.

Nota: 1) En gestaciones múltiples, la evaluación del flujo sanguíneo en la arteria umbilical puede ser difícil, ya que puede haber dificultad en la asignación del cordón para un feto u otro. Lo mejor es medir a la arteria umbilical inmediatamente distal a la inserción abdominal del cordón umbilical. Sin embargo, la impedancia es mayor que en cordón libre, por lo que se requiere utilizar rangos de referencia adecuados.

2) En un cordón de dos vasos, el diámetro de la arteria umbilical única es mayor a cualquier edad gestacional, por lo tanto la impedancia es menor⁹.

¿Cuál es la técnica adecuada para la obtención de la forma de onda de la arteria cerebral media fetal?

- Debe obtenerse y magnificarse un corte axial del cerebro incluyendo el tálamo y las alas mayores del hueso esfenoides.
- Se utilizará Doppler color para identificar el polígono de Willis y la porción proximal de la ACM. (Figura 5)
- El volumen de muestra debe colocarse en el tercio proximal de la ACM, cerca de su origen en la arteria carótida interna¹⁰ (la velocidad sistólica disminuye progresivamente desde el origen del vaso)
- El ángulo entre el haz de ultrasonido y la dirección del flujo sanguíneo debe mantenerse lo más cerca posible a 0°. (Figura 6)
- Se debe tener cuidado para evitar cualquier presión innecesaria en la cabeza del feto.
- Deben ser registradas entre 3 y 10 ondas consecutivas. El punto más alto de la onda es considerado el PSV (cm/s).
- El PSV se puede medir utilizando calipers manuales o mediante autotrazado automático. La última metodología demostró medianas significativamente menores a las obtenidas mediante trazado manual, pero que se aproximan a las medianas publicadas que se usan en la práctica clínica¹¹. El PI se calcula habitualmente mediante autotrazado, pero el trazado manual también es aceptable.
- Se deben utilizar valores de referencia apropiados y la técnica de medición debe ser la misma que se utilizó para construir los rangos de referencia.

¿Cuál es la técnica adecuada para obtener la forma de onda de las venas fetales?

Ductus venoso (Figuras 7 y 8)

- El ductus venoso (DV) conecta la porción intraabdominal de la vena umbilical con la porción izquierda de la vena cava inferior (VCI) justo por debajo del diafragma. El DV se identifica visualizando esta conexión mediante ecografía 2D tanto en un plano medio-sagital del tronco fetal como en un corte transverso oblicuado del abdomen superior¹².
- Mediante el uso de Doppler color que demuestra el flujo de alta velocidad presente en el origen estrecho (istmo) del DV se confirma su identificación e indica el lugar estándar para realizar las mediciones Doppler¹³.
- Las mediciones se logran mejor en el plano sagital desde el abdomen inferior, ya que a ese nivel se puede verificar la alineación con el istmo. La insonación sagital a través del pecho es también una buena opción, pero más difícil. Una sección oblicua proporciona un acceso adecuado para una insonación anterior o posterior, produciendo formas de ondas robustas, pero con menor control del ángulo y las velocidades absolutas.
- En embarazos precoces y en los embarazos complicados, se debe tener especial cuidado en reducir el volumen de muestra a fin de asegurar un registro claro de la velocidad mínima obtenida durante la contracción auricular.
- La forma de onda generalmente es trifásica, pero, menos frecuentemente pueden hallarse ondas bifásicas y no pulsátiles en fetos normales¹⁴.
- Las velocidades son relativamente altas, entre 55 y 90 cm/s para la mayor parte de la segunda mitad del embarazo¹⁵, pero en embarazos tempranos son más bajas.

¿Qué índices usar?

Los tres índices conocidos para describir las formas de onda de velocidad de flujo arterial son la relación S/D, el RI y el PI. Los tres están altamente correlacionados. El PI muestra una correlación lineal con la resistencia vascular a diferencia del S/D y el RI que poseen una relación parabólica con el aumento de la resistencia vascular¹⁶. Además, cuando hay valores diastólicos ausentes o reversos, el PI no se acerca a infinito pudiendo ser utilizado en estas situaciones. El PI es el índice más utilizado en la práctica actual. Del mismo modo, el índice de pulsatilidad para las venas (pulsatility index for veins = PIV)¹⁷ es el índice más comúnmente utilizado en la literatura actual para las formas de ondas venosas. El uso de velocidades absolutas en lugar de índices semicuantitativos puede ser preferible en determinadas circunstancias.

Autores de la Guía

A. Bhide, Fetal Medicine Unit, Academic Department of Obstetrics and Gynaecology, St George's, University of London, London, UK

G. Acharya, Fetal Cardiology, John Radcliffe Hospital, Oxford, UK and Women's Health and

Perinatology Research Group, Faculty of Medicine, University of Tromsø and University Hospital of Northern Norway, Tromsø, Norway

C. M. Bilardo, Fetal Medicine Unit, Department of Obstetrics and Gynaecology, University Medical Centre Groningen, Groningen, The Netherlands

C. Brezinka, Obstetrics and Gynecology, Universitätsklinik für Gynäkologische Endokrinologie und Reproduktionsmedizin, Department für Frauenheilkunde, Innsbruck, Austria

D. Cafici, Grupo Medico Alem, San Isidro, Argentina. Sociedad Argentina de Ultrasonografía en Medicina y Biología

E. Hernandez-Andrade, Perinatology Research Branch, NICHD/NIH/DHHS, Detroit, MI, USA and Department of Obstetrics and Gynecology, Wayne State University School of Medicine, Detroit, MI, USA

K. Kalache, Gynaecology, Charité, CBF, Berlin, Germany

J. Kingdom, Department of Obstetrics and Gynaecology, Maternal-Fetal Medicine Division Placenta Clinic, Mount Sinai Hospital, University of Toronto, Toronto, ON, Canada and Department of Medical Imaging, Mount Sinai Hospital, University of Toronto, Toronto, ON, Canada

T. Kiserud, Department of Obstetrics and Gynecology, Haukeland University Hospital, Bergen, Norway and Department of Clinical Medicine, University of Bergen, Bergen, Norway

W. Lee, Texas Children's Fetal Center, Texas Children's Hospital Pavilion for Women, Department of Obstetrics and Gynecology, Baylor College of Medicine, Houston, TX, USA

C. Lees, Fetal Medicine Department, Rosie Hospital, Addenbrooke's Hospital, Cambridge University Hospitals NHS Foundation Trust, Cambridge, UK and Department of Development and Regeneration, University Hospitals Leuven, Leuven, Belgium

K. Y. Leung, Department of Obstetrics and Gynaecology, Queen Elizabeth Hospital, Hong Kong, Hong Kong

G. Malinger, Obstetrics & Gynecology, Sheba Medical Center, Tel-Hashomer, Israel

G. Mari, Obstetrics and Gynecology, University of Tennessee, Memphis, TN, USA

F. Prefumo, Maternal Fetal Medicine Unit, Spedali Civili di Brescia, Brescia, Italy

W. Sepulveda, Fetal Medicine Center, Santiago de Chile, Chile

B. Trudinger, Department of Obstetrics and Gynaecology, University of Sydney at Westmead Hospital, Sydney, Australia

Citación

Esta guía debe ser citada como: 'Bhide A, Acharya G, Bilardo CM, Brezinka C, Cafici D, Hernandez-Andrade E, Kalache K, Kingdom J, Kiserud T, Lee W, Lees C, Leung KY, Malinger G, Mari G, Prefumo F, Sepulveda W and Trudinger B. ISUOG Practice Guidelines: use of Doppler ultrasonography in obstetrics. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2013; **41**: 233–239.'

Referencias

1. Salvesen K, Lees C, Abramowicz J, Brezinka C, Ter Har G, Marsal K. ISUOG statement on the safe use of Doppler in the 11 to 13+6-week fetal ultrasound examination. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; **37**: 628.
2. Aquilina J, Barnett A, Thompson O, Harrington K. Comprehensive analysis of uterine artery flow velocity waveforms for the prediction of pre-eclampsia. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; **16**: 163–170.
3. Gómez O, Figueras F, Fernández S, Bannasar M, Martínez JM, Puerto B, Gratacós E. Reference ranges for uterine artery mean pulsatility index at 11–41 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2008; **32**: 128–132.
4. Jurkovic D, Jauniaux E, Kurjak A, Hustin J, Campbell S, Nicolaides KH. Transvaginal colour Doppler assessment of the uteroplacental circulation in early pregnancy. *Obstet Gynecol* 1991; **77**: 365–369.
5. Papageorghiou AT, Yu CK, Bindra R, Pandis G, Nicolaides KH; Fetal Medicine Foundation Second Trimester Screening Group. Multicenter screening for pre-eclampsia and fetal growth restriction by

- transvaginal uterine artery Doppler at 23 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2001; **18**: 441–449.
6. Khare M, Paul S, Konje J. Variation in Doppler indices along the length of the cord from the intraabdominal to the placental insertion. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2006; **85**: 922–928.
 7. Acharya G, Wilsgaard T, Berntsen G, Maltau J, Kiserud T. Reference ranges for serial measurements of blood velocity and pulsatility index at the intra-abdominal portion, and fetal and placental ends of the umbilical artery. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; **26**: 162–169.
 8. Acharya G, Wilsgaard T, Berntsen G, Maltau J, Kiserud T. Reference ranges for serial measurements of umbilical artery Doppler indices in the second half of pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 2005; **192**: 937–944.
 9. Sepulveda W, Peek MJ, Hassan J, Hollingsworth J. Umbilical vein to artery ratio in fetuses with single umbilical artery. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996; **8**: 23–26.
 10. Mari G for the collaborative group for Doppler assessment. Noninvasive diagnosis by Doppler ultrasonography of fetal anemia due to maternal red-cell alloimmunization. *N Engl J Med* 2000; **342**: 9–14.
 11. Patterson TM, Alexander A, Szychowski JM, Owen J. Middle cerebral artery median peak systolic velocity validation: effect of measurement technique. *Am J Perinatol* 2010; **27**: 625–630.
 12. Kiserud T, Eik-Nes SH, Blaas HG, Hellevik LR. Ultrasonographic velocimetry of the fetal ductus venosus. *Lancet* 1991; **338**: 1412–1414.
 13. Acharya G, Kiserud T. Pulsations of the ductus venosus blood velocity and diameter are more pronounced at the outlet than at the inlet. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1999; **84**: 149–154.
 14. Kiserud T. Hemodynamics of the ductus venosus. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1999; **84**: 139–147.
 15. Kessler J, Rasmussen S, Hanson M, Kiserud T. Longitudinal reference ranges for ductus venosus flow velocities and waveform indices. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; **28**: 890–898.
 16. Ochi H, Suginami H, Matsubara K, Taniguchi H, Yano J, Matsuura S. Micro-bead embolization of uterine spiral arteries and uterine arterial flow velocity waveforms in the pregnant ewe. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995; **6**: 272–276.
 17. Hecher K, Campbell S, Snijders R, Nicolaidis K. Reference ranges for fetal venous and atrioventricular blood flow parameters. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1994; **4**: 381–390.