

정상 임신에서 Doppler 초음파를 이용한 제대동맥 혈류속도 파형에 관한 연구

영남대학교 의과대학 산부인과학교실
배철성 · 권기진 · 이두진
박윤기 · 이승호

영남대학교 의과대학 진단방사선과학교실
조길호

서 론

자궁내에서 태아의 성장 및 안녕을 예측하고 고위험성 임신부에 있어서 태아의 위험도를 평가하는 많은 방법들이 오래동안 산과영역에서 발전하여 왔으나 최근 비침윤성으로 태아의 건강상태를 진단하는 비수축검사, 수축검사, 생물-물리학적 검사(Biophysical profile) 등과 더불어 도플러 초음파를 이용한 방법이 산과의의 중대한 관심사이다¹⁾.

태아의 제대태반 순환이 태아의 성장 및 안녕에 직접적인 영향을 미치며 태아의 심혈관계 생리에 중요한 역할을 하고 있는 것으로 알려져 있기 때문에 도플러 초음파를 이용한 태아의 제대태반 순환계에 대한 동태파악을 위한 많은 연구가 시도되어 왔었다^{2,3)}. 이론적으로 제대태반 순환계의 혈류량이 태아의 성장 및 안녕에 중요한 역할을 하지만 그 혈류량의 측정은 실제적으로 초음파 광속과 혈류속도 방향 사이의 각도에 따라 오차가 크므로, 임상적으로 태아의 제대동맥의 혈류속도 파형양상을 연구하여 태아의 성장 및 안녕을 평가하며 더욱 의의가 있는 최고 수축기/이완기말 혈류속도의 비, pulsatility index(PI) 그리고 resistance index(RI) 등의 3가지를 기준으로 하여 임신 주수에 따른 변화양상을 연구하게 되었다³⁻⁵⁾.

본연구는 정상임신중 태아의 제대동맥 혈류속도 파형양상을 3가지 지표로 나누어 각각 임신 주수별로 그 변화양상을 분석하여 그 표준을 구하고 임상적 유용성에 필요한 기초자료를 얻기 위하여 시행하였다.

대상 및 방법

1990년 5월 1일부터 1991년 4월 30일까지 영남대학교 의과대학 부속병원 산부인과에 정기적으로 산전검진을 받기 위해 내원한 정상산모를 대상으로 도플러 초음파를 시행하였다. 임신전 월경력이 불규칙하여 임신 주수가 불확실한 경우, 임신 초기 혹은 그 이후에 시행한 초음파 단층촬영상 태아의 아두대횡경 혹은 대퇴골경이 최종월경일을 기준으로 임신 주수와 일치하지 않는 경우나 태아의 선천성 기형이 있는 경우는 연구 대상군에서 제외하였다. 또한 임신성 고혈압, 당뇨, 다태임신, 조기 양막파수, 전치태반 및 태아곤란증등의 각종 이상 임신의 경우도 대상군에서 제외하였다. Cunningham 등⁶⁾에 의거하여 체중이 10 percentile 이내의 저체중아 및 90 percentile 이상의 과대체중아를 제외한 건강한 신생아를 분만한 정상 임신부 157명을 대상으로 160회의 검사 결과를 기초로 하여

각각을 임신 주수별로 분석하였다. 임신 주수의 산출은 최종월경일을 기준으로 Naegel씨 법칙에 의하여 산정하였으며, 20(16-20), 24(21-24), 28(25-28), 30(29-30), 32(31-32), 33, 34, 35, 36, 37, 38 및 40(39-41)주로 아군을 나누었다.

초음파검사는 박동파(Pulsed wave) 도플러를 이용한 3.5MHz realtime mechanical sector 탐촉자를 이용한 Ultramark 9(ATL)을 이용하여 제대내의 제대동맥을 확인한 뒤 3-7mm 크기로 동일한 모양의 지속적인 Doppler 파형이 나타나는 경우에 화면을 정지시키고 각각의 최고수축기 혈류속도(S) 및 이완기말 혈류속도(D)와 그 파형을 검사하였다.

각각의 도플러 파형에서 최고 수축기 혈류속도(S) 와 이완기말 혈류속도(D)의 비(S/D ratio), PI 및 RI는 아래와 같이 산출하였다(그림1).

위의 3가지 지표를 기준으로 산정된 결과를 각각 임신 주수별의 평균치 및 표준오차를 산출하였다.

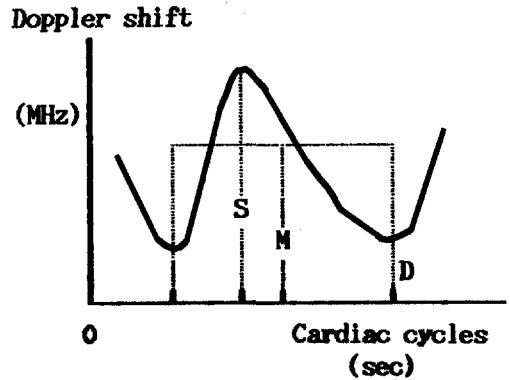


Fig. 1. Schematic drawing of the umbilical artery flow velocity waveforms showing methods of calculation S/D ratio, pulsatility index (PI) and resistance index (RI)

S : Peak-systolic velocity

D : End-diastolic velocity

M : Mean velocity

S/D ratio : S/D , $PI = (S-D)/M$,

$RI = (S-D)/S$

성 적

임신 16주 이후의 대상군에 참여 하였던 모든

Table 1. Umbilical artery peak-systolic, end-diastolic and mean doppler flow velocity in each gestational age

Gestation week	N (160)	Paak systolic Velocity	End-diastolic Velocity	Mean velocity
		Mean± SE	Mean± SE	Mean± SE
20	12	0.272± 0.027	0.086± 0.019	0.158± 0.028
24	17	0.273± 0.016	0.073± 0.006	0.142± 0.009
28	18	0.309± 0.016	0.109± 0.010	0.189± 0.012
30	19	0.324± 0.029	0.112± 0.011	0.193± 0.024
32	14	0.331± 0.035	0.109± 0.015	0.201± 0.019
33	11	0.339± 0.030	0.126± 0.012	0.210± 0.015
34	11	0.359± 0.020	0.134± 0.010	0.217± 0.019
35	11	0.360± 0.017	0.143± 0.016	0.215± 0.010
36	11	0.374± 0.013	0.144± 0.010	0.230± 0.008
37	12	0.381± 0.035	0.140± 0.020	0.216± 0.026
38	17	0.376± 0.029	0.157± 0.011	0.233± 0.015
49	7	0.416± 0.023	0.181± 0.017	0.267± 0.017

경우에 있어서 도플러 초음파 검사가 불가능하였던 경우는 없었으며 임신이 진행함에 따라 태아 제대동맥의 도플러 파형의 최고 수축기 혈류속도가 증가양상을 보임으로 제대동맥의 혈류량을 임신이 진행함에 따라 증가함을 관찰할 수 있었으며, 이완기말 속도의 증가 양상으로 보아 이는 제대태반 순환계의 저항이 임신의 진행과 더불어 지속적으로 감소됨을 알 수 있었다(표1, 그림2, 3).

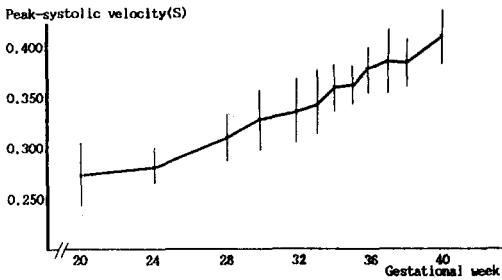


Fig. 2. Mean values of umbilical artery peak-systolic flow velocity(S)

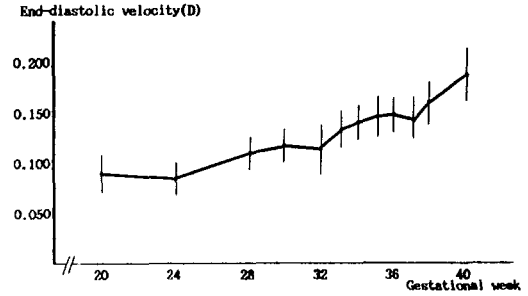


Fig. 3. Mean values of umbilical artery end-diastolic flow velocity(D)

태아의 제대 동맥을 혈류속도 파형양상을 나타내는 3가지 지표인 최고 수축기(S)에 대한 이완기말(D) 혈류속도의 비(S/D ratio), pulsatility index(PI) 그리고 resistance index(RI)는 임신이 진행함에 따라 3가지 지표 모두 감소하는 양상을 보이며 후반기 말에는, 특히 33주 이후에는 거의 비슷한 수치를 나타내었다(표 2).

임신이 진행함에 따라 최고 수축기 혈류속도가 증가함에도 불구하고 최고 수축기/이완기말

Table 2. Umbilical artery S/D ratio PI and RI in each gestational age

Getestation week	N N(160)	S/D Ratio Mean± SE	PI Mean± SE	RI Mean± SE
20	12	4.10± 0.30	1.69± 0.32	0.74± 0.02
24	17	3.76± 0.24	1.31± 0.08	0.72± 0.02
28	18	3.53± 0.34	1.26± 0.07	0.69± 0.02
30	19	3.18± 0.14	1.18± 0.05	0.67± 0.01
32	14	3.14± 0.20	1.16± 0.07	0.67± 0.02
33	11	2.95± 0.21	1.05± 0.05	0.59± 0.02
34	11	2.74± 0.12	1.01± 0.04	0.60± 0.01
35	11	2.61± 0.08	1.03± 0.04	0.63± 0.02
36	11	2.53± 0.11	0.96± 0.04	0.63± 0.02
37	12	2.55± 0.15	1.01± 0.06	0.59± 0.02
38	17	2.54± 0.08	1.03± 0.05	0.61± 0.01
40	7	2.41± 0.17	1.89± 0.06	0.57± 0.03

S/D ratio : ratio of peak systolic to end-diastolic flow velocity

PI : pulsatility index

RI : resistance index

혈류속도의 비는 오히려 감소함으로 관찰할 수 있었다(그림 4).

임신이 지속함에 따라 pulsatility index 및 resistance index도 감소하는 양상을 보였다(그림 5, 6).

그림 7은 이 연구에서 얻어진 전형적인 태아 제대 동맥 혈류 파형 도플러 초음파 사진을 각 임신 주수별로 나타낸 것이다(그림 7).

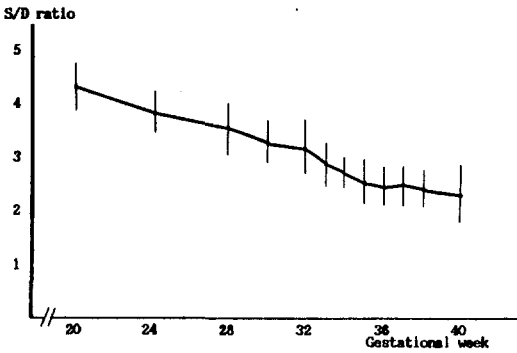


Fig. 4. Mean values of umbilical artery S/D ratio in normal pregnancy

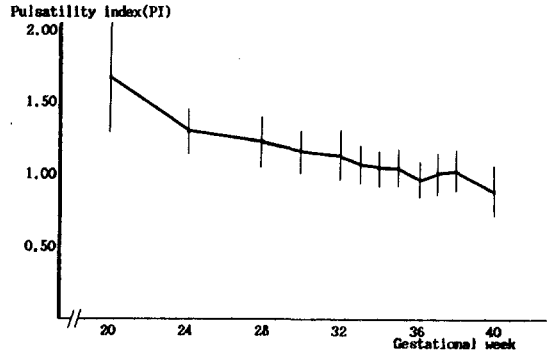


Fig. 5. Mean values of umbilical artery PI in normal pregnancy

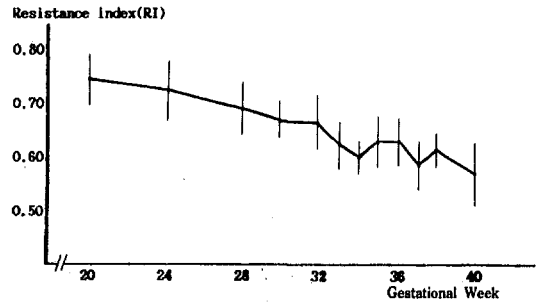
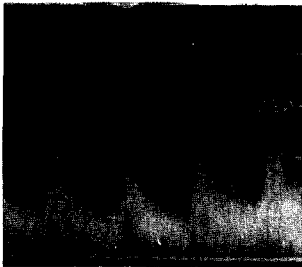
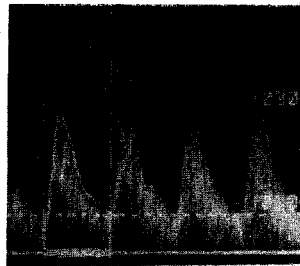


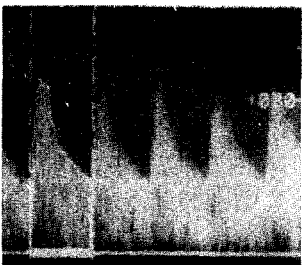
Fig. 6. Mean values of umbilical artery RI in normal pregnancy



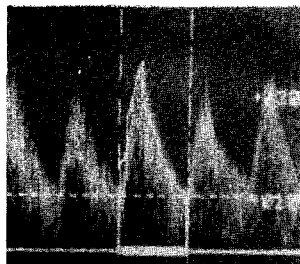
20 Week gestation
 S/D : 4.10 ± 0.30
 P I : 1.67 ± 0.32
 R I : 0.74 ± 0.02



24 week gestation
 S/D : 3.76 ± 0.24
 P I : 1.31 ± 0.08
 R I : 0.72 ± 0.02



30 Week gestation
 S/D : 3.18 ± 0.14
 P I : 1.18 ± 0.05
 R I : 0.67 ± 0.01



34 week gestation
 S/D : 2.74 ± 0.12
 P I : 1.01 ± 0.04
 R I : 0.60 ± 0.01

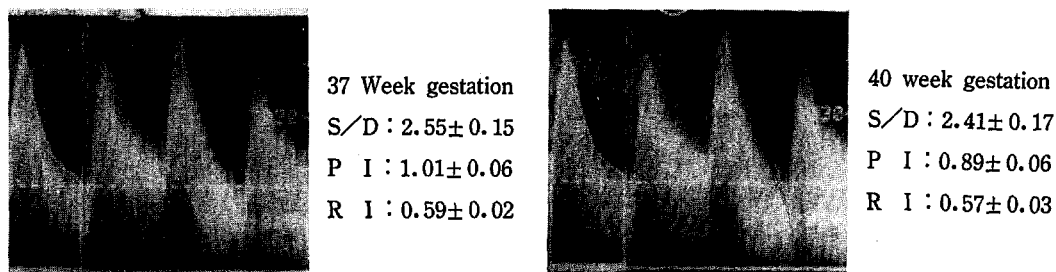


Fig. 7. Typical sonographic pictures of fetal umbilical artery blood flow velocity waveforms at the gestational age in normal pregnancy

고 찰

도플러 초음파는 비침윤성으로 혈관내 혈류속도를 측정함으로써 혈관의 기능을 조사할 수 있다. 도플러에 의한 혈류속도 파형의 측정은 심장의 수축에 의하여 발생하는 압축파와 말초혈관으로 부터 반사된 음파의 상호관계에 의하여 결정되므로 제대 동맥의 혈류속도 파형은 말초혈관의 저항의 정도와 밀접한 관계가 있다⁷⁾.

FitzGerald와 Drumm⁸⁾이 산과적 영역에서 처음으로 연속파(Continuous wave)도플러를 이용하였고 MaCallum 등⁷⁾이 박동파(Pulsed wave)도플러를 이용한 수많은 연구가 산과영역에서 시행되어 왔었다.

태아의 제대태반 순환은 태아의 성장 및 안녕에 직접적인 영향을 주며 태아의 심혈관계 생리에 매우 중요한 역할을 하고 있다³⁻⁵⁾. 도플러 초음파는 태아의 제대태반 순환계에 있어서 비침윤성으로 비교적 정확히 그 기능을 파악할 수 있으므로 초음파를 이용한 태아 제대동맥의 혈류량 및 혈류 속도 파형양상을 연구함으로써 태아의 성장 및 안녕을 관찰할 수 있고 태아 손상에 대한 위험도를 예측하는 지표로 삼을 수 있었다⁹⁾. 일반적으로 임신이 지속함에

따라 태아의 제대동맥 혈류량은 증가하게 되지만 제대태반 순환계의 말초저항이 감소됨으로써 태아의 심박출량은 재분포되어 조절된다^{3,4)}. McCowan 등³⁾은 제대동맥 도플러 파형양상과 태반의 조직학적 검사를 비교함으로써 정상임신이 지속함에 따라 최대 수축기 혈류속도가 점차적으로 증가하게 되고, 제대태반 순환계의 말초저항은 점차적으로 감소하게 되어 이완기말 혈류속도도 역시 증가하게 되지만, 자궁내 발육 지연에 있는 경우는 제대태반 순환계의 말초저항이 커짐으로 인해 이완기말 혈류속도가 오히려 감소되어 있음을 발표한 바 있다. Brian 등⁵⁾은 동물실험에서 제대태반 순환계의 말초저항을 증가시킴으로써 제대동맥 도플러 혈류속도 파형의 변화 및 S/D 비의 증가를 관찰하였다.

도플러를 이용하여 태아의 손상에 대한 위험도는 주로 제대동맥의 혈류량 및 혈류속도 파형양상으로 예측되었는데 혈류량의 직접적인 측정은 제대동맥의 혈류 방향과 초음파의 광속 사이의 각도 및 혈관의 면적에 따라 영향을 받아 개체간의 오차가 커서 임상적으로 그 적용이 어려웠으나, Schulman 등⁹⁾이 비교적 영향을 적게 받는 지표인(Angle-independent measurements) 혈류 속도 파형의 S/D 비(최고 수축기 혈류속도/이완기말 혈류속도의 비), pulsatility index(PI) 및 resistance index(RI) 등의 3가지

지표를 기준으로 변화를 관찰하여 임상적 인정을 받은 이후로 제대태반 순환계의 말초저항의 지표로서 S/D비, PI 및 RI 등을 측정함으로써 태아의 성장 및 안녕을 비침윤성으로 예측할 수 있다는 도플러 초음파의 임상적 유용성에 대해서 많은 보고가 있다¹⁰⁻¹²⁾.

Karen 등¹³⁾에 의하면 이론적으로 S/D비, PI 및 RI 등의 측정은 연속파(continuous wave) 및 박동파(pulse wave) 도플러 모두 가능하지만 실제적으로는 박동파 도플러가 3가지 측면에서 장점이 있어 본 연구에서는 박동파 도플러를 사용하였다. 첫째로, 연속파 도플러는 그 광속이 지나가는 모든 혈관에서 파형이 측정되는 반면에 박동파 도플러는 그 깊이를 조절할수 있어 어떤 특정 혈관이 혈류속도 파형양상을 구하는데 용이하며, 둘째로 연속파 도플러는 Insonation을 알수 없는 반면에 박동파 도플러는 Insonation을 정확히 알 수 있다. 마지막으로 연속파 도플러는 실시간영상(real-time image)으로 도플러 광속의 정확한 위치를 보여줄 수 없다. 이상의 장점으로 박동파 도플러를 사용하면 어떤 특정 혈관의 혈류 속도 파형양상을 비교적 쉽게 측정할 수 있고 제대정맥 혹은 자궁동맥, 장골동맥으로 부터의 도플러 신호의 오염을 방지할 수 있다^{13,14)}. 그러나 Harbinder 등¹⁵⁾은 정상산모와 고위험성 산모의 제대동맥에서 연속파 및 박동파 도플러를 사용하여 혈류속도 파형양상을 비교하여 S/D비가 통계학적으로 유의성 있는 차이가 없다고 보고한 바도 있다. 제대동맥의 도플러 혈류속도 파형과 생화학적 태아감시와의 비교에서 Enrico 등¹⁶⁾은 제대동맥의 PI와 제대동맥의 pH, pCO₂ 및 젖산농도와 상관 관계가 있음을 발표하는 등 다른 태아감시 방법들과의 비교에서 도플러 검사가 높은 감수성과 특이도를 나타낸다는 보고도 있다^{1,2,16)}.

저자들은 박동파 도플러를 이용하여 정상산

모에 있어서 임신이 지속함에 따라 말초저항이 감소되어 이완기말 혈류속도가 상대적으로 증가하게 되어 제대동맥의 S/D비, PI 및 RI는 감소하는 양상을 관찰하였다. 일반적으로 S/D비는 감수성/특이도의 비가 가장 좋은 3.0 이상이 비정상치로 알려져 있으나^{13,15)}, Schulman 등¹⁶⁾은 임신 26주 이후에 제대태반 순환계 S/D비는 정상치는 2.7 이하라고 보고하였으며, Gaziano 등¹⁷⁾은 4.0 이상을 비정상치로 보고하는 등 아직 그 정상치에 대해서는 논란이 많다. 국내에서도 신 등¹⁸⁾은 임신 30주 이후에 S/D ratio가 3.0 이하이면 정상으로 보고한 바 있으며 본 연구에서도 임신 33주 이후에 3.0 이하의 수치를 나타내었으며, Schulman 등⁸⁾ 및 신 등¹⁴⁾이 보고한 도플러 혈류속도 파형양상과 유사한 결과를 얻었다.

본 연구에서는 정상 태아의 임신 주수에 따른 제대동맥 혈류속도 파형양상의 변화를 확인하고 정상 산모에서 비침윤성 진단 방법의 하나로서 자궁내에서 태아의 성장, 안녕 및 태아의 위험도를 예측한 도플러 초음파의 제대동맥 혈류속도 파형양상의 기준을 설정함으로써 앞으로 정상산모에 있어서 태아의 산전 건강 평가에 유용한 지표로 사용될 것을 기대하며, 또한 자궁내 발육지연 태아, 임신성 고혈압 및 파속 임신 등의 경우에도 그 연구를 확대하여 고위험성 임신 산모에서 태아의 산전 건강 위험도를 평가하여야 할 것이며, 생물 물리학적 검사, 비수축성 검사, 수축성 검사 및 생화학적 태아감시 등이 다른 종류의 산전 진찰 방법들과의 비교 연구가 앞으로 필요할 것으로 사료된다^{19,20)}.

요 약

저자들은 1990년 5월 1일부터 1991년 4월 30일까지 영남대학교 의과대학 부속병원 산부인과에 정기검진을 위해 내원한 157명의 정상 임

산부를 대상으로 제대동맥에서 시행한 도플러 초음파 160회의 검사 결과를 임신 주수에 따라 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

제대동맥의 최고 수축기 혈류속도는 임신이 진행함에 따라 증가 양상을 보임으로써 임신이 증가함에 따라 제대 동맥 혈류량은 증가함을 관찰할 수 있었다.

임신이 진행함에 따라 제대태반 순환계 말초 저항이 점차적으로 감소함으로 인해 제대동맥 이완기말 혈류속도도 증가 양상을 보였다.

S/D ratio는 최고 수축기 혈류속도의 증가에도 불구하고 이완기말 혈류속도의 점차적인 증가로 인하여 임신이 진행함에 따라 오히려 감소함을 관찰할 수 있었다.

임신이 지속함에 따라 PI, RI도 감소하는 양상을 보였다.

참고 문헌

1. Manning, F.A., Baskett, T.F., Morrison, I., and Lange, I. : Fetal biophysical profile scoring : A prospective study in 1,184 high-risk patient. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 140 : 289-294, 1981.
2. Trudinger, B.J., Cood, C.M., Jones, L., and Giles, W.B. : A comparison of fetal heart rate monitoring and umbilical artery waveforms in the recognition of fetal compromise. *Br. J. Obstet. Gynecol.*, 93 : 171-175, 1986.
3. Lesley, M.M., Brendan, M.M., and Knox, R. : Umbilical artery flow velocity waveforms and the placental vascular bed. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 157 : 900-902, 1987.
4. Brian, J. T., Warwick, B.G., and Colleen, M.C. : Flow velocity waveforms in the maternal uteroplacental and fetal umbilical placental circulations. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 152 : 155-163, 1985.
5. Brian, J.T., Denise, S., Anita, C., Robert, S.H., George, A., Laurence, B., Alam, F., and Rosemary, S.T. : Umbilical artery flow velocity wave forms and Placental resistance : The effects of embolization of the umbilical circulation. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 157 : 1443-1448, 1987.
6. Cunningham, F.G., MacDonald, P.C., and Gant, N.F. : *Williams Obstetrics*. 18th. ed., Appleton & Lange, East Norwalk, 1989. PP. 741-777.
7. McCallum, W.D., Williams, C.S., Napel, S., and Daigle, R.E. : Fetal blood velocity waveforms. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 132 : 425-429, 1978.
8. Fitzgerald, D.E., and Drumm, J.E. : Non-invasive measurement of human fetal circulation using ultrasound : A new method. *Br. Med. J.*, 3 : 1450, 1977. Cited from ref. 7).
9. Schulman, H., Fleischer, A., and Stern, W. : Umbilical velocity wave ratio in human pregnancy. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 148 : 985-990, 1984.
10. 박용원 · 최동원 · 서경 · 박찬규 : 도플러를 이용한 제대동맥 혈류속도 파형치에 따른 태아의 예후 평가. 대한 산부인과학회지, 32 : 1038-1045, 1989.
11. 박용원 · 김태운 · 박찬규 : 제대 동맥 혈류속도의 말기 이완기파형 소실에 따른 주산기 예후. 대한 산부인과학회지, 33 : 1-7, 1990.
12. Fielscher, A., Harols, S., George, F., Cuis, B., Peggy, B., and Georgia, R. :

- Unbilical artery velocity wawe forms and intrauterine growth retardation. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 151 : 502-505, 1985.
13. Karen, E.M., Gertrud, S.B., Usha, C., Joanne, R., and Richard, L.B. : Comparison of continuous-wave and pulsed-wave Doppler S/D ratios of umbilical and uterine atreries. *Obstet. Gynecol.*, 72 : 603-606, 1988.
 14. Enrico, F., Giorgio, P., Mauro, B., Anna, M.M., Gementi, B., Belloti, M., Makowski, E.L., and Battaglia, F.C. : The correlation of biochemical monitoring versus umbilical flow velocity measurements of the human fetus. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 159 : 1081-1087, 1988.
 15. Harbinder, S.B., Arnols, L.M., Gregory, R.D., and Lawrence, D.P. : Fetal umbilical velocimetry using continuous-wave and pulsed-wave Doppler ultrasound in high-risk pregnancies : A comparison of systolic to diastolic ratio. *Obstet. Gynecol.*, 72 : 607-610, 1988.
 16. Schulman, H., James, D., George, F., Edwin, G., Denise, W., Barbara, P., and Chi-
Lee, B.S. : Uterine artery doppler velocimetry : The significance of divergent systolic/diastolic ratios. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 157 : 1539-1542, 1987.
 17. Gaziano, E., Knox, G.E., Wagner, G.P., Bendel, R.P., Boyce, D.J., and Olson, J. : The predictability of the small-for-gestational age infant by real time ultrasound derived measurements combined with pulsed doppler umbilical artery velocimetry. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 158 : 1431-1439, 1988.
 18. 신회철 · 윤보현 · 김승욱 : Doppler 초음파를 이용한 정상 임신 주수에 따른 태아제대동맥 혈류 속도 파형의 변화 양상. *대한산부인과학회지*, 32 : 309-313, 1989.
 19. Adie, F., Harold, S., Gerge, F., Luis, B., Lawrence, G., Burton, R., and Mordecai, K. : Uterine artery doppler velocimetry in pregnant woman with hypertension. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 154 : 806-813, 1986.
 20. Joseph, I., Edmund, F.L., and Abraham, M.R. : The effect of reducing umbilical blood flow on fetal oxygenation. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 145 : 813-818, 1983.

-Abstract-

A Study on the Fetal Umbilical Artery Doppler Blood Flow Velocity Waveforms in Normal Pregnancy

Cheol seong Bae, Gee Jin Kwun, Doo Jin Lee,
Yoon Kee Park, and Sung Ho Lee

*Department of Obstetrics and Gynecology
College of Medicine, Yeungnam University
Taegu, Korea*

Kil Ho Cho

*Department of Diagnostic Radiology
College of Medicine, Yeungnam University
Taegu, Korea*

Noninvasive techniques for antenatal detection of the fetal development and well-being such as biophysical profile, non-stress and stress test remain major challenges in modern obstetric practice.

To obtain and analyze umbilical artery velocity waveform by pulsed-wave doppler ultrasound, a total of 160 determinations were carried out on 157 normal pregnant women between 16th to 41st week gestation. The ratio of peak systolic to end-diastolic flow velocity(S/D ratio), pulsatility index and resistance index were measured as indices of the resistance in feto-placental circulation.

The results were as follows : As gestation advances, the mean values for peak systolic and end-diastolic velocities raised progressively. As gestation advances, the mean values for the S/D ratio declined progressively, exhibiting high diastolic flow velocity caused by low resistance. Pulsatility index, and resistance index were also declined progressively, as gestation advances.

The analysis of umbilical artery blood flow velocity waveforms provides a new noninvasive technique to evaluate fetal development and well-being, and may be expected a reliable method for assessment of fetal life.

Key words : Umbilical artery, Doppler, Flow velocity waveform, Noninvasive technique