



Valores de referencia del índice de pulsatilidad y de la velocidad máxima en la arteria cerebral media fetal durante el embarazo normal

Néstor Medina Castro,* Horacio Figueroa Diesel,* Edgar Hernández Andrade*^{**}

Nivel de evidencia: II-3

RESUMEN

Objetivo: establecer los valores de referencia del índice de pulsatilidad y de la velocidad máxima de la arteria cerebral media fetal durante el embarazo normal.

Participantes y métodos: se evaluó con ultrasonido Doppler la arteria cerebral media de 727 fetos con crecimiento normal entre las 20 y 40 semanas de gestación. La arteria cerebral media se localizó en un corte transverso del cráneo fetal a 1 cm de su origen en el polígono vascular cerebral. El ángulo de insonación se mantuvo lo más cercano posible a 0°. El índice de pulsatilidad y la velocidad máxima se midieron en cinco ciclos cardíacos consecutivos y el promedio fue considerado el valor representativo de cada caso. Se construyeron los límites de normalidad para cada semana de gestación y se analizó la reproducibilidad en las mediciones.

Resultados: la velocidad máxima de la arteria cerebral media fetal mostró correlación directa significativa con la EG (velocidad máxima de la arteria cerebral media = $-13.81 + 1.96 \times EG$, $r^2 = 0.59$, $p=0.001$). El índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media mostró aumento inicial hasta la semana de gestación 32 y disminuyó posteriormente (índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media = $2.44 + -0.02 \times EG$, $r^2 = 0.09$). El coeficiente de correlación intraobservador para la medición del índice de pulsatilidad fue de 0.89 (IC 95% 0.65-0.97) e interobservador de 0.87 (IC 95%: 0.63-0.93). La concordancia entre observadores mostró diferencia promedio en el cálculo del índice de pulsatilidad de 0.03 con desviación estándar de 0.19 y límites de concordancia al 95% de -0.41 a 0.35.

Conclusión: los valores de referencia actualizados del índice de pulsatilidad y velocidad máxima permiten optimizar la capacidad diagnóstica de la evaluación Doppler de la arteria cerebral media fetal.

Palabras clave: feto, arteria cerebral media, índice de pulsatilidad, velocidad máxima, valores de referencia.

ABSTRACT

Objective: To establish the normal reference values of the fetal middle cerebral artery (MCA) pulsatility index (PI) and MCA peak systolic velocity (PSV) during normal pregnancy.

Participants and methods: A total of 727 normally grown fetuses were evaluated with pulsed Doppler ultrasound between 20 and 40 weeks of gestation. The MCA was located in a transverse view of the fetal head 1 cm after its origin from the Willis vascular circle. The insonation angle was always kept as close as possible to 0°. The PI and PSV were measured in 5 consecutive and uniform cardiac cycles and the mean considered as the representative for each case. Normal reference values for each gestational week were constructed. Reproducibility and agreement were analyzed for the MCA PI estimation.

Results: There was a significant correlation between MCA PSV and gestational age (GA) ($PSV = -13.81 + 1.96 \times GA$, $r^2 = 0.59$, $p=0.001$). The correlation between MCA PI and GA showed an initial increment until week 30 with a further reduction towards the end of the pregnancy ($MCA PI = 2.44 + -0.02 \times EG$, $r^2 = 0.09$). Reproducibility analysis of the MCA PI estimation showed an intra-class and inter-class correlation coefficients of 0.89 (95%CI 0.65-0.97) and 0.87 (95% CI 0.63-0.93), respectively. Agreement evaluation showed a mean difference between observers of 0.03 (standard deviation 0.19), with 95% limits of agreement of -0.41 a 0.35.

Conclusion: The normal reference values obtained in this study confirm the diagnostic and prognostic capacity of the fetal MCA PI and the MCA PSV evaluation in high risk pregnancies.

Key words: fetus, middle cerebral artery, pulsatility index, peak systolic velocity, normal reference values.

RÉSUMÉ

Objectif : établir les valeurs de référence de l'indice de pulsatilité et de la vitesse maximale de l'artère cérébrale moyenne foetale pendant la grossesse normale.

Participants et méthodes : on a évalué avec l'ultrason Doppler, l'artère cérébrale moyenne de 727 fœtus avec développement normal entre les 20 et 40 semaines de gestation. L'artère cérébrale moyenne s'est localisée dans une coupe transversale du crâne foetal à 1 cm de son origine dans le polygone vasculaire cérébral. L'angle d'insonation s'est maintenu le plus proche possible de 0°. L'indice de pulsatilité et la vitesse maximale se sont mesurés en cinq cycles cardiaques consécutifs et la moyenne a été considérée la valeur représentative de chaque cas. On a construit les limites de normalité pour chaque semaine de gestation et on a analysé la reproductibilité dans les mesurages.

Résultats : la vitesse de l'artère cérébrale moyenne foetale a montré corrélation directe significative avec l'EG (vitesse maximale de l'artère cérébrale moyenne = $-13.81 + 1.96 \times EG$, $r^2 = 0.59$, $p = 0.001$). L'indice de pulsatilité de l'artère cérébrale moyenne a montré augmentation initiale jusqu'à la semaine 32 de gestation et a postérieurement diminué (indice de pulsatilité de l'artère cérébrale moyenne = $2.44 + -0.02 \times EG$, $r^2 = 0.09$).

X EG, $r^2 = 0.09$). Le coefficient de corrélation intra observateur pour le mesurage de l'indice de pulsatilité a été de 0.89 (IC 95% : 0.65-0.97) et inter observateur de 0.87 (IC 95% : 0.63-0.93). La concordance entre observateurs a montré différence moyenne dans le calcul de l'indice de pulsatilité de 0.03 avec déviation standard de 0.19 et limites de concordance à 95% de -0.41 à 0.35.

Conclusion : les valeurs de référence mises à jour de l'indice de pulsatilité et vitesse maximale permettent d'optimiser la capacité diagnostique de l'évaluation Doppler de l'artère cérébrale moyenne foetale.

Mots-clé : fœtus, artère cérébrale moyenne, indice de pulsatilité, vitesse maximale, valeurs de référence.

RESUMO

Objetivo: estabelecer os valores de referência do índice de pulsatilidade e da velocidade máxima da artéria cerebral média fetal durante a gravidez normal.

Participantes e métodos: avaliou-se com ultrasonograma Doppler a artéria cerebral média de 727 fetos com crescimento normal entre as vinte e quarenta semanas de gestação. A artéria cerebral média foi localizada num corte transverso do crânio fetal a 1 cm da sua origem no polígono vascular cerebral. O ângulo de insonância manteve-se o mais próximo possível a 0°. O índice de pulsatilidade e a velocidade máxima foram medidos em cinco ciclos cardíacos consecutivos e o promédio foi considerado o valor representativo de cada caso. Construiram-se os limites de normalidade para cada semana de gestação e se analizou a reprodutibilidade nas medições.

Resultados: a velocidade da artéria cerebral média fetal mostrou correlação direta significativa com a EG (velocidade máxima da artéria cerebral média = $-13,81+1,96 \times EG$, $r^2 = 0,59$, $p=0,001$). O índice de pulsatilidade da artéria cerebral média mostrou aumento inicial até a semana de gestação 32 e diminuiu depois (índice de pulsatilidade da artéria cerebral média = $2,44 + -0,02 \times EG$, $r^2 = 0,09$). O coeficiente de correlação intraobservador para a medição do índice de pulsatilidade foi de 0.89 IC 95% 0.65-0.97 e interobservador de 0.87 (IC 95%: 0.63-0.93). A concordância entre observadores mostrou diferença promedio no cálculo do índice de pulsatilidade de 0.03 com desvio standard de 0.19 e limites de concordância ao 95% de -0.41 a 0.35.

Conclusão: os valores de referência atualizados do índice de pulsatilidade e velocidade máxima permitem otimizar a capacidade diagnóstica da avaliação Doppler da artéria cerebral média fetal.

Palavras chave: feto, artéria cerebral média, índice de pulsatilidade, velocidade máxima, valores de referência.

La evaluación por ultrasonido Doppler de la arteria cerebral media es parte fundamental del diagnóstico del estado de salud del feto. A mayor velocidad del flujo sanguíneo en la arteria cerebral media, mayor es la probabilidad de que el feto tenga anemia fetal moderada o grave,¹ ya sea de origen inmunitario² o no inmunitario.³ Los índices que derivan del análisis de la onda de velocidad de flujo de la arteria cerebral media, como el índice de pulsatilidad pueden mostrar la vasodilatación cerebral, la cual es uno de los procesos de redistribución sanguínea relacionados con hipoxia fetal.^{4,5} La capacidad diagnóstica de la evaluación Doppler en la arteria cerebral media tiene relación directa con las curvas de normalidad utilizadas, ya que pequeñas diferencias metodológicas pueden producir cambios en los resul-

tados. En la bibliografía médica es posible encontrar distintas curvas de referencia que muestran discretas variaciones, las cuales son relevantes para la toma de decisiones clínicas. El propósito de este estudio es generar valores de referencia de la velocidad máxima y del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media durante la gestación y compararlos con los disponibles en la bibliografía médica.

PACIENTES Y MÉTODOS

Se estudiaron 727 mujeres con embarazos únicos y sin complicaciones que asistieron a los Departamentos de Medicina Fetal del Instituto Nacional de Perinatología y del Hospital Vall d'Hebron, de enero del 2003 a julio del 2005. La fecha del embarazo se estableció a partir de la última menstruación y, en caso de que la diferencia fuera mayor a una semana, se confirmó o corrigió por ultrasonido en el primer trimestre. Durante la vigilancia prenatal se excluyeron enfermedades, como: alteraciones del crecimiento, hipertensión, diabetes, aloinmunización a antígenos eritrocitarios, embarazos múltiples, o cualquier padecimiento que tuviera implicaciones en la hemodinamia fetal. También, se corroboró que los recién nacidos tuvieran peso normal, y se descartaron alteraciones funcionales,

* Unidad de Medicina Fetal, Departamento de Ginecología y Obstetricia, Hospital Materno Infantil Vall d'Hebron, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.

** Departamento de Medicina Materno-Fetal, Instituto Nacional de Perinatología, México.

Correspondencia: Dr. Edgar Hernández Andrade. Departamento de Medicina Materno-Fetal, Instituto Nacional de Perinatología. Montes Urales 800, colonia Lomas Virreyes, México, DF, CP 11000. Recibido: enero, 2006. Aceptado: mayo, 2006.

La versión completa de este artículo también está disponible en internet: www.revistasmedicasmexicanas.com.mx

metabólicas, estructurales o cromosómicas. A todas las participantes se les solicitó consentimiento informado y el proyecto fue aprobado por el comité de bioética del hospital.

Las mediciones Doppler se realizaron con un equipo de ultrasonido SONOLINE Antares (Siemens Ultrasound Division, Mountain View, CA 94043 USA) y un transductor abdominal lineal-curvo de 6-2 MHz. Se utilizó filtro de pared de 73 Hz, velocidad de repetición de pulsos a 4.9 kHz e intensidad de 68 dB. Las mediciones se realizaron en ausencia de movimientos respiratorios y corporales de la madre y del feto, y con frecuencia cardiaca fetal entre 120 y 160 latidos por minuto.⁶ La arteria cerebral media se localizó con un corte transversal del cráneo fetal, próximo a las alas del esfenoides, entre las fosas anterior y media. El volumen muestra del Doppler pulsado se colocó aproximadamente a 1 cm de su emergencia del polígono vascular. El ángulo de insonación se mantuvo lo más cercano a 0°, nunca fue mayor a 15° y no se corrigió manualmente (figura 1). Se evitó ejercer presión excesiva con el transductor sobre la cabeza del feto ya que altera la onda de velocidad de flujo.⁷



Figura 1. Área de localización de la arteria cerebral media en un corte transverso de la cabeza fetal. Con Doppler color se puede ver el polígono de Willis, el origen de la arteria cerebral media y el lugar en donde se coloca el volumen muestra del Doppler pulsado.

Antes de realizar el cálculo automatizado del índice de pulsatilidad, se bajó la línea de base, se disminuyó la escala hasta que la altura de la onda ocupó 75% del

área de análisis y se ajustaron las ganancias. Una vez realizados estos cambios, el índice de pulsatilidad se obtuvo por análisis automático del perfil de la onda de velocidad de flujo en cinco ciclos cardíacos uniformes. La medición de la velocidad máxima se realizó por separado en cada ciclo, y el promedio se consideró el valor representativo. Los índices térmico y mecánico se mantuvieron siempre por debajo de uno.

Los observadores se estandarizaron hasta alcanzar una consistencia superior a 0.80 según el coeficiente de correlación intraclass. La reproducibilidad de las mediciones se evaluó en 20 fetos, a los cuales se les calculó el coeficiente de correlación intra e interobservador y los límites de concordancia al 95% entre observadores, de acuerdo con el método descrito por Bland y Altman.⁸

Para el análisis descriptivo se utilizaron como medidas de tendencia central la media y la mediana y, como medidas de dispersión, desviaciones estándar y percentiles. Posteriormente se construyeron curvas dependientes de la EG. Para estos cálculos se utilizó el paquete estadístico SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Los resultados se compararon con las curvas de referencias utilizadas comúnmente en la práctica clínica.⁹⁻¹⁸

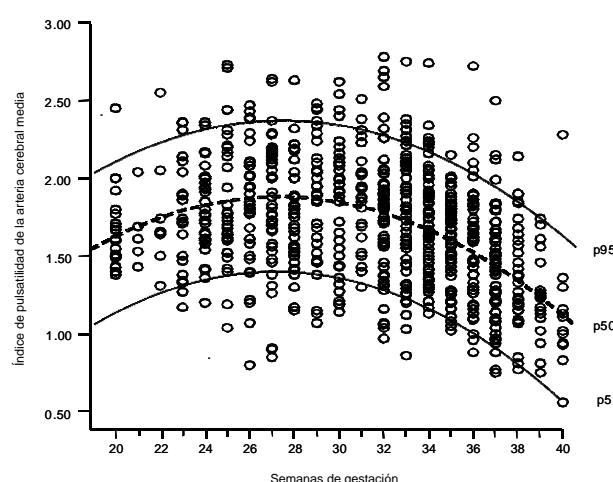
RESULTADOS

Al momento del estudio la edad materna (mediana) fue de 23 años (rango de 15 a 37 años), con edad gestacional de entre 20 y 40 semanas. En el cuadro 1 se muestran los valores de tendencia central y de dispersión del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media para cada semana de gestación. El índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media aumentó hasta la semana 32 de gestación y posteriormente disminuyó al final. Esto se representó con el análisis de regresión cuadrática (índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media = $2.44 + -0.02 \times EG$, $r^2 = 0.09$, figura 2).

En el cuadro 2 se muestran los valores de tendencia central y de dispersión de la velocidad máxima de la arteria cerebral media para cada edad gestacional. La velocidad máxima de la arteria cerebral media fetal mostró correlación directa y significativa con la EG (velocidad máxima de la arteria cerebral media = $-13.81 + 1.96 \times EG$, $r^2 = 0.59$, $p = 0.001$, figura 3).

Cuadro 1. Percentiles (p) del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media durante el embarazo

Semanas de gestación	p 5	p 50	p 95
20	1.38	1.60	2.40
21	1.43	1.61	2.38
22	1.41	1.65	2.41
23	1.38	1.73	2.36
24	1.29	1.79	2.34
25	1.24	1.74	2.71
26	1.22	1.83	2.43
27	1.20	1.83	2.57
28	1.17	1.77	2.32
29	1.12	1.89	2.45
30	1.18	1.92	2.56
31	1.14	1.93	2.45
32	1.15	1.82	2.66
33	1.11	1.80	2.35
34	1.12	1.70	2.25
35	1.07	1.63	2.00
36	0.99	1.60	2.20
37	0.85	1.45	2.12
38	0.79	1.37	1.99
39	0.75	1.24	2.00
40	0.56	1.06	1.80

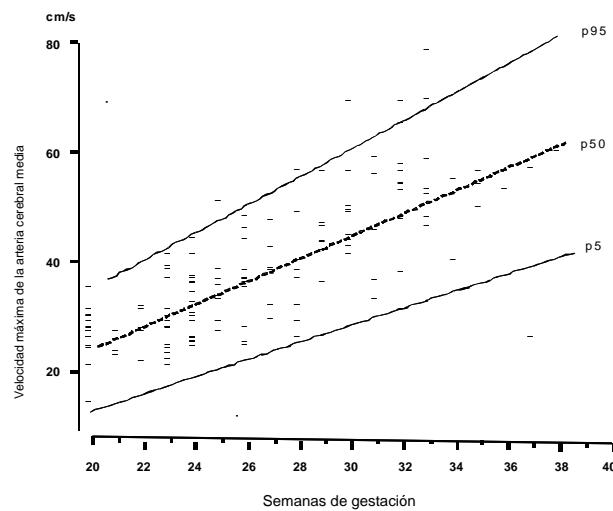
**Figura 2.** Curvas de normalidad del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media por semanas de gestación.

El análisis de reproducibilidad del cálculo del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media reveló coeficiente de correlación intraobservador de 0.89 (IC 95%: 0.65-0.97) e interobservador de 0.87 (IC 95%: 0.63-0.93). La concordancia entre observadores mostró diferencia promedio de 0.03, con desviación estándar de 0.19 e intervalos de concordancia al 95% de -0.41 a 0.35 (figura 4).

La comparación entre los resultados de este estudio con los valores de referencia utilizados más frecuentemente en la bibliografía médica para la velocidad

Cuadro 2. Media (M), desviación estándar (DE) y percentiles (p) de la velocidad máxima de la arteria cerebral media durante el embarazo

Semanas de gestación	M	DE	p 5	p 50	p 95
20	25.0	2.0	14.0	27.0	30.7
21	27.0	0.6	22.7	27.1	33.9
22	28.0	4.0	21.7	28.0	31.8
23	29.0	7.0	21.0	28.0	34.0
24	32.0	6.0	24.3	30.7	38.1
25	35.0	7.0	27.0	33.9	39.1
26	36.0	7.3	24.5	37.5	43.0
27	37.0	7.0	29.2	38.5	48.4
28	39.0	8.6	26.0	40.0	52.3
29	45.0	6.0	36.0	45.6	54.1
30	46.0	11.6	41.0	49.3	58.2
31	46.0	11.0	33.0	51.0	61.8
32	53.0	10.3	38.0	53.1	64.6
33	49.0	18.0	46.5	53.0	65.5
34	58.0	12.0	40.0	54.6	67.1
35	53.0	3.0	49.7	54.0	70.5
36	59.0	16.0	46.3	57.5	73.0
37	42.0	22.0	47.0	59.0	80.0
38	62.0	18.0	44.6	60.4	83.7
39	65.0	14.0	48.9	62.2	82.4
40	67.0	14.0	46.7	65.0	88.9

**Figura 3.** Curvas de normalidad de la velocidad máxima de la arteria cerebral media por semanas de gestación.

máxima de la arteria cerebral media se muestra en el cuadro 3, y para el índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media en el cuadro 4. Se observa gran consistencia entre los valores de referencia de la velocidad máxima de la arteria cerebral media; sin embargo, el límite inferior de nuestros valores de índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media fue en promedio 2 décimas menor durante la gestación, en comparación con los utilizados en la bibliografía médica.

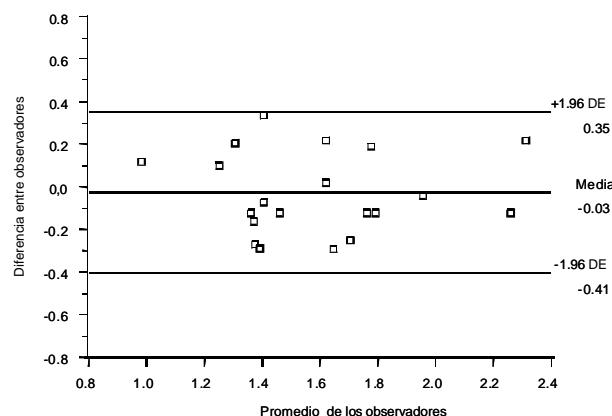


Figura 4. Límites de concordancia entre observadores en la medición del índice de pulsatilidad en la arteria cerebral media.

Cuadro 3. Medidas de tendencia central y de dispersión de la velocidad máxima de la arteria cerebral media durante el embarazo de este estudio y de las reportadas en la bibliografía en su aplicación para identificar a los fetos con riesgo de anemia

SG	M	Este estudio (n = 245)					Scheier y col. ² (n = 813)					Kurmanavicius y col. ¹¹ (n = 331)					Mari y col. ¹⁰ (n = 135)						
		1.5 DE	2 DE	p50	1.5 MoM	2 MoM	M	1.5 DE	2 DE	p50	1.5 MoM	2 MoM	p50	1.5 MoM	2 MoM	M	1.5 DE	2 DE	p50	1.5 MoM	2 MoM		
20	25.0	28.0	29.0	27.0	40.50	54.00	25.62	34.18	37.62	21.8	32.70	43.60	25.5	38.25	51.00	20	27.0	28.0	28.3	27.0	40.65	54.20	26.96
21	27.0	28.0	28.3	27.0	40.65	54.20	26.96	35.98	39.61	23.9	35.85	47.80	26.7	40.05	53.40	21	28.0	34.0	36.0	28.0	42.00	56.00	28.39
22	28.0	34.0	36.0	28.0	42.00	56.00	28.39	37.87	41.69	26.0	39.00	52.00	27.9	41.85	55.80	22	29.0	39.5	43.0	28.0	42.00	56.00	29.88
23	29.0	39.5	43.0	28.0	42.00	56.00	29.88	39.87	43.89	28.2	42.30	56.40	29.3	43.95	58.60	23	32.0	41.0	44.0	30.0	46.05	61.40	31.46
24	32.0	41.0	44.0	30.0	46.05	61.40	31.46	41.97	46.20	30.3	45.45	60.60	30.6	45.90	61.20	24	35.0	45.5	49.0	33.0	50.85	67.80	33.11
25	35.0	45.5	49.0	33.0	50.85	67.80	33.11	44.18	48.64	32.4	48.60	64.80	32.1	48.15	64.20	25	36.0	47.0	50.6	37.0	56.25	75.00	34.86
26	36.0	47.0	50.6	37.0	56.25	75.00	34.86	46.51	51.20	34.6	51.90	69.20	33.6	50.40	67.20	26	37.0	47.5	51.0	38.0	57.75	77.00	36.69
27	37.0	47.5	51.0	38.0	57.75	77.00	36.69	48.96	53.90	36.7	55.05	73.40	35.2	52.80	70.40	27	39.0	52.0	56.3	40.0	60.00	80.00	38.63
28	39.0	52.0	56.3	40.0	60.00	80.00	38.63	51.54	56.74	38.8	58.20	77.60	36.9	55.35	73.80	28	45.0	54.0	57.0	45.0	68.40	91.20	40.66
29	45.0	54.0	57.0	45.0	68.40	91.20	40.66	54.25	59.73	40.9	61.35	81.80	38.9	58.35	77.80	29	46.0	63.5	69.3	49.0	73.95	98.60	42.81
30	46.0	63.5	69.3	49.0	73.95	98.60	42.81	57.11	62.87	43.1	64.65	86.20	40.5	60.75	81.00	30	46.0	62.5	68.0	51.0	76.50	102.00	45.06
31	46.0	62.5	68.0	51.0	76.50	102.00	45.06	60.12	66.19	45.2	67.80	90.40	42.4	63.60	84.80	31	53.0	68.5	73.6	53.0	79.65	106.20	47.44
32	53.0	68.5	73.6	53.0	79.65	106.20	47.44	63.29	69.67	47.3	70.95	94.60	44.4	66.60	88.80	32	49.0	76.0	85.0	53.0	79.50	106.00	49.93
33	49.0	76.0	85.0	53.0	79.50	106.00	49.93	66.62	73.34	49.5	74.25	99.00	26.5	39.75	53.00	33	58.0	76.0	82.0	54.0	81.90	109.20	52.57
34	58.0	76.0	82.0	54.0	81.90	109.20	52.57	70.13	77.21	51.6	77.40	103.20	48.7	73.05	97.40	34	53.0	57.5	59.0	54.0	81.00	108.00	55.34
35	53.0	57.5	59.0	54.0	81.00	108.00	55.34	73.83	81.28	53.7	80.55	107.40	51.1	76.65	102.20	35	59.0	83.0	91.0	57.0	86.25	115.00	58.25
36	59.0	83.0	91.0	57.0	86.25	115.00	58.25	77.72	85.56	55.8	83.70	111.60	53.5	80.25	107.00	36	42.0	75.0	86.0	59.0	88.50	118.00	61.32
37	42.0	75.0	86.0	59.0	88.50	118.00	61.32	81.81	90.07	58.0	87.00	116.00	56.0	84.00	112.00	37	62.0	89.0	98.0	60.0	90.60	120.80	64.55
38	62.0	89.0	98.0	60.0	90.60	120.80	64.55	86.12	94.81	60.1	90.15	120.20	58.7	88.05	117.40	38	65.0	79.0	93.0	62.0	93.30	124.40	67.95
39	65.0	79.0	93.0	62.0	93.30	124.40	67.95	90.66	99.81	62.2	93.3	124.4	61.5	92.2	123.0	39	67.0	81.0	95.0	65.0	97.50	130.00	71.53
40	67.0	81.0	95.0	65.0	97.50	130.00	71.53	95.44	105.0	64.4	96.6	128.8	64.4	96.6	128.8	40	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.	SG: semanas de gestación; M: media; DE: desviación estándar; p: percentil; MoM: múltiplo de la mediana.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que durante el embarazo normal la velocidad máxima de la arteria cerebral media aumenta en relación directa con la EG y que el índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media tiene primero aumento hasta la semana 32 de gestación y disminuye posteriormente al final del embarazo. Este comportamiento parece ser consecuencia

de la disminución progresiva en la impedancia al flujo en el sistema nervioso central.

Al analizar nuestros valores de referencia por EG del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media, se nota disminución de aproximadamente dos décimas de unidad al compararlos con los obtenidos por otros grupos.^{9,12-15} Esta diferencia podría ser consecuencia de modificaciones sutiles en la técnica de medición y de la sensibilidad mayor de los equipos actuales de ultrasonido de los flujos lentos. En este estudio todos los parámetros Doppler se ajustaron para captar de manera óptima los flujos de baja y alta velocidad, y coinciden con los reportados por Konje y sus colaboradores.¹⁶

Los informes de las primeras curvas de normalidad de la arteria cerebral media se publicaron en el decenio de 1980 o inicios del de 1990.^{13,15} Desde entonces, los equipos de ultrasonido incrementaron su capacidad tecnológica. La discriminación de las ondas sónicas de baja velocidad del ruido sónico permite identificar, con mayor precisión, los flujos lentos e integrarlos al espectro de análisis. El aumento en la frecuencia de repetición de pulsos permite

Cuadro 4. Medidas de tendencia central y de dispersión del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media durante el embarazo de este estudio y de las reportadas en la bilbiografía en su aplicación para identificar redistribución sanguínea en fetos con restricción en el crecimiento intrauterino

Semanas de gestación	Este estudio (n = 727)		Baschat y col. ¹⁸ (n = 306)		Arduini y col. ¹⁵ (n = 926)	
	p 5	p 50	< 2 DE	Media	p 5	p 50
20	1.38	1.60	1.28	1.76	1.36	1.83
21	1.43	1.61	1.39	1.79	1.40	1.87
22	1.41	1.65	1.21	1.87	1.44	1.91
23	1.38	1.73	1.33	1.65	1.47	1.93
24	1.29	1.79	1.43	1.85	1.49	1.96
25	1.24	1.74	1.21	2.03	1.51	1.97
26	1.22	1.83	1.23	2.09	1.52	1.98
27	1.20	1.83	0.82	2.18	1.53	1.99
28	1.17	1.77	1.39	2.21	1.53	1.99
29	1.12	1.89	1.40	2.02	1.53	1.99
30	1.18	1.92	1.68	2.34	1.52	1.98
31	1.14	1.93	1.59	2.21	1.51	1.97
32	1.15	1.82	1.43	1.81	1.49	1.95
33	1.11	1.80	1.14	1.90	1.46	1.93
34	1.12	1.70	1.25	1.79	1.43	1.90
35	1.07	1.63	1.19	1.81	1.40	1.86
36	0.99	1.60	1.26	1.80	1.36	1.82
37	0.85	1.45	0.70	2.06	1.32	1.78
38	0.79	1.37	1.06	1.66	1.27	1.73
39	0.75	1.24	1.12	1.64	1.08	1.55
40	0.56	1.06	0.87	1.29	1.01	1.48

DE: desviación estándar; p: percentil.

identificar, con más precisión, los cambios sutiles del flujo sanguíneo en relación con el tiempo. Esto puede contribuir a la modificación de los valores de referencia en el índice de pulsatilidad que se observaron en este estudio.

Durante el ciclo cardíaco, la cuantificación precisa de las diferentes velocidades del flujo sanguíneo con ultrasonido Doppler están influenciados por el ángulo de insonación. En los primeros equipos dúplex se utilizaba un transductor Doppler fijo a un transductor bidimensional, lo que daba un ángulo preestablecido de 45°, que permitía evaluar la arteria y vena umbilicales, la aorta y la carótida fetales, pero prácticamente era imposible evaluar la arteria cerebral media o el resto de los vasos fetales.⁶ Por lo tanto, la evaluación de los índices de pulsatilidad y resistencia tenían información más confiable al analizar la relación entre varios parámetros igualmente afectados por el ángulo de insonación. En los últimos años, la exploración de las velocidades reales es un método diagnóstico con gran potencial, ya que refleja el volumen neto de sangre que viaja por determinado territorio vascular.

Durante la gestación, los valores obtenidos de la velocidad máxima de la arteria cerebral media son consistentes con los reportados previamente.^{2,10,11} Esta evaluación permite identificar al feto con riesgo de tener anemia. La delimitación correcta de los puntos de corte es fundamental para establecer la conducta clínica, ya que de esto depende que se realice un procedimiento invasor fetal o tratamiento conservador. En el feto anémico, el aumento de la velocidad sanguínea se debe a un estado hiperdinámico,² que se distingue por la disminución de la viscosidad de la sangre fetal y el aumento del gasto cardíaco. El aumento del gasto cardíaco depende del incremento en la frecuencia cardíaca fetal y del volumen latido. Este último depende, a su vez, de mayor contractilidad cardíaca, de disminución de la poscarga (por ejemplo, vasodilatación periférica) y de aumento en la precarga, la cual está en relación directa con el aumento en el retorno venoso. La aplicación de la velocidad máxima de la arteria cerebral media en el tratamiento de la anemia fetal varía de centro a centro, pero la utilización de múltiples de la mediana¹ y desviaciones estándar² tienen sensibilidad (por ejemplo, 80%) y tasa de falsos positivos equivalentes (por ejemplo, 30%).¹⁹

El estudio de reproducibilidad en el cálculo del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media muestra que, a pesar de que es una valoración clínicamente aplicable y relativamente fácil de realizar, existe variabilidad en sus resultados. Los límites de concordancia muestran que, a pesar de que dos observadores diferirán en promedio 0.03 unidades de índice de pulsatilidad, la variación puede ser tan grande como de -0.41 a 0.35, con 95% de confianza. Por ejemplo, si para un observador el resultado del índice de pulsatilidad es de 1.5, para el segundo observador puede variar de 1.09 (-0.41) a 1.85 (0.35). Esta variabilidad, que está influida por parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca fetal y la presión arterial sistémica, puede ser la causante de la variación de resultados que se obtienen al aplicar este método diagnóstico en la práctica diaria. El índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media, como componente de la razón cerebro-placenta,¹⁸ demostró que es un factor pronóstico eficaz para fetos sin flujo en la arteria umbilical, ya que en la predicción

de mortalidad neonatal y morbilidad grave un valor igual o mayor a 1.9 tiene sensibilidad del 75% y tasa de falsos positivos del 13%.²⁰

CONCLUSIÓN

Los valores de referencia del índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media al ser evaluados con nuevos equipos de ultrasonido muestran reducción con los valores previamente reportados. Esto es importante ya que pueden modificar la toma de decisiones clínicas. En cambio, los valores de la velocidad máxima de la arteria cerebral media son consistentes con los ya disponibles en la bibliografía médica. El estudio de la arteria cerebral media es un parámetro muy importante para la evaluación de fetos con hipoxia o anemia.

Agradecimientos

El Dr. Néstor Medina agradece el apoyo de la Fundación Aventis, A.C., para la realización de este trabajo. El Dr. Horacio Figueroa expresa su reconocimiento a la Universidad de los Andes en Santiago de Chile.

REFERENCIAS

- Mari G, Deter RL, Carpenter RL, et al. Noninvasive diagnosis by Doppler ultrasonography of fetal anemia due to maternal red cell alloimmunization. *N Engl J Med* 2000;342:9-14.
- Scheier M, Hernandez-Andrade E, Carmo A, Dezerega V, Nicolaides KH. Prediction of fetal anemia in rhesus disease by measurement of fetal middle cerebral artery peak systolic velocity. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004;23:432-6.
- Hernandez-Andrade E, Scheier M, Dezerega V, Carmo A, Nicolaides KH. Fetal middle cerebral artery peak systolic velocity in the investigation of non-immune hydrops. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004;23:442-5.
- Harrington K, Carpenter RG, Nguyen M, Campbell S. Changes observed in Doppler studies of the fetal circulation in pregnancies complicated by pre-eclampsia or the delivery of a small for gestational age baby. I. Cross-sectional analysis. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995;6:19-28.
- Baschat AA, Gembruch U, Reiss I, Gortner L, Weiner CP, Harman CR. Relationship between arterial and venous Doppler and perinatal outcome in fetal growth restriction. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000;16:407-13.
- Marsal K, Lindblad A, Lingman G, Eik-Nes SH. Bloodflow in the descending aorta: intrinsic factors affecting fetal blood flow. *Ultrasound Med Biol* 1984;10:339-48.
- Vyas S, Campbell S, Bower S, Nicolaides KH. Maternal abdominal pressure alters fetal cerebral blood flow. *Br J Obstet Gynecol* 1990;97:740 -2.
- Bland JM, Altman DG. Applying the right statistics: analyses of measurement studies. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003;22:85-93.
- Vyas S, Nicolaides KH, Bower S, Campbell S. Middle cerebral artery flow velocity waveforms in fetal hypoxemia. *Br J Obstet Gynecol* 1990;97:797-803.
- Mari G, Adriñolo A, Abuhamad Z, et al. Diagnosis of fetal anemia with Doppler ultrasound in the pregnancy complicated by maternal blood group immunization. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995;5:400-5.
- Kurmanavicius J, Streicher A, Wright M, et al. Reference values of fetal peak systolic blood flow velocity in the middle cerebral artery at 19-40 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2001;17:50-53.
- Bahlmann F, Reinhard I, Krummenauer F, Neubert S, Macchiella D, Wellek S. Blood flow velocity waveforms of the fetal middle cerebral artery in a normal population: reference values from 18 weeks to 42 weeks of gestation. *J Perinat Med* 2002;30:490-501.
- Arstrom K, Eliasson A, Hareide JH, Marsal K. Fetal blood velocity waveforms in normal pregnancies. A longitudinal study. *Acta Obstet Gynecol Scand* 1989;68:171-8.
- Van den Wijngaard JA, Groenenberg IA, Vladimiroff JW, Hop WC. Cerebral Doppler ultrasound of the human fetus. *Br J Obstet Gynaecol* 1989;96:845-9.
- Arduini D, Rizzo G. Normal values of pulsatility index from fetal vessels: a cross-sectional study on 1556 healthy fetuses. *J Perinat Med* 1990;18:165-72.
- Konje JC, Abrams KR, Taylor DJ. Normative values of Doppler velocimetry of five major fetal arteries as determined by color power angiography. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2005;84:230-7.
- Mari G, Deter RL. Middle cerebral artery flow velocity waveforms in normal and small-for-gestational-age fetuses. *Am J Obstet Gynecol* 1992;166:1262-70.
- Baschat AA, Gembruch U. The cerebroplacental Doppler ratio revisited. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003;21: 124-7.
- Bartha JL, Illanes S, Abdel-Fattah S, Hunter A, Denbow M, Soothill PW. Comparison of different reference values of fetal blood flow velocity in the middle cerebral artery for predicting fetal anemia. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005;25:335-40.
- Vergani P, Roncaglia N, Locatelli A, et al. Antenatal predictors of neonatal outcome in fetal growth restriction with absent