

신경초음파 검사에서 Doppler소견의 판독

충남대학교 의과대학 신경과학교실

김 제

Interpretation of Doppler Indices in Neurosonologic Examinations

Je Kim

Department of Neurology, College of Medicine, Chungnam National University

- Abstract -

The Doppler in neurosonologic examination could be applied to blood flow to determine its movement, the direction of its movement, and how fast it is. Indices of the Doppler study denoted velocity, direction, and amount of RBC in the examined vessels. Systolic, diastolic, and mean blood flow velocities represent velocity of RBCs in a sample volume. Blood flow direction to the probe means direction of RBC to the probe. Size of amplitude displays the amount of the RBCs passing the sample volume. Spectral broadening means presence of turbulence. The RBC movements and hemodynamics at the examined vessels can be estimated by analysis of Doppler indices. The formation and meaning of each indices of neurosonologic Doppler study is described in the present review.

Key Words : Doppler indices, RBC movement, Flow direction, Flow velocity, Turbulence, Stenosis

Transcranial Doppler (TCD)와 duplex scan과 같은 신경초음파 검사방법은 초음파의 도플러 (Doppler) 효과를 이용하여 혈관 내에서 일어나고 있는 혈류의 상태를 검사할 수 있는 방법으로서 뇌혈관질환의 진단에 이용되고 있다. 도플러효과를 이용하여 혈관에서 얻어지는 정보는 적혈구가 움직이는 양상을 나타내는 것이다. 어느 한 혈관의 일정한 위치에서 sample volume영역을 지나가는 적혈구의 움직이는 양상, 속도, 방향, 숫자 등을 측정하며 검사하고 있는 혈관에서의 혈류상태를 알 수 있게 된다.

심장박동 주기에 따라 적혈구가 움직이는 양상은 모니터상에서 spectra로 나타나게 되고, 적혈구의 움직이는 속도는 수축기 혈류속도 (systolic blood flow velocity), 이완기 혈류속도 (diastolic blood flow velocity), 평균 혈류속도 (mean blood flow velocity)로 표시된

다. Pulsatility index (PI)와 resistance index (RI)는 수축기, 이완기, 그리고 평균 혈류속도를 이용하여 계산된 값으로, 이 값을 이용하여 측정하고 있는 곳의 원위부의 저항을 예측할 수 있다. 적혈구의 움직이는 방향은 초음파 탐침자 (probe)를 향하여 다가오거나 멀어지는 것으로 알 수 있으며, 일정한 sample volume을 지나가는 적혈구의 숫자는 spectra의 모양에서 진폭 (amplitude)으로 나타나게 된다. 이처럼 Doppler검사의 각 소견은 혈관내 적혈구의 움직임에 대한 정보를 반영하는 것이다. 이와 같은 소견을 주변 혈관에서 관찰되는 결과와 종합하여 분석하면 측정하고 있는 혈관에서의 혈류역학을 이해할 수 있으며, 혈관의 병변을 예측할 수 있게 된다 (Table)¹. 그래서 각 질환에서 관찰되는 TCD 소견을 알기 전에 Doppler 검사 결과의 각 소견이 어떻게 형성되고 어떤 의미를 갖는지 아는 것이 필요하다.

교신저자 : 김 제

대전광역시 중구 대사동 640번지

충남대학교 의과대학 신경과학교실

TEL) 042-220-7805, FAX) 042-252-8654, e-mail) jeikim@hanbat.chungnam.ac.kr

Table. Relationships among TCD indices, RBC movements, and hemodynamics.

TCD indices	RBC movements	Hemodynamics
Spectral contour	RBC movements on cardiac cycle	Presence of blood flow on cardiac cycle
Blood flow velocity	Velocity of RBC movement	Blood flow velocity
Direction to prove	Direction of RBC movement	Direction of blood flow
Spectral broadening	Different velocities of RBCs	Turbulence
Amplitude	Number of RBC	Density of RBC in a sample volume

1. Spectra의 모양

수축기와 이완기의 심장박동 주기에 따라 혈관에서도 적혈구는 다른 속도로 움직이게 되고 이러한 모양은 spectra의 모양으로 모니터 상에 나타나게 된다. Spectra의 모양은 정상 혈류형태와 협착부위의 혈류형태로 나눌 수 있다.

1) 정상 혈류 형태'

정상적으로 흐르고 있는 혈류의 유형을 검사하고 있는 부위에 흐르고 있는 혈류량과 원위부의 저항에 따라 다혈류-저저항 유형 (high flow-low resistance pattern)과 소혈류-고저항 유형 (low flow-high resistance pattern)으로 나눌 수 있다.

(1) 다혈류-저저항 형태 (high flow-low resistance pattern)

총경동맥으로부터 내경동맥으로 나가는 부위에서 도플러를 시행하였을 때 관찰되는 유형이다. 내경동맥은 뇌내의 뇌실질에 대하여 혈액공급을 하기 때문에 외경동맥에 비하여 혈류량이 많고, 원위부의 저항이 작은 혈류역학이 관찰되는데 이러한 유형을 다혈류-저저항 유형 이라 한다. 이러한 유형에서 관찰되는 spectra의 특징은 1) 혈류량이 많아서 spectral line의 진폭이 크고 (high amplitude), 원위부의 저항이 작기 때문에 2) 속도가 외경동맥보다 빠르고 3) 수축기와 4) 이완기 초기에 완만한 경사를 보이며, 5) 수축기의 정점이 둥그런 모양이다 (Fig. 1, a).

(2) 소혈류-고저항 형태 (low flow-high resistance pattern)

총경동맥으로부터 외경동맥으로 나가는 부위에서 도플러를 시행하였을 때 관찰되는 유형이다. 외경동맥은 안면과 두피로 가는 혈류를 담당하기 때문에 원위부의 저항이 크며, 내경동맥보다 적은 혈류가 흐른다. 이러한 외경동맥을 검사 할 때에는 적은 혈류와 높은 저항의 혈

류 상태가 관찰되는데 이러한 유형을 소혈류-다저항 유형 이라 한다. 소혈류-다저항 유형의 도플러 검사소견은 다혈류-저저항 유형에 비하여 1) 혈류가 적기 때문에 spectral line의 진폭이 작고 (low amplitude), 원위부의 저항이 높기 때문에 내경동맥에 비하여 2) 속도가 느리고 3) 수축기와 4) 이완기 초기에 급한 경사를 보이며, 5) 수축기의 정점이 뾰족한 모양이다 (Fig. 1, b).

2) 협착 부위의 혈류 형태 (blood flow pattern at the stenotic area)

혈관 내경이 좁아지면서 관찰되는 소견은 혈관 내 동맥경화로 인한 장애물의 앞, 뒤에서 발생하는 와류 (turbulent flow)와 좁아진 부위에서 관찰되는 증가된 혈류 속도로 나누어서 생각할 수 있다. 동맥경화의 초기에는 혈관의 내경에 영향을 주지 않아서 혈류의 속도에는 영향을 주지 않고 와류를 시사하는 소견만이 관찰된다. 동맥경화가 진행하면서 혈관의 내경을 좁히게 되면 와류의 소견과 함께 혈류 속도의 상승이 함께 관찰된다.

(1) 와류형태 (turbulent blood flow pattern)

정상적으로 흐르던 혈관 내에 동맥경화의 플라크 (plaque)와 같은 장애물이 생기게 되면, 혈류가 장애물과 부딪치면서 장애물의 앞과 뒤에 와류를 형성하게 된다. 플라크 주변에서 형성되는 와류는 정상 혈류에서처럼 비슷한 속도로 움직이는 적혈구보다 다양한 속도로 움직이는 적혈구들이 많아지게 된다. 이렇게 다양한 속도를 갖는 적혈구들은 일정한 크기의 sample volume 안에서 서로 다른 혈류 속도를 갖는 것으로 인식이 되고 이러한 변화는 모니터 상에서 spectral broadening으로 나타나게 된다.

와류에 의한 spectral broadening은 초기에 정상 범위 안에서 spectral line이 약간 두꺼워지고 (Fig. 2, b), 장애물 병변이 진행하면 적혈구 scintillation이 더 증가하게 되어 spectral line의 모양이 좀 더 두꺼워지고, 낮은 속도로 scintillation하는 적혈구들의 운동은 spectral window에서 반점 (speckling)으로 나타나게 된다 (Fig. 2, c). 좀 더 진행된 와류는 낮은 속도와 빠른 속도로 움직이는 적혈구들이 비슷한 숫자로 공존

하게 된다. 그래서 원래의 spectral line은 더 두꺼워지고, spectral window의 반점 (speckling)이 더욱 증가되어 spectral line과 spectral window의 구별이 힘들게 된다 (Fig. 2, d). 아주 심한 와류는 수축기와 이완기의 전체에서 spectral broadening이 관찰되며, spectral line과 spectral window의 구별을 할 수 없게 된다. (Fig. 2, e).

(2) 증가된 혈류속도 형태
(high-velocity blood flow pattern)

a. 초기 협착 (mild stenosis)

혈관의 직경이 5~15% 정도 감소한 경우를 말한다. 이 경우에는 협착의 정도가 아직 혈류의 속도에 영향을 줄 정도로 심한 상태는 아니다. 하지만 협착이 있는 부분의 앞, 뒤로 와류가 형성된다. 초기 협착에서 발생하는 와류는 TCD를 시행할 때 발생할 수 있는 유사와류

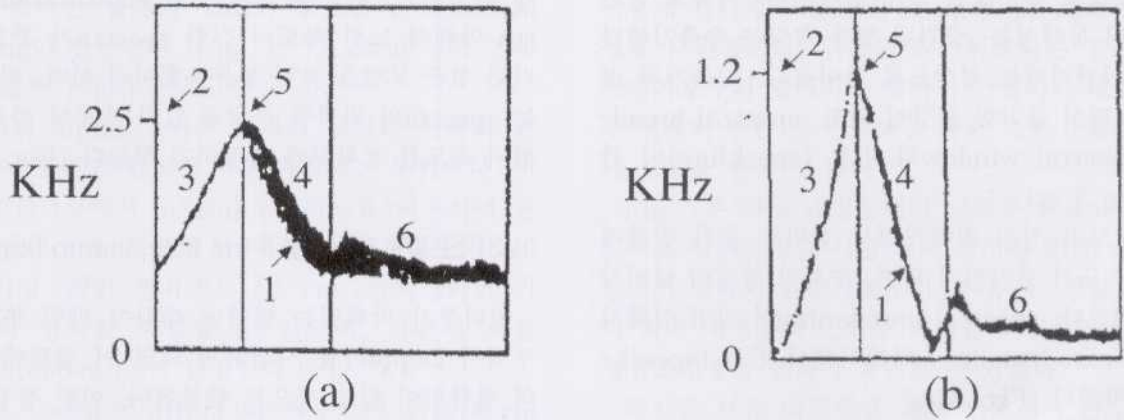


Figure 1. Normal blood flow pattern. (a) high flow-low resistance pattern, (b) low flow-high resistance pattern. 1 : amplitude, 2 : velocity, 3 : systolic increase, 4 : diastolic decrease, 5 : systolic peak., 6 : late diastole

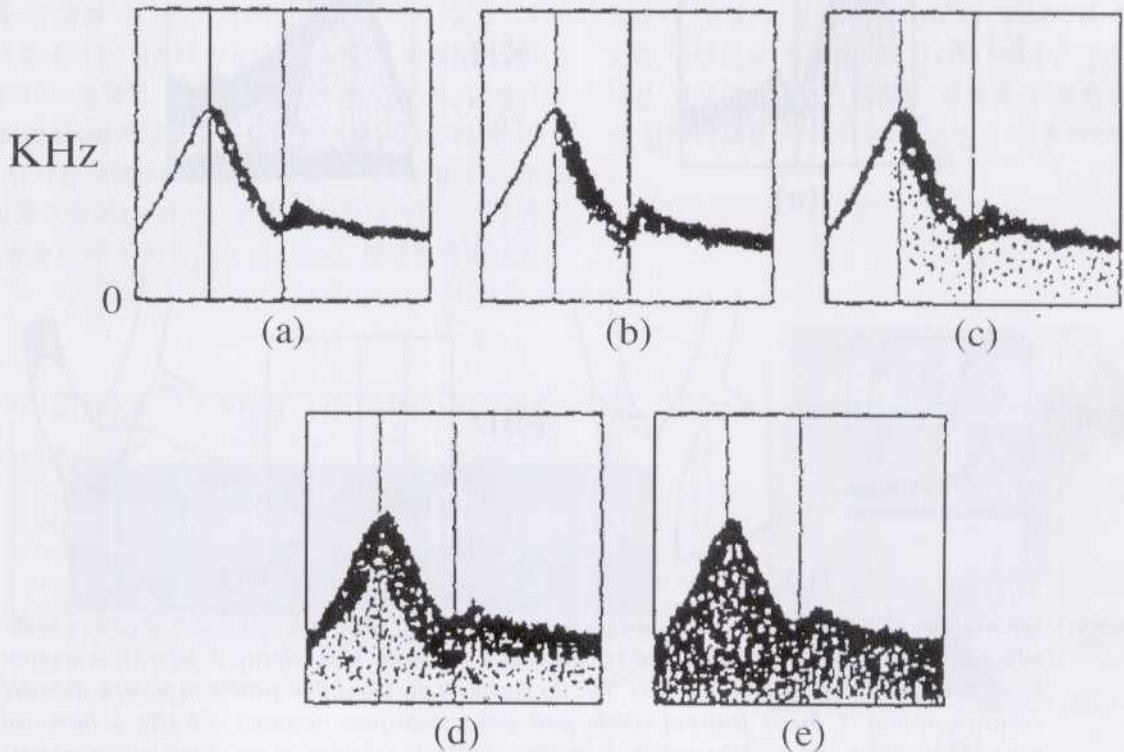


Figure 2. Sequential changes of spectral broadening in turbulent flow. (a) Normal flow pattern, (b) spectral broadening in early and late diastole, (c) speckled scintillations during systole, early diastole, and diastole. (d) Spectral broadening of all three cardiac cycle components, (e) turbulent spectrum with obliterated spectral window

(pseudoturbulence)와 비슷하므로 주의를 요한다.

b. 중등도 협착 (moderate stenosis)

혈관의 협착 정도가 50% 이하인 경우이다. 이 경우에도 혈류 속도의 증가는 관찰되지 않으며, 와류만이 관찰된다.

c. 심한 협착 (severe stenosis)

혈관의 직경이 50% 이상 감소한 경우를 말한다. 이 때부터 혈류 속도에 영향을 주기 시작한다. 심한 협착의 초기에는 수축기에만 혈류 속도가 증가되고, 이완기에는 정상수준으로 돌아오는 것이 관찰된다. 와류도 동반된다. 모니터 상에서는 증가된 혈류 속도는 수축기에만 관찰되고, 이완기에는 정상으로 돌아온다. 수축기의 정점이 넓어지면서 둥그런 모양이 되고, spectral broadening과 spectral window의 반점 (speckling)이 관찰된다 (Fig. 3, a).

협착의 정도가 점점 심해지면서 심박동 주기 전체에 걸쳐 혈류 속도가 증가하게 되며, 수축기 정점이 넓어지면서 편평해진다. spectral broadening이 점점 심해지고 영점선 (zero baseline) 가까이에서 반점 (speckling)이 많아진다 (Fig. 3, b).

d. 유령 혈류형태 (ghost waveform)

이 혈류 유형은 혼하지는 않지만 가끔 볼 수 있는 spectra 모양으로, 그림에서처럼 협착이 가장 심한 부위를 직접 insonation하였을 때 관찰된다 (Fig. 3, c). 협착의 중심 부위는 적혈구들이 아주 빠른 속도로 지나가지만 그 숫자는 적다. 협착의 주변은 중심보다는 느린 속도이면서 다양한 속도로 움직이는 와류의 성격을 가지고 있는 적혈구들이 존재하게 된다. 이런 빠른 속도로 움직이는 적혈구와 느리면서 다양한 속도로 움직이고 있는 적혈구의 운동들이 한 sample volume에서 동시에 관찰되면, 빠른 속도의 성근 scintillation의 spectra 아래에 느린 속도의 진한 spectra가 관찰된다. 이러한 성근 모양을 유령 혈류유형이라 하며, 이런 경우에는 spectra의 위쪽이 성글게 있기 때문에 가장 빠른 부위의 속도를 정확하게 측정하기 힘들다 (Fig. 3, c).

(3) 원위부 폐색 형태 (no flow, stump flow pattern)

원위부가 막혀있는 혈관에 대하여 막힌 부분의 근위부에서 Doppler를 시행하게 되면 이 혈관에는 수축기의 혈류만이 있는 것으로 관찰된다. 이런 경우에 spec-

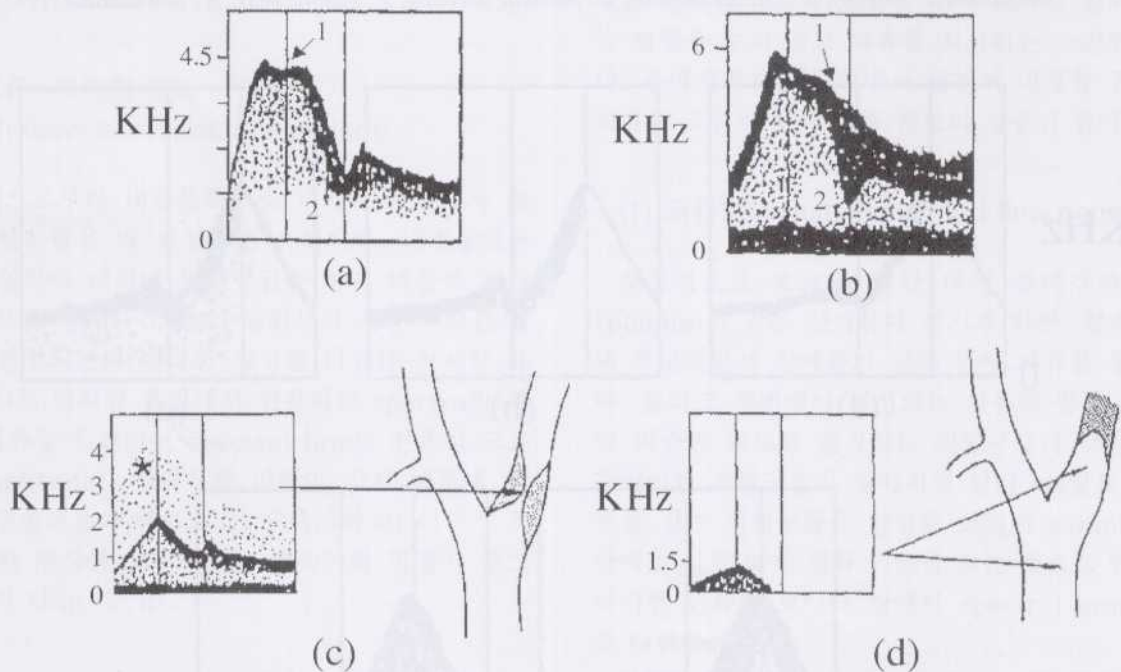


Figure 3. Spectral pattern on the severe stenosis and obstructed vessels. (a) High velocity blood flow pattern in 50-60% diameter reduction. 1. Broad, round systolic peak with systolic high velocity. 2. Increase in spectral broadening with speckling near zero base line. (b) High-velocity blood flow pattern in 60-80% diameter reduction stenosis. 1. Broad, flattened systolic peak with systolic peak frequency of 6 KHz. 2. Increased spectral broadening and speckling near zero baseline. (c) Ghost waveform on the severe stenosis greater than 90% diameter reduction. Low amplitude, increased-velocity ghost waveform (asterisk) superimposed above a high-amplitude, low-velocity waveform. (d) Stump flow pattern in the presence of an occluded vessel. When Doppler examination was insonated at the proximal area of obstruction, systolic spectra only observed.

tra에는 수축기의 혈류만이 관찰되고 이완기에는 혈류가 보이지 않는다. (Fig. 3, d).

3. TCD검사에서 혈관 협착과 폐색 유형

중대뇌동맥과 내경동맥의 사이폰 (siphon) 부위가 TCD검사로 협착을 잘 관찰할 수 있는 부위이다. 중대뇌동맥의 협착이 50% 이상 있는 혈관의 TCD 소견은 빨라진 혈류 속도가 관찰되고 (수축기 혈류속도 150~350 cm/sec, 평균혈류속도 80~250 cm/sec), 협착의 원위부에서는 혈류의 속도가 감소하며, spectral broadening이 관찰된다 (Fig. 4)²⁻⁵. 그리고 동측 전대뇌동맥의 혈류가 증가되기도 한다⁶.

내경동맥의 siphon부위는 혈관의 굴곡과 혈류의 변화가 심하여 혈관의 협착이 자주 관찰되는 부위이다. 이 부위는 TCD검사에서 orbital window를 이용하여 관찰할 수 있다. 이 부분에서 수축기 혈류속도가 90 cm/sec 이상, 평균 혈류속도 65 cm/sec 이상이면 이 부분에서의 협착을 의심할 수 있으며, 와류에 의한 spectral broadening이 관찰된다 (Fig. 5)⁷.

뇌저동맥 (basilar artery)과 척추동맥 (vertebral artery)은 사람마다 두개경수부 (craniocervical junction)에서 연조직 (soft tissue) 두께가 다르고, 보이지 않는 혈관에서 insonation을 하는 것이므로 뇌저동맥과 척추동맥을 구분할 수 있는 기준점이 분명하지 않고, 그리고 이 부분에서는 BA와 VA의 구조적인 변형이 많이 있는 곳이어서 정확한 insonation을 하였는지 알기가 힘들다⁸. 하지만 뇌저동맥의 근위부는 중대뇌동맥과 내경동맥의 사이폰 부위와 더불어 협착이 잘 발생하는 부위이다. 기저동맥에서 50% 이상의 협착이 있는 경우에 수축기 혈류속도가 120~250 cm/sec, 평균혈류속도가

50~150 cm/sec 정도로 증가되면 이 부분의 협착을 진단하는데 도움을 받을 수 있다 (Fig. 6)^{3,9}.

4. 탐침자에 대한 혈류의 방향 (direction to probe)

각 뇌혈관은 정상적일 때 흐르는 혈류의 방향을 가지고 있다. 정상적인 혈류의 방향이 달라졌을 때 혈관의 병변을 의심하여야 한다. 안동맥은 정상에서 주로 내경동맥으로부터 혈류를 받는다. Orbital window를 통한 안동맥 검사에서 정상에서는 탐침자를 향하여 다가오는 혈류가 관찰된다. 안동맥에서 관찰되는 혈류의 방향이 탐침자로부터 멀어지는 혈류가 관찰되면 내경동맥 원위부 폐색의 진단 및 안동맥을 통한 측부 순환을 확인하는데 도움을 받을 수 있다^{3,10}.

Fig. 7은 좌측 내경동맥의 근위부 폐색이 확인되었던 환자로 혈관조영술 시행 전에 실시한 TCD에서 좌측 안동맥의 혈류가 탐침자로부터 멀어지는 방향으로 관찰되어 좌측 내경동맥 근위부 폐색을 의심하였던 환자이며, 혈관조영술을 통하여 확인할 수 있었다.

하지만 모든 내경동맥 폐색 환자에서 OA를 통한 측부순환이 형성되는 것은 아니어서 Fig. 8과 같이 내경동맥 원위부 폐색, 특히 내경동맥 마지막 원위부 (terminal portion)의 폐색이 있는 경우에는 OA를 통한 혈류의 방향이 정상에서와 같이 탐침자를 향하여 다가오는 방향으로 관찰될 수 있다¹¹. 이처럼 TCD에서 관찰되는 혈류의 방향의 변화를 앞으로서 혈관 병변의 위치 및 혈행역학을 이해하는데 도움을 받을 수 있다.

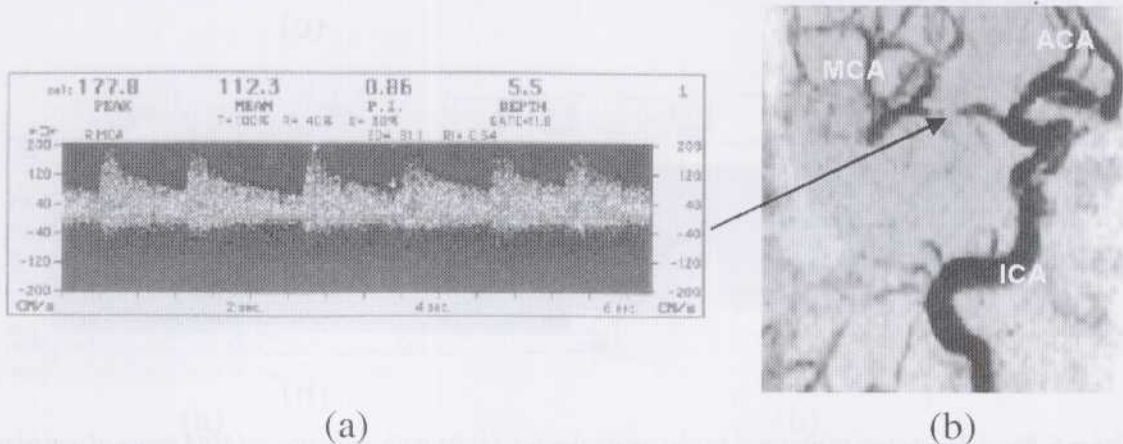


Figure 4. Stenotic blood flow pattern of MCA. (a) TCD finding at the M1 portion on right MCA. High blood flow velocity was noted at the stenotic M1 portion. Long arrow indicate insonate stenotic area. (b) Partially reconstructed MRA image of right anterior cerebral circulation. Stenosis on M1 portion of right MCA was shown.

5. 주변 혈관의 혈류속도 변화

중대뇌동맥 폐색의 경우에는 중대뇌동맥에서의 뇌혈류 변화와 주변 뇌혈관에서의 혈류변화를 같이 관찰할 수 있다. 중대뇌동맥 폐색이 있는 경우에는 중대뇌동맥에서의 혈류의 속도가 관찰되지 않거나 많이 감소하면서, 주변의 혈관 특히 동측 전뇌동맥의 혈류가 증가하는 소견이 관찰된다^{4,12,13}. Fig. 9는 좌측 중대뇌동맥 경색으로 입위한 후에 시행한 MRA와 TCD소견이다. MR에서 좌측 중대뇌동맥이 M1부분에서 stump를

남기면서 보이지 않는 폐색의 소견을 보이고 있다. 이 혈관의 TCD소견은 정상보다 낮은 혈류속도를 보이지만 동측의 전뇌동맥의 혈류는 정상보다 증가된 것을 관찰할 수 있다.

김 등은 중심성 중대뇌동맥 경색 (truncal MCA infarction) 환자에서 뇌경색 후 시행한 TCD상 중대뇌동맥의 혈류변화와 예후와의 관계에 대한 연구에서 시작하였다¹⁴. 뇌혈류 검사상 중대뇌동맥의 혈류가 감소하여도 주변부의 혈류가 증가되어 있는 경우는 혈류가 정상 또는 증가한 경우와 더불어 혈류가 전혀 관찰되지 않은 경우보다 예후가 좋은 것으로 보고하였다. 이러한 연

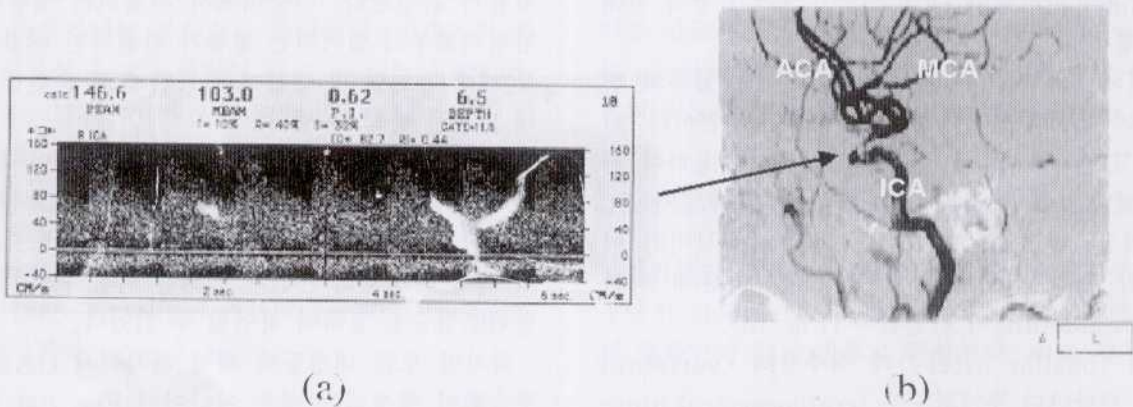


Figure 5. Stenotic blood flow pattern on the ICA siphon area. (a) TCD findings on the stenotic ICA siphon area. High systolic and mean velocity and spectral broadening were noted. (b) Partially reconstructed MRA of right anterior circulation. Cut-off and luminal narrowing on the ICA siphon area was shown. Long arrow indicate insonated stenotic area.

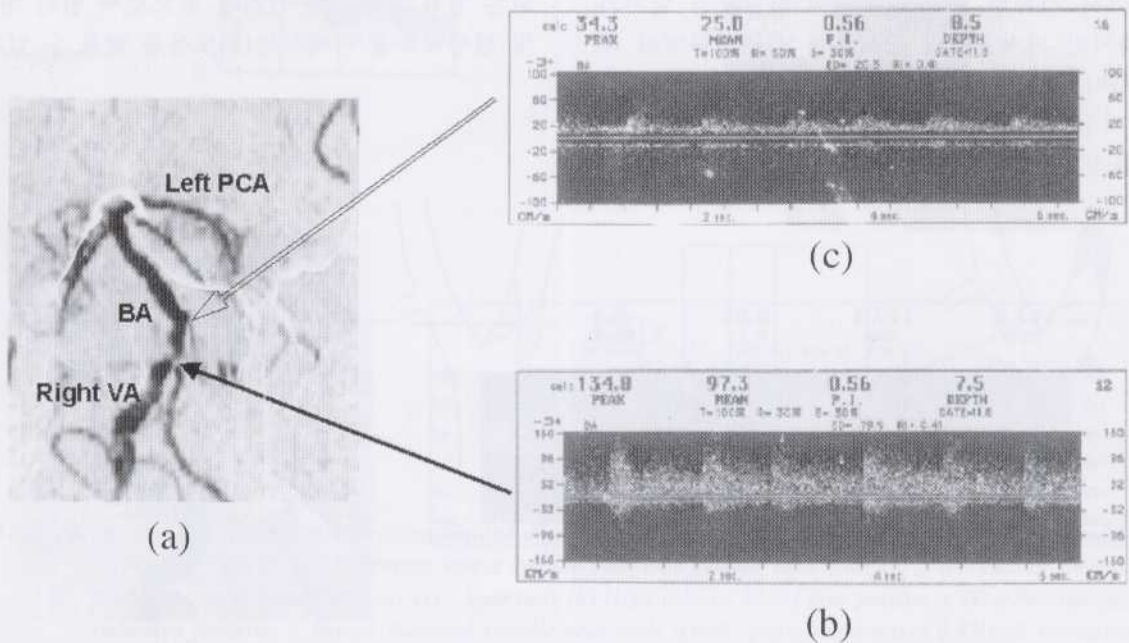


Figure 6. Blood flow pattern of proximal basilar artery stenosis. (a) Partially reconstructed MRA image of posterior circulation. Severe luminal narrowing on the proximal BA was shown. (b) High flow velocity and ghost waveform. Low amplitude high velocity superimposing high-amplitude low-velocity spectra was observed at the depth 7.5 cm, stenotic portion (closed arrow). (c) Poststenotic normalized blood flow velocity. Flow velocity was to normalized at the depth 8.5 cm, distal of stenotic portion (open arrow).

구 결과는 급성기 뇌경색에서 주변혈관의 혈류상태가 예후에 영향을 줄 수 있음을 시사하고 있다.

신경과 영역에서 TCD와 duplex scan과 같은 신경초음파 검사방법의 이용이 많아지고 있다. 하지만 TCD는 duplex scan처럼 혈관을 직접 보면서 insonation을 하지 않기 때문에 기술적인 제한점과 환자마다 가지고 있는 다양성이 있어서 이 검사 하나만을 가지고 혈관의 병변을 예측하기는 힘들다. 하지만 두개내 혈관에 대한 구조를 잘 이해하고, 정상적인 TCD소견과 혈관에 병변이 있을 때 관찰되는 특징적인 spectra 유형을 이해한다면 뇌혈류의 혈류역학과 기능적인 상태를 파악하는데 유용한 검사방법이다. 그리고 TCD와 함께 magnetic resonance imaging (MRI)나 magnetic resonance angiography (MRA)와 같은 뇌혈관을 관찰할

수 있는 다른 영상 검사소견과 같이 분석한다면 뇌혈관 질환을 이해하는데 많은 도움을 받을 수 있으며, 뇌혈관 조영술을 시행하지 않고도 두개내 혈관의 상태를 파악하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Gerlock AJ, Giyanani VL, Krebs C. *Applications of noninvasive vascular techniques*. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1988, pp15-28.
2. von Reutern G-M, von Budingon HJ. *Ultrasound diagnosis of cerebrovascular disease*. Doppler sonography of the extra- and intracranial arteries, duplex scanning. New York, Georg Thieme Verlag, 1993, pp302-327.
3. Babikian VL. Transcranial Doppler evaluation of patients

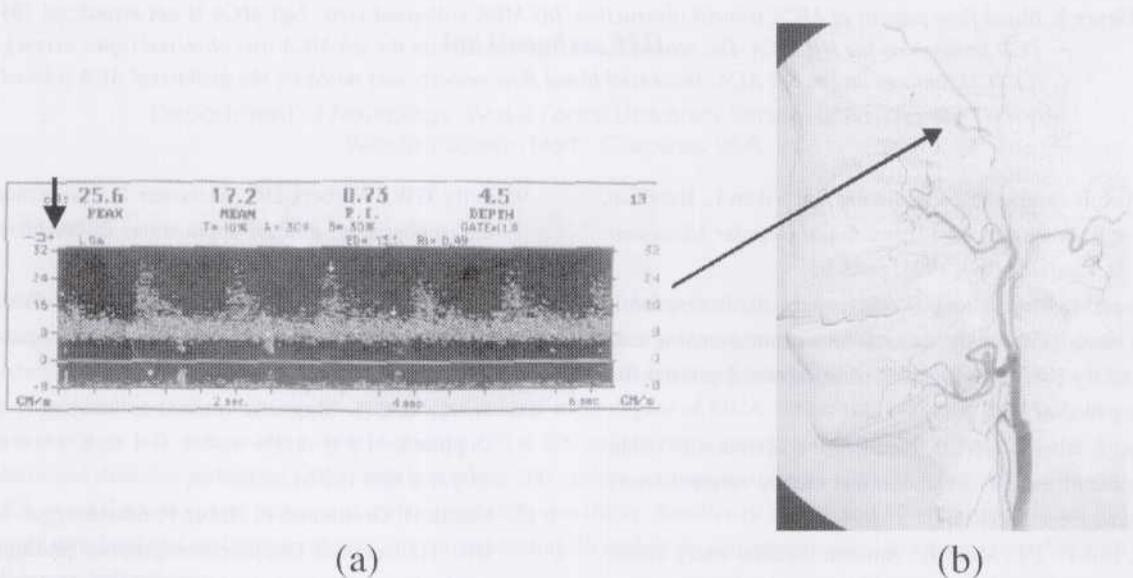


Figure 7. Blood flow pattern and angiographic findings of proximal ICA obstruction. (a) TCD findings on left ophthalmic artery (OA). Away flow from the probe was observed on left OA insonation (short arrow). (b) Cerebral angiography of left ICA selection. Proximal ICA obstruction and delayed visualization of left OA and ICA siphon was shown. Long arrow indicate the insonated OA and ICA siphon area.

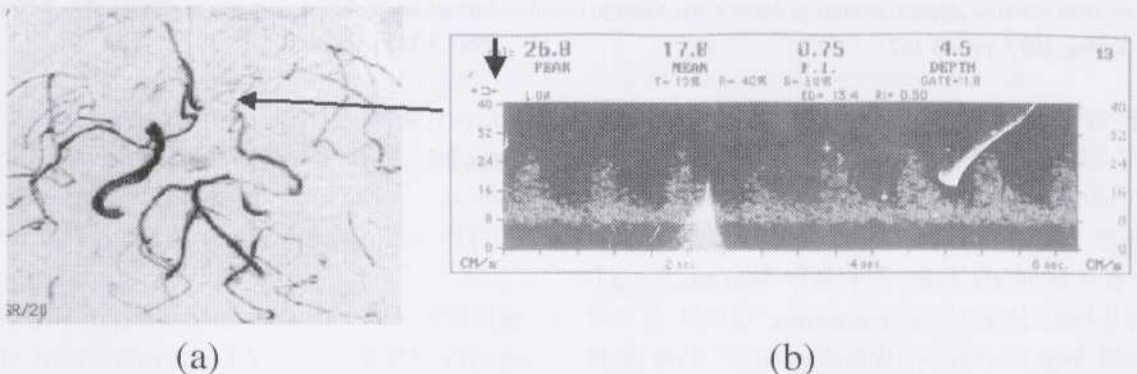


Figure 8. Blood flow pattern and MRA findings of terminal ICA obstruction. (a) MRA collapsed view. Left MCA is not visualized. Left ICA was slightly visualized to terminal portion. This finding suggest the left distal ICA obstruction. (b) TCD findings on left OA. Toward flow to the probe is observed on the left OA with normal blood flow velocity. Long arrow indicate site of the insonated OA on MRA.

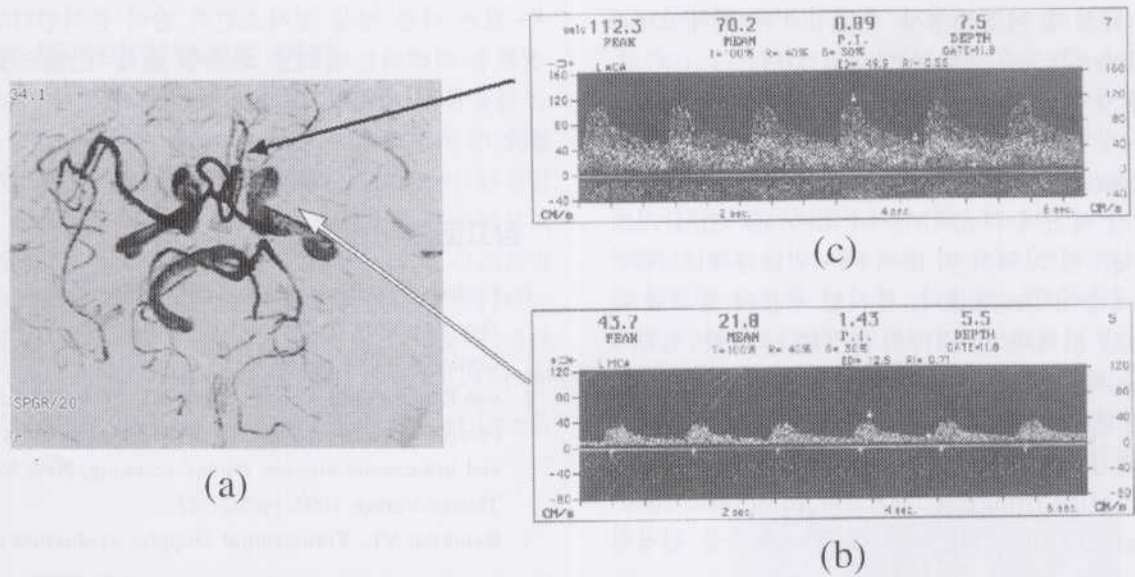


Figure 9. Blood flow pattern of MCA truncal obstruction. (a) MRA collapsed view. Left MCA is not visualized. (b) TCD findings on the left MCA. Decreased blood flow velocity on the left MCA was observed (open arrow). (c) TCD findings on the left ACA. Increased blood flow velocity was noted on the ipsilateral ACA (closed arrow).

with ischemic cerebrovascular disease. In: Viken L. Babikian, Lawrence R. Wechsler, eds, *Transcranial Doppler Ultrasonography*. St. Louis, Mosby, 1993, pp88-97.

4. Hennerici M, Rautenberg W, Schwartz A. Transcranial Doppler ultrasound for the assessment of intracranial arterial flow velocity-Part 2: Evaluation of intracranial arterial disease. *Surg Neurol* 1987;27:523-532.
5. Ley-Pozo J, Ringelstein EB. Noninvasive detection of occlusive disease of the carotid siphon and middle cerebral artery. *Ann Neurol* 1990;28:640-647.
6. Brass L, Duterte DL, Mohr JP. Anterior cerebral artery velocity changes in disease of the middle cerebral artery stem. *Stroke* 1989;20:1737-1740.
7. Spencer MP, Whilser D. Transorbital Doppler diagnosis of intracranial arterial stenosis. *Stroke* 1986;17:916-921.
8. von Reutern G-M, von Budingon HJ. *Ultrasound diagnosis of cerebrovascular disease*. Doppler sonography of the extra- and intracranial arteries, duplex scanning. New York, Georg Thieme Verlag, 1993, pp148-152.

9. Petty GW, Wiebers DO, Meissner I. Transcranial Doppler ultrasonography: clinical applications in cerebrovascular disease. *Mayo Clin Proc* 1990;65:1350-1364.
10. Transcranial Doppler Validation Pilot Study. Presented at the Fifteenth Annual Meeting of the American society of Neuroimaging, San Francisco, 1992.
11. 김 제, 김재문. Magnetic resonance imaging과 transcranial Doppler를 이용한 내경동맥 폐색 위치 및 혈행역학의 예측. *대한 신경과학회지* 1997;15:738-744.
12. Mattle H, Grolimund P, Huber P, Sturzenegger M, Zurbrugg HR. Transcranial Doppler sonographic findings in middle cerebral artery disease. *Arch Neurol* 1988;45:289-295.
13. Kaps M, Damian MS, Teschendorf U, Dorndorf W. Transcranial Doppler ultrasound findings in middle cerebral artery occlusion. *Stroke* 1990;21:532-537.
14. Kim J, Kim JH, Lee AY, Kim JM. Correlations of early hemodynamic changes with clinical outcomes in truncal infarction of MCA: a preliminary study. *J Neuroimaging* 1997;7:223 (Abstract).