

Ecografía Doppler en la gestación normal: circulación umbilical

Teresa Ruiz • Juan Sabaté • Mercedes Martínez-Benavides* • Jesús Sánchez-Ramos

Servicio de Radiodiagnóstico. *Servicio de Obstetricia y Ginecología. Hospital Virgen Macarena. Sevilla.

Doppler ultrasound scan during normal gestation: umbilical circulation

Objetivos: Determinar mediante ecografía Doppler los patrones de normalidad en la circulación umbilical en una población gestante sana, sin factores de riesgo y con resultado perinatal normal y valorar las modificaciones que se producen en función de la edad gestacional obteniendo registros en diferentes semanas del embarazo.

Material y métodos: Se han estudiado 116 gestantes con feto único, sin factores de riesgo conocidos y con controles clínicos, analíticos y ecográficos normales. Se realizaron un total de 193 ecografías Doppler, entre la 15-41 semanas de gestación, con análisis del flujo en las arterias y vena del cordón umbilical. Los datos obtenidos se correlacionaron con los parámetros que evalúan el bienestar fetal (monitorización fetal y/o prueba de oxitocina) y el resultado perinatal (tipo de parto, peso al nacimiento, puntuación Apgar). El análisis estadístico se realizó con los programas SPSS 6.0.1. para Windows y EPIINFO 6.0.4.

Resultados: Mediante Doppler pulsado, la arteria umbilical presentó en todos los casos morfología bifásica, con componente sistólico y diastólico, sin flujo invertido. Al aumentar las semanas de gestación, se observó un descenso progresivo de la resistencia con aumento de la velocidad diastólica.

Conclusiones: La ecografía Doppler es un método no invasivo que permite el estudio hemodinámico de la circulación umbilical. El conocimiento de la morfología normal de las ondas de flujo y de los valores normales de los índices Doppler relacionados con la edad gestacional nos permitirá la aplicación del método en embarazos de alto riesgo.

Palabra clave: Ultrasonidos. Gestación. Circulación fetal. Doppler. Arteria umbilical.

Aims: To determine normal umbilical circulation patterns by means of Doppler ultrasound scan in a healthy gestating population without risk factors and with normal perinatal results, and to evaluate any occurring modifications relative to gestational age by obtaining records kept during pregnancy.

Material and methods: One hundred and sixteen pregnant women carrying a single fetus have been studied. These women had no risk factors, with both clinical and analytical controls, as well as ultrasound scans, all being normal. There were performed a total of 193 Doppler ultrasound scans between weeks 15 and 41 of gestation, with blood-flow analysis in the arteries and vein of the umbilical cord. The obtained information was correlated with parameters that evaluate fetal well-being (fetal monitoring and/or oxytocin test) and perinatal result (delivery type, birthweight, Apgar score). Statistical analysis was performed with the programs SPSS 6.0.1. for Windows and EPIINFO 6.0.4..

Results: With pulsed Doppler, the umbilical artery in all cases demonstrated a biphasic morphology with systolic and diastolic components and without retrograde blood flow. As the gestation period increased, there was observed a progressive decrease in resistance along with an increase in blood-flow velocity during the diastolic phase.

Conclusions: The Doppler ultrasound scan is a non-invasive method that permits the hemodynamic study of umbilical blood circulation. A knowledge of normal blood-flow signal morphology, as well as of the normal values for Doppler indices in relation to gestational age would permit us to utilize this method in high-risk pregnancies.

Key words: Ultrasounds. Gestation. Fetal Circulation. Doppler. Umbilical artery.

El sistema circulatorio umbilical, y en concreto la arteria umbilical, ha sido el componente de la circulación fetal más estudiado por ser el sistema vascular más accesible y, por lo tanto, más sensible a los exámenes Doppler.

Ruiz T, Sabaté J, Martínez, Benavides-Sabaté M, et al. Ecografía Doppler en la gestación normal: circulación umbilical. Radiología 2002;44(7):295-300.

Correspondencia:

M.ª TERESA RUIZ GARCÍA. Marqués del Nervión, 69, 2º E. 41005 Sevilla.
E-mail: tererg@superable.es

Recibido: 27-II-2002.

Aceptado: 16-IX-2002.

La primera aplicación del efecto Doppler al estudio de los flujos vasculares en obstetricia la realizaron Fitzgerald y Drumm¹. En 1977, publicaron la aplicación de este método al estudio de la circulación umbilical utilizando Doppler continuo. Los posteriores avances en el campo de la ecografía Doppler han favorecido el uso, cada vez más extendido, de esta técnica dentro del seguimiento de las pacientes obstétricas.

El análisis de la onda de velocidad del flujo de la arteria umbilical permite realizar una evaluación no invasiva de la resistencia periférica de la placenta.

Nuestro objetivo es determinar mediante ecografía Doppler (Doppler-duplex y color) los patrones de normalidad en la circulación umbilical (arteria y vena umbilical) y valorar la influencia

de la edad gestacional en la morfología de las ondas de flujo. Para esto obtuvimos los registros Doppler en una población gestante sana y sin factores de riesgo, en diferentes semanas del segundo y tercer trimestre de la gestación.

MATERIAL Y MÉTODO

Se estudiaron prospectivamente 116 pacientes gestantes. Todas eran mujeres sanas, con feto único y sin factores de riesgo conocidos, remitidas a nuestro servicio desde un Centro de Salud perteneciente a nuestra Área Hospitalaria. La edad de las pacientes estaba comprendida entre 15 y 39 años, con una edad media de 29 años. Se incluyeron pacientes primíparas (53%) y multíparas.

Los controles clínicos, analíticos y ecográficos realizados durante el embarazo fueron normales. En aquellos casos en los que se realizó monitorización fetal, el registro fue normal. Todos los niños nacieron a término y con peso adecuado para la edad gestacional. La edad gestacional media al nacimiento fue de 280 días (264-292 días) y el peso medio de los recién nacidos de 3.330 g (2.700-4.100 g). El 89% de los partos fueron por vía vaginal. Las puntuaciones de Apgar fueron normales al minuto en el 94,8% y a los cinco minutos en el 100%.

El total de ecografías Doppler practicadas fue de 193. Los estudios se realizaron en el segundo y tercer trimestre, entre la 15 y 41 semanas de gestación. La edad gestacional se determinó por la fecha de la última regla. Todas las pacientes fueron informadas del estudio que se realizaba y se obtuvo su consentimiento.

Los estudios se realizaron con equipos TOSHIBA Sonolayer oSSA-270 y Eccocee SSA-340A, integrados por unidad de ultrasonidos en modo B con Doppler color y pulsado incorporado. Se usó transductor electrónico convexo multifrecuencia (3,00-3,75 MHz y 6 MHz), modelo PVF-375 MT.

Para la exploración se colocó a las pacientes en una posición semiincorporada o en decúbito supino y ligeramente inclinadas hacia el lado izquierdo para evitar el síndrome supinohipotensivo que puede alterar los índices Doppler.

A todas las pacientes se les realizó inicialmente ecografía en modo B; se valoró el crecimiento y la anatomía del feto, cantidad del líquido amniótico y características y localización de la placenta.

El cordón umbilical se reconoció con facilidad mediante ecografía en modo B. A continuación se practicó ecografía Doppler, color y pulsado. El empleo del Doppler color no fue necesario para identificar el cordón en gestantes normales dado el tamaño de sus vasos; no obstante, fue útil en los registros obtenidos en las últimas semanas del tercer trimestre para el reconocimiento rápido de su recorrido libre y de los extremos fetal y placentario.

Los registros se obtuvieron siempre al mismo nivel, en la parte media del cordón o en la zona de inserción placentaria, evitando el extremo fetal de aquél. Esto es debido a que en la arteria umbilical las resistencias son más bajas en la inserción placentaria que en la inserción abdominal del cordón².

La intensidad de emisión del aparato siempre ha estado por debajo de los 100 mW/cm² (*spatial peak temporal average*), según los criterios aceptados internacionalmente³. El filtro de pared se ajustó al nivel más bajo posible (50 Hz) para optimizar la detección de las menores velocidades de flujo diastólicas.

Para el análisis de las ondas en la arteria umbilical se han usado los índices Doppler con valoración semicuantitativa de los flujos analizados. Todos muestran sensibilidad similar en la predicción del compromiso fetal⁴. Nosotros hemos empleado la relación sistóle/diástole o índice de Stuart (S/D) y el índice de resistencia de Pourcelot (IR = S-D/S).

Los aumentos del ángulo de incidencia pueden conducir a errores diagnósticos del tipo de ausencia de flujo diastólico; este riesgo de error se incrementa con el aumento del filtro de pared. En estos casos, se obtuvieron varios registros del mismo vaso sanguíneo, con el menor filtro de pared posible y con diferentes ángulos para eliminar posibles errores.

Se han tenido en cuenta también diferentes factores intrínsecos que pueden influir en la obtención de los registros y modificar los índices Doppler, tales como la actividad fetal y la frecuencia cardíaca.

Los registros se obtuvieron evitando períodos de movimiento fetal. Hemos observado que el movimiento fetal altera los índices Doppler. Esto es debido a la variabilidad que se produce entre los ciclos con diferentes valores de flujo sistólico y diastólico.

La frecuencia cardíaca fetal se calculó en cada caso. Cuando los valores están dentro del rango fisiológico (120-160 lat/min), no se considera que la variación de la frecuencia cardíaca modifique significativamente los índices Doppler⁵. Por el contrario, la bradicardia o taquicardia fetal sí hay que tenerlas en cuenta a la hora de analizar los resultados, ya que modifican los valores de velocidad diastólica al alterar la duración del ciclo cardíaco.

El análisis estadístico se ha realizado con los programas SPSS versión 6.0.1. para Windows y EPIINFO 6.0.4. Se han obtenido tablas del valor medio, desviación estándar e intervalo de confianza de los índices Doppler (cociente sistóle/diástole, índice de resistencia). Para determinar la modificación de estos índices en función de la edad gestacional se ha dividido el embarazo en grupos de dos semanas consecutivas desde la 20 hasta la 38 semanas, con un primer grupo inicial desde la 15 a la 19 semanas y un último grupo desde la 38 a la 41. Se han agrupado los estudios Doppler según el tiempo de gestación en el que se realiza el estudio.

En el análisis de la onda espectral de la vena umbilical se valoró la morfología (flujo continuo, no pulsátil).

RESULTADOS

Mediante Doppler pulsado, la onda de flujo en la arteria umbilical tuvo en todos los casos morfología bifásica, con componente sistólico y diastólico, sin flujo invertido. En nuestro grupo, el estudio más temprano se realizó a las 15 semanas y ya existía flujo diastólico, aunque con valores mínimos (fig. 1).

A medida que aumentan las semanas de gestación, se observó un descenso progresivo de las resistencias con el consiguiente aumento de las velocidades diastólicas lo que determina una disminución progresiva del cociente sistóle/diástole (S/D), con los valores más bajos al final del embarazo. Resultados similares se obtienen con el índice de resistencia (IR) (figs. 2 y 3).

Los valores obtenidos, por semanas de gestación, de los índices S/D e IR se recogen en las tablas 1 y 2 (media, desviación estándar y límites de confianza para la media).



Fig. 1.—Arteria umbilical. Gestación de 15 semanas. Onda bifásica con componente sistólico y diastólico. Altos valores de los índices de resistencia vascular, tal como corresponde a su edad gestacional. Índice de Stuart: 4,43; IR: 0,77.



Fig. 2.—Arteria umbilical. Gestación de 27+4 semanas. Aumento de la velocidad del flujo diastólico. Registro próximo a la inserción placentaria. Índice de Stuart: 2,69; IR: 0,63.

Fig. 3.—Arteria umbilical. Gestación a término. Altos valores de flujo diastólico. Se alcanzan los índices de resistencia vascular más bajos. Índice de Stuart: 2; IR: 0,50.

TABLA 1

ARTERIA UMBILICAL. ÍNDICE DE STUART. MEDIA, DE Y LÍMITES DE CONFIANZA DE LOS VALORES DEL COCIENTE SÍSTOLE/DIÁSTOLE (S/D), ENTRE LAS SEMANAS 16 Y 41

Semanas	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza
15-19	10	4,2156	0,4470	3,8720-4,5591
20-21	7	3,4386	0,6883	2,8020-4,0752
22-23	11	3,4269	0,5397	3,1008-3,7530
24-25	14	3,3379	0,4645	3,1140-3,5618
26-27	15	3,1050	0,5001	2,9001-3,300
28-29	23	2,9025	0,4604	2,6100-3,1950
30-31	21	3,0114	0,4111	2,6312-3,3916
32-33	24	2,7420	0,3231	2,3408-3,1432
34-35	32	2,5464	0,2087	2,4062-2,6866
36-37	20	2,2871	0,2950	2,0143-2,5600
38-41	16	2,3575	0,2528	1,9553-2,7597

Índice de Stuart: Sistóle/Diástole (S/D). N = 193.

TABLA 2

ARTERIA UMBILICAL. ÍNDICE DE RESISTENCIA. MEDIA, DE Y LÍMITES DE CONFIANZA DE LOS VALORES DEL IR (S/DS) ENTRE LAS SEMANAS 16 Y 41

Semanas	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza
15-19	10	0,7611	0,226	0,7437-0,7785
20-21	7	0,6971	0,0687	0,6336-0,7607
22-23	11	0,7023	0,0417	0,6771-0,7275
24-25	14	0,6942	0,0440	0,6730-0,7154
26-27	15	0,6713	0,0516	0,6401-0,698
28-29	23	0,6483	0,0552	0,6132-0,6834
30-31	21	0,6600	0,480	0,6156-0,7044
32-33	24	0,6320	0,0432	0,5783-0,6857
34-35	32	0,6055	0,0342	0,5825-0,6284
36-37	20	0,5557	0,0602	0,5000-0,6114
38-41	16	0,5725	0,0386	0,5110-0,6340

Índice de Stuart: Sistóle/Diástole (S/D). N = 193.



Fig. 4.—Vena umbilical. Flujo continuo, no pulsátil.

En la gestación normal, el espectro del flujo en la arteria umbilical se ha caracterizado por presentar componentes sistólico y diastólico anterógrados sin inversión del flujo.

En todos los estudios realizados, tanto en experimentación animal como con Doppler en gestaciones humanas, se demuestra que existen importantes resistencias vasculares en el sector fetal de la placenta que no se modifican durante el primer trimestre. A las siete 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 placentaria¹⁰.

Entre las 12 y 14 semanas comienza a visualizarse flujo diastólico, con un progresivo y permanente aumento de su velocidad hasta el final del embarazo, debido a la disminución de las resistencias vasculares que persistirá hasta el término de la gestación¹⁰. Esto es resultado del crecimiento y proliferación de las pequeñas arterias musculares y de las arteriolas de las vellosidades terciarias de la placenta⁸. Una velocidad diastólica baja, ausente o invertida en la arteria umbilical indica que la resistencia placentaria está aumentada y se correlaciona en la histología con una reducción en el número de los vasos terminales placentarios^{9,11,12}.

En estudios con Doppler color transvaginal se demuestra igualmente que el flujo diastólico de la arteria umbilical se halla generalmente ausente hasta la décima semana. A partir de aquí debe aparecer de forma progresiva y visualizarse en todos los casos entre las 15-20 semanas¹³.

Todas las gestantes valoradas por nosotros presentaban flujo diastólico en el análisis espectral de esta arteria. El estudio más temprano se realizó a las 15 semanas y ya existía flujo diastólico. Nuestras observaciones coinciden con las investigaciones de diferentes autores que estudiaron las características del flujo en esta arteria en embarazos de menos de 21 semanas^{13,14}.

En nuestro estudio, a partir del cálculo de los índices de resistencia vascular (S/D, IR) en cada registro, se han obtenido tablas con el valor medio, desviación estándar e intervalo de confianza para cada uno de ellos en las diferentes semanas. En éstas se pone de manifiesto la disminución progresiva de los índices con los valores más bajos en la gestación a término (tablas 1 y 2). Estos resultados son similares a los publicados en diferentes estudios^{9,15-18}. (tabla 3).

Hay que tener en cuenta que los valores de los índices Doppler en la arteria umbilical serán normales siempre que sean

TABLA 3
ARTERIA UMBILICAL. ÍNDICE DE STUART*

Semanas	Media	Límite superior
24	3,5	4,25
25	3,4	4,1
26	3,3	3,9
27	3,2	3,75
28	3,1	3,7
29	3,0	3,6
30	2,9	3,5
31	2,85	3,45
32	2,8	3,4
33	2,7	3,3
34	2,6	3,15
35	2,55	3,1
36	2,45	3,0
37	2,4	2,9
38	2,35	2,8
39	2,3	2,65
40	2,2	2,5

*I. Stuart (Sistole / Diástole).

Tabla obtenida a partir de las existentes en las siguientes referencias bibliográficas 9, 15 y 16. Aparece como tabla de referencia en el artículo de Carroll. Duplex Doppler systems in obstetric ultrasound. Radiol Clin North Am 1990;28(1):189-203 (24).

iguales o inferiores a los correspondientes para la edad gestacional. El aumento de los índices de resistencia por encima de los límites de confianza de las tablas utilizadas (media + 2DE) debe alertar hacia un posible deterioro de la condición fetal, especialmente cuando la velocidad telediastólica sea mínima, ausente o exista inversión del flujo¹⁰. Este aumento de los índices de resistencia se asocia con un mayor riesgo de resultado perinatal adverso (menores puntuaciones de Apgar al nacimiento, menor peso y edad gestacional, mayor porcentaje de cesáreas por sufrimiento fetal y aumento de la mortalidad perinatal)^{19,20}.

También se observa que la menor desviación estándar se produce al final del embarazo, concretamente a partir de las 34-36 semanas, coincidiendo con lo observado por Schulman et al²¹. Esto implica que es más difícil definir una onda anormal antes del tercer trimestre.

En cuanto al lugar de obtención de los registros, éstos se obtuvieron, siguiendo las recomendaciones técnicas, en la parte media del cordón o en la inserción placentaria. En este sentido es muy útil el empleo del Doppler color dado que permite reconocer con facilidad la zona libre del cordón y su inserción placentaria, especialmente en gestaciones avanzadas o gestaciones con oligoamnios.

Se evitó la zona de inserción abdominal, ya que en esta zona se han demostrado las resistencias más altas^{8,22-25}. En trabajos realizados obteniendo mediciones en cuatro puntos distintos (inserción placentaria, asa libre del cordón, inserción en pared fetal y en el segmento intraabdominal de la arteria umbilical) se ha comprobado que los índices Doppler disminuían al avanzar las semanas de gestación y que éstos tenían valores superiores en las últimas localizaciones respecto a las primeras²⁶.

A la hora de comparar los resultados obtenidos con tablas de normalidad es por tanto necesario tener en cuenta la zona de obtención de los registros en el cordón. Hay autores que incluso recomiendan que cada centro obtenga y utilice sus propias tablas de referencia²⁷.

Fig. 5.—Arteria umbilical. Efecto del movimiento fetal en el análisis espectral de la arteria umbilical. Variabilidad entre los ciclos con diferentes valores de flujo sistólico y diastólico. Esto provoca alteración de los índices Doppler con valores que pueden ser interpretados como patológicos cuando realmente no lo son.

También hemos observado que los registros que se obtenían en períodos de actividad fetal mostraban gran variabilidad de un ciclo a otro, de ahí que se volvieran a obtener en períodos de reposo del feto. Esta variabilidad, con diferencias en el componente diastólico, afecta al cálculo de los índices de resistencia vascular y puede inducir falsos positivos al interpretar unos valores como patológicos cuando realmente no lo son (fig. 5).

Del mismo modo, la frecuencia cardíaca fetal afecta a los índices Doppler. Con valores dentro del rango fisiológico (120-160 lat/min), no se considera que la variación de la frecuencia cardíaca modifique significativamente los índices Doppler⁴. Por el contrario, en la bradicardia, al alargarse el tiempo de diástole, disminuye la velocidad telediastólica y en la taquicardia, al acortarse el tiempo de diástole, aumenta la velocidad telediastólica produciéndose una alteración de los índices Doppler y, por tanto, resultados no significativos²⁸. Modificaciones similares se producen con las alteraciones del ritmo cardíaco. En la figura 6 se ilustra el caso de un feto con bradicardia (89 pulsaciones/min) y alteración en el ritmo cardíaco. La extrasístole con pausa compensadora determina la disminución de la velocidad telediastólica en este ciclo cardíaco respecto al anterior.

Las malas condiciones técnicas pueden ser una fuente importante de error. Es recomendable que el ángulo de incidencia sea menor a 60° ya que con ángulos mayores se registra una disminución, o incluso ausencia, del componente diastólico.

El registro de la onda de flujo en la vena umbilical mediante Doppler pulsado puede obtenerse en cualquier parte del cordón. El vaso se identifica con facilidad en ecografía en modo B.

Durante el segundo y tercer trimestre de la gestación, el patrón de flujo sanguíneo normal en este vaso es no pulsátil, es decir no varía en respuesta a la contractilidad cardíaca fetal, continuo y de dirección contraria a la de la arteria umbilical. Sin embargo, de manera fisiológica puede existir pulsatilidad en la vena umbilical en el primer trimestre²⁹.

Se han demostrado también oscilaciones transitorias durante los períodos de actividad fetal³⁰ y en respuesta a la respiración fetal reflejando los cambios en la presión intratorácica¹⁸. La desaparición de las características normales del flujo en la vena umbilical con aparición de pulsatilidad se ha invocado como un

Fig. 6.—Arteria umbilical. Efecto de la bradicardia (89 lat/min) y de las alteraciones en el ritmo cardíaco en los índices Doppler. Índice de Stuart: 8,5; IR: 0,88.

signo anormal que refleja fallo cardíaco fetal en el segundo y tercer trimestre.

CONCLUSIONES

El conocimiento de la morfología normal de las ondas de velocidad de flujo de la arteria umbilical y de los valores normales de los índices Doppler relacionados con la edad gestacional nos permitirá la aplicación del método en embarazos de alto riesgo. En estos casos, la detección de un aumento en los índices de resistencia se asocia con un mayor riesgo de resultado perinatal adverso.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. D. Antonio Blanco Yun, Jefe del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Virgen Macarena, por la ayuda prestada para la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. D. Fernando González Prada, sin su colaboración no hubiera sido posible la realización de este estudio.

A Hortensia Criado, matrona responsable de la Unidad de Alto Riesgo del Servicio de Obstetricia del Hospital Virgen Macarena. Gracias a su incondicional ayuda he podido recopilar gran parte de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fitzgerald DE, Drumm JE. Non-invasive measurement of fetal circulation using ultrasound: a new method. *Br Med J* 1977;2:1450-2.
2. Kay HH, Carroll BA, Bowie JD, et al. Non uniformity of fetal umbilical systolic/diastolic ratios as determined with duplex Doppler sonography. *J Ultrasound Med* 1989;8:417.
3. American Institute of Ultrasound in Medicine Bioeffects Committee. Bioeffects considerations for the safety of diagnostic ultrasound. *J Ultrasound Med* 1988;7.
4. Maulik D, Yarlagadda P, Youngblood JP, Ciston P. Comparative efficacy of umbilical arterial Doppler indices for predicting adverse perinatal outcome. *Am J Obstet Gynecol* 1991;164:1434-9.

5. Yarlagadda P, Willoughby L, Maulik D. Effect of fetal heart rate on umbilical arterial Doppler indices. *J Ultrasound Med* 1989;8:215-8.
6. Trudinger BJ, Stevens D, Connelly A, Hales JRS, Alexander G, 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.
7. Cohen-Overbeek TE, Campbell S. Doppler ultrasound techniques for the measurement of uterine and umbilical blood flow. En: *The circulation uterine. Reproductive and perinatal medicine*. Ithaca: Perinatology Press, 1989; vol X:75-112.
8. 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.
9. Trudinger BJ, Giles WB, Cook CM, Bombardier J, Collins SL. Fetal umbilical artery flow velocity waveforms and placental resistance: Clinical significance. *Br J Obstet Gynaecol* 1985;92:23-30.
10. Carrera JM. Estudio con Doppler de la hemodinámica fetal en el crecimiento intrauterino retardado. En: *Crecimiento fetal normal y patológico*. Barcelona: Masson, 1997;349-87.
11. Fok RY, Pavolova Z, Benirschke K, Paul RH, Platt LD. The correlation of arterial lesions with umbilical artery Doppler velocimetry in placentas of small-for-dates pregnancies. *Obstet Gynecol* 1990;75: 578-83.
12. Bracero LA, Beneck D, Kirshenbaum N, Peiffer M, Stalter P, Schulman H. Doppler velocimetry and placental disease. *Am J Obstet Gynecol* 1989;161:388-93.
13. Arduini D, Rizzo G. Umbilical artery velocity waveforms in early pregnancy: a transvaginal color Doppler study. *J Clin Ultrasound* 1991;19:335-9.
14. Guzman ER, Schulman H, Karmel B, Higgins P. Umbilical artery Doppler velocimetry in pregnancies of less than 21 weeks duration. *J Ultrasound Med* 1990;9:655-9.
15. Stuart B, Drumm J, Fitzgerald DE, Dugan NM. Fetal blood velocity waveforms in normal pregnancy. *Br J Obstet Gynaecol* 1980;87: 780-5.
16. Erskine RLA, Ritchie JWK. Umbilical artery blood flow characteristics in normal and growth-retarded fetuses. *Br J Obstet Gynaecol* 1985;92:605-10.
17. Carrera JM, Mortera C, Alegre M, Torrents M. Efecto Doppler. En: Carrera JM: *Diagnóstico prenatal*. Barcelona: Salvat Editores, 1987; 285-305.
18. Carrera JM, Pérez-Ares C, Alegre M, Mortera C, Torrents M. Estudio de la onda de velocidad de flujo en la circulación umbilical. En: *Doppler en Obstetricia. Hemodinamia perinatal*. Barcelona, Masson-Salvat Medicina, 1992;229-37.
19. Divon MY. Umbilical artery Doppler velocimetry: Clinical utility in high-risk pregnancies. *Am J Obstet Gynecol* 1996;174(1):10-4.
20. Zelop CM, Richardson DK, Heffner LJ. Outcomes of severely abnormal umbilical artery Doppler velocimetry in structurally normal singleton fetuses. *Obstet Gynecol* 1996;87(3):434-8.
21. Schulman H, Winter D, Farmakides G, Ducey J, Guzman E, Coury A, Penny B. Pregnancy surveillance with Doppler velocimetry of uterine and umbilical arteries. *Am J Obstet Gynecol* 1989;160:192-6.
22. Maulik D. Principios básicos del ultrasonido con sistema Doppler en obstetricia. En Fleischer A. *Estudios de riesgo sanguíneo con sistema Doppler. Clínicas Obstétricas y Ginecológicas*. México, Interamericana, 1989;4:623-37.
23. Fleischer AC, Goldstein RB, Bruner JP, Worrell JA. Ecografía Doppler en obstetricia y ginecología. En Callen: *Ecografía en obstetricia y ginecología*. Buenos Aires: Médica Panamericana, 1995:549-69.
24. Carroll BA. Duplex Doppler systems in obstetric ultrasound. *Radiol Clin North Am* 1990;28(1):189-203.
25. Mine M, Nishio J, Nakai Y, Imanaka M, Ogita S. Effects of umbilical arterial resistance on its arterial blood flow velocity waveforms. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2001;80(4):307-10.
26. Schaefer M, Wittstock G, Ville Y. Doppler ultrasound examination of fetal umbilical arteries of the intra-abdominal segment in normal singleton pregnancies. *Z Geburtshilfe Neonatol*. 2000;204(4): 135-9.
27. Seco del Cacho C, Martínez Cortés L, Huertas MA, Moreno J, Bajo Arenas JM. Fluxometría Doppler en obstetricia. En: Bajo Arenas JM. *Ultrasonografía obstétrica. Guía práctica*. Madrid: Marban, 1997:433-53.
28. Maulik D, Yarlagadda AP, Youngblood JP, Willoughby L. Components of variability of umbilical arterial Doppler velocimetry: a prospective analysis. *Am J Obstet Gynecol*. 1989;160(6):1406-9;
29. Rizzo G, Arduini D, Romanini C. Umbilical vein pulsations: A physiologic finding in early gestation. *Am J Obstet Gynecol* 1992;167: 675-7.
30. Schulman H, Weirner Z. Doppler ultrasound in pregnancy. En: Taylor KJW, Burns PN, Wells PNT. *Clinical applications of Doppler*