

Transcranial Doppler Ultrasonography (TCD)의 시행 방법 및 정상치

연세대학교 의과대학 신경과학교실

손 영 호

The Technique and Normal Values of Transcranial Doppler Ultrasonography (TCD)

Young Ho Sohn, M.D.

Department of Neurology, Yonsei University, College of Medicine

- Abstract -

Transcranial doppler ultrasonography (TCD) is a new, non-invasive and easily applicable method to evaluate cerebral hemodynamics. Last 10 years, its use in Korea has been dramatically expanded, but the qualification of TCD laboratory has yet to be settled. Since duplex sonography is seldom used in Korea, we have to depend totally on TCD to evaluate cerebral hemodynamic changes. Thus, all of the available data from every detectable cerebral arteries has to be obtained for accurate interpretation of TCD measurements. Moreover, flow direction and wave form should be concerned in addition to the flow velocity. In this article, I present technique to measure the anterior, middle and posterior cerebral arteries, the internal carotid artery siphon and at cervical level, and the vertebral and the basilar artery, and normal values for these measurements which is essential for the adequate interpretation.

Key Words : Transcranial doppler ultrasonography, Cerebral vessels, Cerebral blood flow, Cerebrovascular disorder

Transcranial Doppler ultrasonography (이하 TCD라 함)는 1982년 Aaslid 등¹에 의하여 처음 고안되었으며, 비 침습적인 방법에 의하여 두개강내 혈관의 혈류를 측정하여 혈류역동학적인 변화를 평가하는 방법으로 인정 받고 있다. 그 외에도 많은 연구들이 진행되었으며, 비단 뇌혈관의 이상을 진단하는 것 뿐만 아니라, 지주막하 출혈 후 뇌연축의 monitoring^{2,3}, 혈관 내 미세색전의 검출^{4,5}, 뇌혈관 수술 및 심혈관 수술의 monitoring^{6,7}, 뇌사의 판정,⁸ 두통의 감별진단⁹ 등에 이르기 까지 다양한 분야에서 이의 유용성이 확대되고 있다. 국내에는 1980년대 후반부터 도입되기 시작하였으며, 1990년대에 들어서면서 활발하게 이용되기 시작하여, 현재는

많은 병원에서 널리 이용되고 있는 실정이다. 그러나, 외국의 경우 정기적인 조사를 통하여 각 검사실의 질적 수준을 검증하고, 이러한 검사들이 올바른 방법으로 시행되고 있는 지에 대한 지속적인 감시가 체계적으로 시행되는 데에 반하여 국내에서는 이러한 부분에 대한 감시 체계가 전무한 상태로 실제적으로 보급된 TCD 기기들이 제대로 사용되고 있는 지에 대하여는 의문이 있다.

서구의 경우에는 duplex ultrasonography가 널리 보급되어 사용되고 있으며 TCD가 주로는 이의 보조 수단으로 사용되어 duplex로는 측정이 불가능한 두개강 내 혈류를 측정하거나 측부 순환 유무를 판정하는 목적으로 사용되고 있다. 그러나 우리나라의 경우는 이와는 반대

교신저자 : 손 영 호

서울특별시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 의과대학 신경과학교실

TEL) 02-361-5466, FAX) 02-393-0705, e-mail) yhsohn62@yumc.yonsei.ac.kr

로 duplex의 보급이 매우 미미한 상태로 전체 뇌 혈류의 변화를 TCD만으로 측정하여야 하는 어려움이 있다. 따라서 두개강내 혈관, 즉 중뇌, 전뇌, 후뇌 동맥의 혈류만을 측정하는 검사는 그 임상적 의의가 매우 적으며, 혈류를 측정할 수 있는 혈관들은 모두 측정하여 가능한 많은 자료를 얻어 결과의 분석에 이용하여야 한다.

TCD의 정상치는 흔히들 생각하는 대로 혈류의 속도만으로 분석하는 것은 아니며, 이 외에도 혈류의 방향과 Doppler wave의 파형도 중요한 요소로 작용한다. 뇌 혈관은 체내의 다른 혈관들에 혈관의 저항이 현저히 낮으므로 심장의 이완기에도 혈류가 어느 정도 유지되는 반면 체내의 다른 혈관의 혈류는 그 속도가 이완기에서는 거의 0에 근접하게 된다. 이러한 속도의 변화는 Doppler 파형에 반영되는데, 일례로 내경동맥과 외경동맥의 파형을 비교하여 보면 그 차이를 쉽게 알 수 있다(Fig. 1). 즉, 하악골 아래에서 혈류를 측정할 때 외경동맥의 파형을 보이는 혈류를 측정하고는 이를 내경동맥의 혈류로 측정하는 우를 범하여서는 안된다. 혈류의 방향과 파형의 변화가 가장 중요한 요소가 되는 예를 들어보면, 내경동맥에 심한 협착이나 폐쇄가 있을 때 안동맥을 통하여 형성되는 측부 순환을 들 수 있다. 정상 상태에서는 안동맥의 혈류는 내경동맥의 siphon 부위에서 분지하여 안구로 흐르게 되어 초음파의 probe를 안구 위에 놓고 측정할 때, 혈류의 방향은 다가오는 방향으로, 혈류의 파형은 체내동맥의 파형을 나타내어 이완기 때에 속도가 0에 가까운 파형을 나타내게 된다. 그러나 측부 순환이 일어나게 되면 외경동맥을 통하여 내경동맥으로 혈류가 흐르게 되어 비단 혈류 요구량의 증가로 인한 혈류 속도의 증가 뿐만 아니라, 혈류 방향의 역전 현상이 일어나게 된다. 아울러 중요한 것은 파형의 변화를 관찰하는 것으로서 체내 동맥의 파형을 보이던 것이 혈류가 뇌를 공급하게 되면서 뇌내 동맥의 파형으로 변화됨을 관찰하여야만 안동맥을 통한 측부 순환을 최종적으로 확인하게 되는 것이다(Fig. 2). 따라서, TCD 검사자는 단순히 혈류의 속도만을 측정하는 것이 아니라 검사시에 혈류의 방향과 파형이 어떠한지를 항상 주의하여야 한다.

가. 경측두골 측정 (Trans-temporal approach)

TCD의 진정한 가치는 두개골을 투과하여 두개강 내에 위치하고 있는 혈관의 혈류를 측정한다는 것으로, 이는 초음파는 뼈를 투과할 수 없다는 기존의 상식을 초월한 것으로 평가되고 있다. 다만 초음파가 투과할 수 있는 두개골은 비교적 그 두께가 얇은 측두골에 국한되며, 이 또한 나이가 많은 사람들, 특히 여성에서는 투과되지

않는 경향이 많다. 흔히 TCD를 이용하여 혈류를 측정할 수 있는 부위를 측두창 (temporal window)이라고 하는데 이는 귀의 윗부분이 피부로부터 분리되는 부분의 바로 앞부터 시작하여 앞쪽으로 후창 (posterior window), 중창 (middle window) 및 전창 (anterior window)로 나누기도 하며 대부분의 사람들은 후창을 통하여 혈류를 측정하는 것이 가장 성공율이 높은 것으로 알려져 있으나¹⁰⁻¹⁴, 예외인 사람들도 있으므로 후창을 통하여 측정이 되지 않는 경우에는 중창 및 전창을 통한 측정도 시도하여야 한다.

이미 기술한 바와 같이 노인 연령, 특히 여성 노인들에서는 측두엽창을 통한 혈류의 측정이 잘 되지 않는 경우가 많은데, 대략 30% 내외에서는 초음파가 투과되지 않는 것으로 알려져 있다. 이러한 경우 실제로 측두엽창의 문제로 그러한지 아니면 실제로 두개강 내 혈관의 이상으로 측정이 되지 않는 것인지를 구별하기 위하여는 많은 경험을 필요로 하게 된다.

A. 중뇌 동맥

중뇌 동맥은 대개 측두엽 후창에서 probe의 방향을 약간 앞, 위쪽으로 향하게 할 때 잘 측정되며, 초음파의 투과 깊이는 보통 66 mm 이하에서 측정된다. 혈류의 방향은 항상 probe쪽으로 다가오는 방향을 보이며, 혈류의 파형은 전형적인 뇌내 동맥의 파형을 보인다. 중뇌 동맥의 평균 혈류 속도는 보고에 따라 다소간의 차이가 있으나¹³⁻²⁰, 대체적으로 30~80 cm/sec 범위에 속하고, 젊은 여성에서는 이보다 다소 더 높을 수 있으며 (대략 90 cm/sec 정도 까지), 노인 남자에서는 이보다 다소 낮을 수 있다 (대략 25 cm/sec 까지). 또 양측 중뇌 동맥의 혈류 속도는 대체로 비슷한 것이 보통이며, 양측 평균 혈류 속도가 25 cm/sec 이상 차이가 날 때는 이상이 있는 것으로 의심해 보아야 한다. 혈류 속도에 영향을 줄 수 있는 요소로는 혈관의 이상 외에도 hematocrit, 혈압, 심장 질환 등이 있을 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다^{18,21}. 수축기와 이완기 혈류 속도의 차이를 평균 혈류 속도로 나눈 것을 pulsatility index (PI)라고 하는데²², 원위부 혈관에 폐쇄성 질환 등으로 인하여 혈관 저항이 증가할 때 PI가 증가하는 경향이 있다. 중뇌 동맥의 경우 PI는 대체로 1.0 이하인 것이 보통이며, 여러 번 측정시 계속해서 이보다 높을 때에는 이상이 있는 것으로 간주할 수 있다. 단 이 경우 혈류의 파형을 확인하여 수축기 속도에 비해 이완기 속도가 현저하게 낮음을 확인하여야 한다.

B. 전뇌 동맥

전뇌 동맥은 대개 중뇌 동맥과 같은 방향에서 초음파

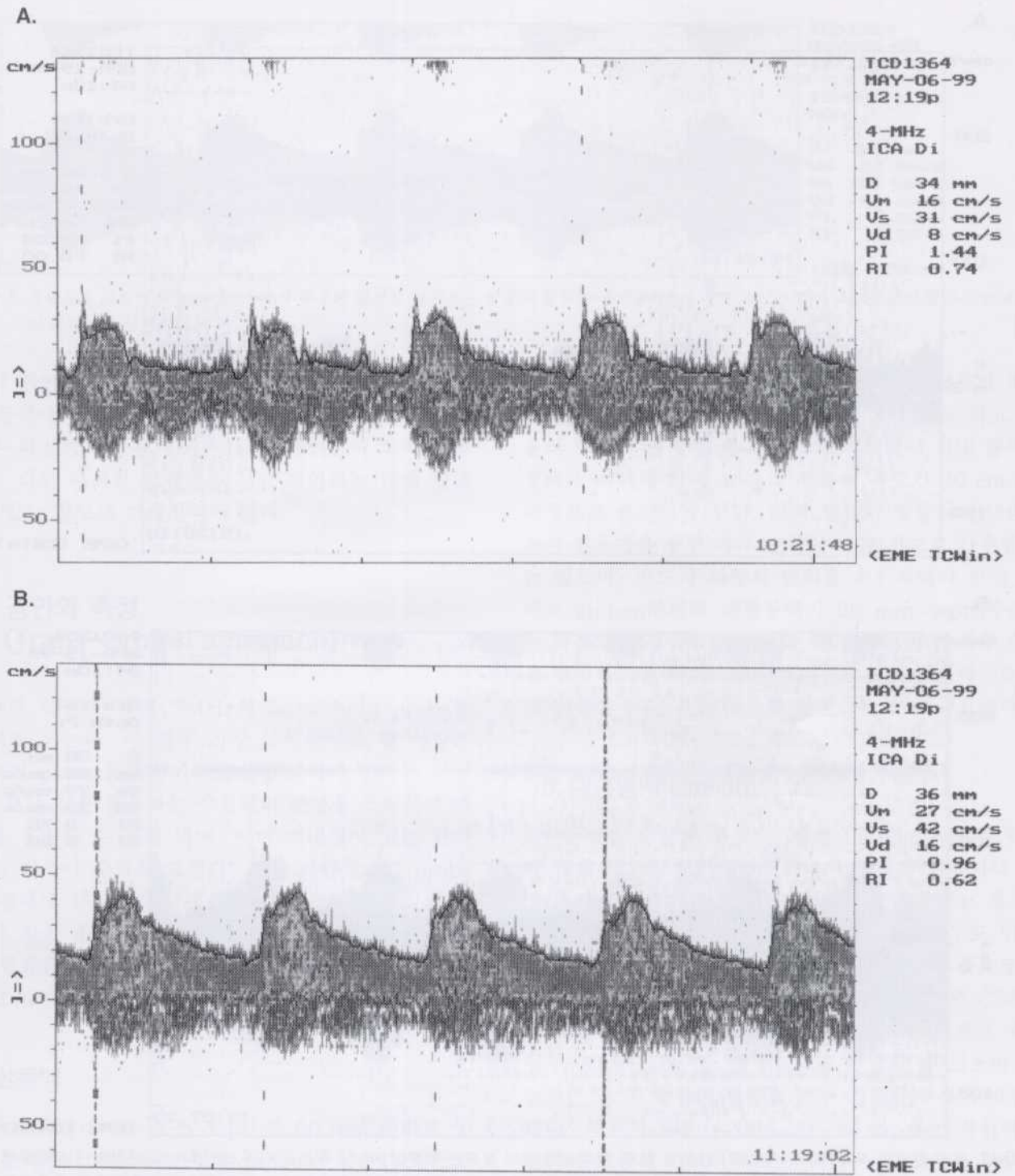


Figure 1. 하악골하 측정(sub-mandibular approach)에 의해 측정된 외경동맥(A)과 내경동맥(B) 혈류. 내경동맥에 비해 외경동맥의 혈류가 수축기 때 flow acceleration이 심하고 triple wave의 양상을 보이면서 이완기 때 속도가 0에 가까운 양상을 보인다.

의 투과 깊이를 증가시킬 때 양측으로 혈류의 파형이 동시에 나타나게 되며 (내경동맥으로부터 중뇌동맥과 전뇌동맥이 분지되는 부위: 이 부위의 혈류를 내경 동맥으로 착각하여서는 안된다: Fig. 3), 이 부위에서 probe로부터 멀어지는 방향의 혈류가 전뇌동맥에 해당된다. 중뇌 동맥과는 달리 전뇌 동맥은 초음파의 투사 방향과의 각도가 개인에 따라 차이가 크게 날 수 있으므로 혈류 속도 또한 개인차가 심하며 전뇌 동맥 혈류가 측정되지 않는다고 하여도 반드시 이상이 있는 것으로

간주 할 수는 없다. 다만 혈류의 속도가 80 cm/sec 이상인 경우에는 이상을 의심해 볼 수 있으며, 혈류의 방향이 반대인 경우에는 전교통 동맥을 통한 측부 순환을 시사한다(단, 이 경우에는 중뇌 동맥의 혈류와 확실한 구별이 되어야 하며, 그러기 위해서는 80 mm 이상의 depth에서도 같은 방향으로의 혈류가 있는 것을 확인하여야 하며 아울러 반대측 전뇌 동맥 혈류의 증가가 있어야 한다). 혈류의 파형은 중뇌 동맥과 유사하다.

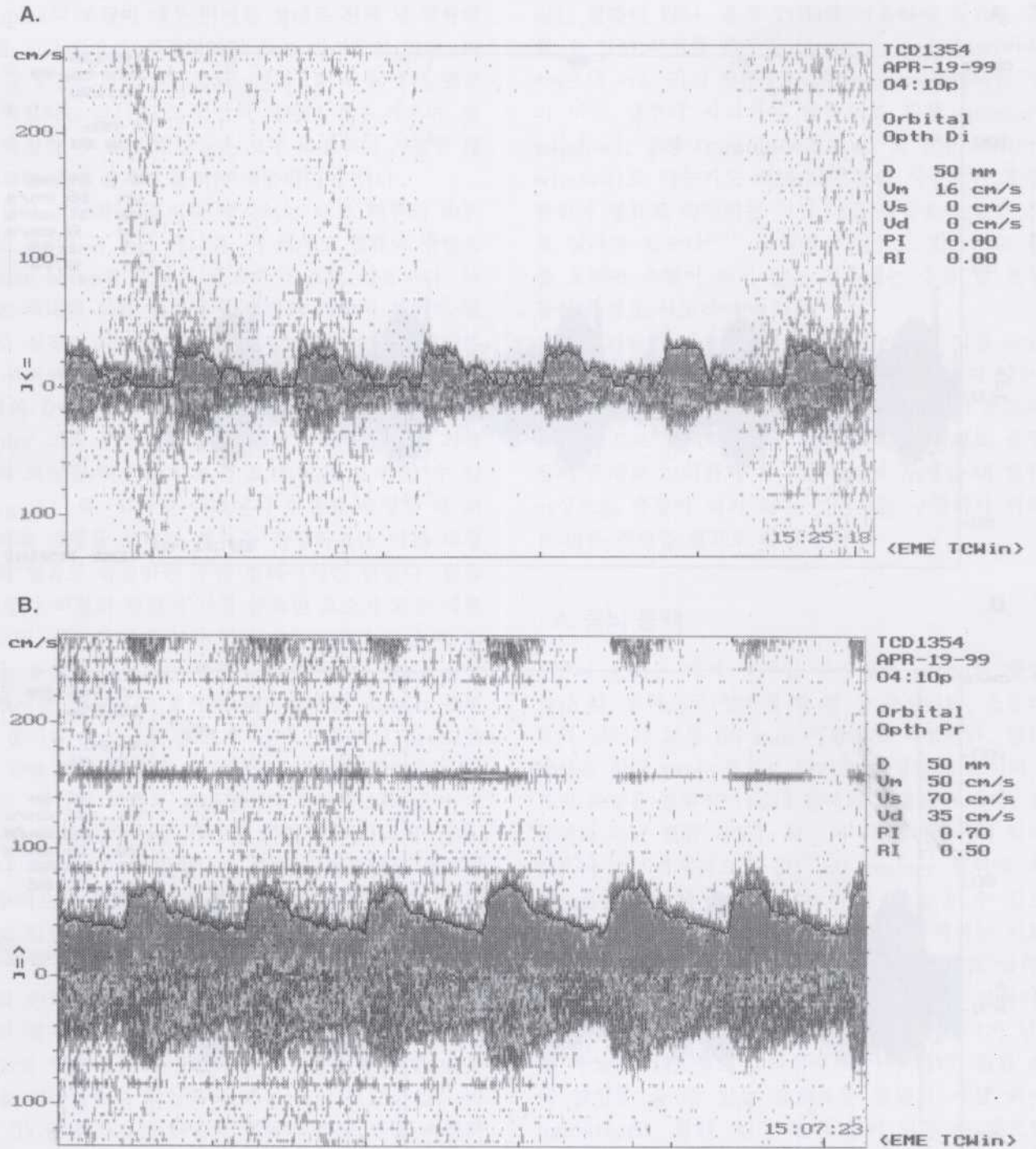


Figure 2. 동일 환자의 좌측 (A)과 우측 (B) 안동맥 혈류. 좌측 안동맥의 혈류는 방향이 probe 쪽으로 다가오는 flow로 전형적인 체내동맥 혈류의 파형을 보이는 반면, 우측 안동맥의 혈류는 주로 멀어지는 flow로 파형이 뇌내동맥의 형태로 변형되어 안동맥을 통한 측부순환이 있음을 시사한다.

C. 후뇌 동맥

전뇌 및 중뇌 동맥과는 달리 후뇌 동맥은 측두엽 후창에서 probe의 방향을 약간 아래, 뒤쪽으로 이동시킨 뒤 70 mm 이상의 depth에서 흔히 측정 된다. 혈류의 방향은 P1부위에서는 다가오는 혈류로, P2부위에서는 멀어지는 혈류로 나타날 수 있어, 어떠한 방향으로 관찰될 수도 있으며 혈류의 속도는 대개 20~60 cm/sec의 범주에 속하게 된다. 후뇌 동맥도 전뇌 동맥과 마찬가지로

혈류의 방향과 probe로부터 투사된 초음파의 방향 간의 각도가 비교적 큰 편으로 혈류가 측정되지 않는 다거나 혈류의 속도가 낮다는 것 만으로는 이상이 있는 것으로 간주 할 수 없으며, 혈류의 속도가 60 cm/sec 이상으로 증가되어 있으면 이상을 의심해 볼 수 있으나, 이 경우에도 중뇌 동맥과의 확실한 감별이 필요하다. TCD에 대한 경험이 축적되면 전뇌 혹은 중뇌 동맥에 비하여 후뇌 동맥의 혈류 파형이 약간 다르다는 것을 느낄 수 있다. 즉, 이완기에서 최고 수축기에 이르는 기울기가

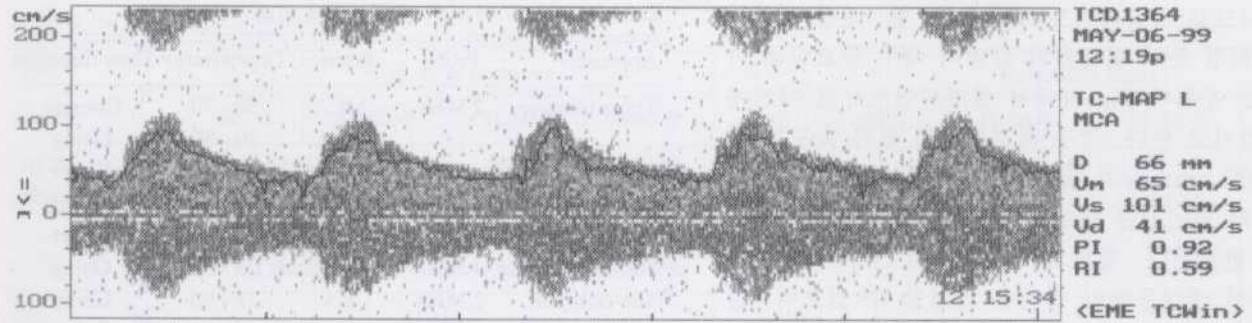


Figure 3. 측두창을 통하여 66 mm depth에서 측정된 혈류로 다가오는 방향의 혈류는 중뇌동맥, 그 아래 보이는 멀어지는 방향의 혈류는 전뇌동맥의 혈류임을 시사한다.

비교적 완만한 형태를 보이며, 수축기의 peak가 전뇌, 중뇌 동맥에 비하여 덜 뾰족한 양상을 보이는데, 이러한 내용은 확실히 입증된 것은 아니며 개인간의 차이도 심하므로 다만 이러한 혈관들을 찾고 확인하는 데에 참조할 수 있는 정도로 이해하여야 한다.

나. 경안와 측정 (Trans-Orbital approach)

경안와 측정은 대개 2MHz의 hand-held probe를 이용하게 되는데, 이 경우 가장 주의하여야 할 사항은 초음파의 power를 10 이하로 조절하여야 한다는 것이다. 이보다 강한 초음파는 수정체의 손상을 초래하여 백내장을 유발할 수 있게 되며, 이미 백내장이 있는 환자에서는 더욱이 주의를 요한다. 또한 가급적이면 probe를 수정체에 위치시키는 것은 피하는 것이 바람직하다. 경안와 창을 통하여는 siphon부위의 내경동맥과 안동맥의 혈류를 측정하는데, probe를 안구의 외측에 위치시키고 약간 안쪽으로 방향을 잡을 때 잘 측정된다.

A. 안동맥

경안와 측정에서는 우선 depth를 60 mm 이하로 놓고 안동맥부터 측정하고 이후 probe는 같은 방향으로 고정 시킨 채로 depth를 늘려가서 내경동맥의 siphon을 측정하는 것이 올바른 순서이다. 안동맥은 내경 동맥에서 분지 되어 안구로 공급되는 혈관으로서 혈류의 방향은 probe로 다가오는 방향으로 관찰되며, 파형은 전형적인 체내 동맥의 파형으로 이완기에 혈류속도가 0에 가까운 형태를 보인다. 안동맥의 혈류 속도는 대개 20 cm/sec 이하인 것이 보통이나, 이 혈관의 경우 혈류의 속도는 임상적 의의가 없다. TCD측정에 있어 안동맥의 중요성은 안동맥을 통한 측부 순환인데 이러한 소견이 관찰되면 거의 모든 경우에 있어 근위부 내경 동맥에 심한 협착이나 폐쇄가 있는 것을 의심해야 한다. 안동맥을 통한 측부 순환이 일어나면, 외경동맥의 혈류가 안동맥

을 통하여 내경동맥으로 유입되므로, 우선 혈류의 방향이 반대로, 즉 probe에서 멀어지는 방향으로 되고, 아울러 혈류의 파형이 체내 동맥의 형태에서 뇌내 동맥의 형태로 바뀌게 되며, 아울러 혈류의 속도가 20 cm/sec 이상으로 증가하게 된다. 단지 혈류의 방향이 반대라고 하여 안동맥을 통한 측부 순환이 있는 것으로 간주할 수는 없으며, 반드시 파형의 변화를 확인하여야 한다. 때때로 siphon부위의 내경동맥이 60 mm depth부근에서 측정되는 경우도 있으므로, 안동맥을 통한 측부 순환을 확인하려면 적어도 depth가 50 mm 이하에서도 위에 기술한 바와 같은 혈류를 관찰하는 것이 중요하다.

B. 내경동맥 (siphon)

안동맥을 측정한 후 같은 방향으로 depth를 깊게 할 때 대개는 70~80 mm 범위에서 혈류가 관찰되나, 개인 차이가 심하여 80 mm 이상에서만 관찰되는 경우가 있는가 하면 60 mm 부근에서 관찰되는 경우도 있어, 혈류가 잘 잡히지 않는 경우에는 depth를 큰 폭으로 조절하면서 측정할 필요가 있다. 혈류의 방향은 C3부위는 다가오는 혈류로, C4부위는 멀어지는 혈류로 측정될 수 있으므로 어느 방향으로든 관찰될 수 있으며, 가능하면 양 쪽 방향의 혈류를 모두 측정하는 것이 바람직하다. 혈류의 속도는 대개 30~80 cm/sec 범위이나, 혈류와 초음파 사이의 각도에 의해 이보다 다소 낮을 수도 있다. 혈류의 파형은 중뇌 혹은 전뇌 동맥의 파형과 흡사한 전형적인 뇌내 동맥의 형태를 보인다.

다. 하악골하 측정 (Submandibular approach)

하악골아래 부위에서 내경 동맥의 맥박을 촉진하고 그 부위에 hand-held 4 MHz probe를 대고 윗쪽 방향으로 내경 동맥과 외경동맥을 측정한다. 외경 동맥은 개인 차이가 심하고 뇌혈관 질환에 있어 이의 임상적 중요성이 상대적으로 떨어지므로 반드시 측정이 필요한

혈관은 아니므로 생략하여도 무방하다. 단, 내경 동맥을 측정할 때 외경 동맥 혈류와의 감별이 매우 중요한데 이에 대하여는 총론과 Fig. 1에서 설명하였으므로 여기에서는 생략하기로 한다. 경부 내경동맥의 혈류 속도는 대체로 15~50 cm/sec의 범위에 속하며, 혈류의 방향은 probe로부터 멀어지는 방향이고 25~35 mm의 depth에서 주로 관찰된다. 혈류의 속도가 60 cm/sec이상인 경우 이 부위 내경동맥의 협착을 의심할 수 있으나, 다른 원인에 의하여 혈류의 속도가 증가될 수 있는 경우를 감별하여야 한다.

라. 후두골하 측정 (Suboccipital approach)

후두골의 occipital protuberance 아래에 probe를 대고 약간 위 쪽을 향하게 하여 정중선을 따라 아래 쪽으로 이동시키면서 기저 동맥의 혈류를 측정한다. 이때 초음파의 투과 depth는 75 - 90 mm 범위 내에서 측정하는 것이 바람직하며, 혈류의 방향은 probe로부터 멀어지는 양상을 보인다. 기저동맥 혈류의 평균 속도는 대개 20 - 60 cm/sec 범위에 속하며, 여러 차례 반복 측정하여 이 보다 낮거나 높은 경우에는 이상을 의심해 보아야 한다. 기저 동맥의 PI는 중뇌동맥이나 내경 동맥에 비하여 다소 높은 경향을 보이는데 대체로 1.2 이상인 경우에는 동맥경화증이 있는 것을 의심할 수 있으나 이 경우에도 혈류의 파형을 관찰하여 수축기 속도에 비하여 이완기 속도가 현저히 낮음을 확인하여야 한다.

마. 유양돌기후 측정 (Retromastoid approach)

유양돌기의 약간 뒤, 아래 쪽에 직각으로 probe를 대고 척추로부터 나오는 추골 동맥의 혈류를 측정한다. 초음파의 투과 depth는 대개 45 - 65 mm로 광범위하게 측정되며, 혈류의 방향은 이 부위 추골 동맥이 선회하므로 다가오거나 멀어지는 어떠한 방향으로도 관찰될 수 있다. 혈류의 평균 속도는 15 - 60 cm/sec 정도이나, 개인적인 편차가 심하고 개인에서도 좌, 우측의 차이가 현저한 경향을 보인다. 어느 정도 경험이 축적되면 비교적 쉽게 측정할 수 있으므로 측정이 잘 되지 않는 경우 이상이 있는 것으로 생각할 수 있으나, 이 경우 선천적으로 한쪽 추골 동맥이 hypoplastic 할 수도 있다는 것을 주의하여야 한다.

이상 TCD로 측정할 수 있는 뇌혈관 들과 측정하는 방법 및 각 혈류의 정상 소견을 기술하였으며, Table 1

Table 1. TCD를 이용한 뇌혈류 측정 기술

Approach	Probe	Arteries	Depth (mm)	Flow direction
Trans-temporal	2 MHz	MCA	50 - 70	Coming
		ACA	70 - 80	Going
		PCA	70 - 80	Either
Trans-orbital	2 MHz	OA	< 60	Coming
		ICA siphon	70 - 90	Either
Sub-mandibular	4 MHz	ICA cervical	25 - 35	Going
Sub-occipital	2 MHz	BA	75 - 90	Going
Retro-mastoid	2 MHz	VA	45 - 65	Either

MCA, middle cerebral artery; ACA, anterior cerebral artery; PCA, posterior cerebral artery; OA, ophthalmic artery; ICA, internal carotid artery; BA, basilar artery; VA, vertebral artery

에 요약하였다. Table 2는 김경환 등이 1995년 대한신경과학회지에 발표한 우리나라 정상 성인 200명의 TCD 기준치의 Table이다. 위에서 이러한 수치들을 직접적으로 인용하지 않은 것은 이미 언급한대로 TCD를 시행하고 해석하는 데에 이러한 기준치들이 절대적인 기준이 되는 것은 아니며, 이 외에도 혈류의 모양과 연관있는 혈관 들의 혈류 양상을 함께 파악하여야 한다는 것이다. 즉, 어느 한 혈관의 혈류가 정상치보다 다소 빠르다고 하여 그 혈관을 이상이 있는 혈관으로 보기는 어려우며, 그 혈관 혈류의 파형은 물론 그 주위 혈관, 즉, 근위부 및 원위부 혈관과 이에 영향을 받는 혈관 들의 혈류 양상을 모두 파악하여야만 정확한 TCD 결과를 도출할 수 있다. 즉, TCD 결과를 제대로 이해하려면 각 혈관들을 하나씩 보는 습관을 버리고 전체 뇌혈관을 하나의 커다란 지도로 보는 것이 필요하다. 아울러 TCD를 시행할 때 검사자는 단순히 각 혈관들을 잡고 혈류 속도를 측정하는 것으로 모든 것이 이루어 진다고 생각하면 안되고, 현재 시행하고 있는 환자의 뇌혈류가 정상인지 아닌지 하는 것에 대한 idea를 갖고, 비정상이라면 어떠한 혈관에 어떠한 이상에 해당되는가 하는 것까지 고려할 수 있어야, TCD 검사의 정확성을 높일 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982; 57:769-774.
2. Harders AG, Gilsbach JM. Time course of blood velocity changes related to vasospasm in the circle of Willis measured by transcranial Doppler ultrasound. *J Neurosurg* 1987;66:718-728.
3. Sloan MA, Haley EC, Kassell NF, et al. Sensitivity and specificity of transcranial Doppler ultrasonography in the diagnosis of vasospasm following subarachnoid hemorrhage. *Neurology* 1989;39:1514-1518.

Table 2. 뇌혈류 TCD 정상치¹⁹⁾

혈관 (depth)	성	평균 속도 (cm/sec)				좌우 차이	Pulsatility Index			
		<40세	41-50세	51-60세	>60세		<40세	41-50세	51-60세	>60세
MCA (56-60)	남	52±14 (24-80)		49±11 (27-71)	44±10 (24-64)	9±6.5 (≤22)	.73±.17 (.39-1.07)		.78±.18 (.42-1.14)	.89±.20 (.49-1.29)
	여	61±13 (35-87)		54±14 (26-82)	51±12 (27-75)					
M2 (46-50)	남	41±13 (15-67)					.74±.13 (.48-1.00)	.78±.23 (.32-1.24)	.87±.27 (.33-1.41)	1.01±.26 (.49-1.53)
	여	48±14 (20-76)								
ACA (70-74)	남	46±15 (16-76)				13±10 (≤33)	.78±.21 (.36-1.20)		.87±.20 (.47-1.27)	.96±.20 (.56-1.36)
	여									
PCA (70-74)	남	35±10 (15-55)				9±7 (≤23)	.78±.17 (.44-1.12)		.85±.19 (.47-1.23)	.95±.25 (.45-1.45)
	여									
OA (≤ 60)	남	15±5 (5-25)								
	여									
ICAs (70-90)	남	45±13 (19-71)		42±12 (18-66)	38±10 (18-58)	9±7.5 (≤24)	.85±.23 (.39-1.31)			
	여									
ICAc (25-35)	남	27±7 (13-41)	24±5 (14-34)			5±3.5 (≤12)	.77±.23 (.31-1.23)	.88±.24 (.40-1.36)		
	여	30±8 (14-46)		26±7 (12-40)						
CCA (20-30)	남	21±6 (9-33)	18±5 (8-28)		17±6 (5-29)					
	여									
VA (50-65)	남	24±6 (12-36)				5±5.5 (≤16)	.83±.24 (.35-1.31)	.89±.31 (.27-1.51)		1.02±.29 (.44-1.60)
	여	27±8 (11-43)								
BAprox (76-80)	남	31±8 (15-47)			27±7 (13-41)		.78±.18 (.42-1.14)			.94±.18 (.58-1.30)
	여	45±13 (19-71)	42±9 (24-60)	35±10 (16-52)	32±7 (18-46)					
BADist (86-90)	남	37±11 (15-59)		34±9 (16-52)			73±.14 (.45-1.01)		.84±.19 (.46-1.22)	
	여	51±13 (25-77)	44±10 (24-64)	40±9 (22-58)	34±8 (18-50)					

Data are means(SDs (normal range)).

MCA, middle cerebral artery (M2, M2 segment); ACA, anterior cerebral artery; PCA, posterior cerebral artery; OA, ophthalmic artery; ICAs, internal carotid artery at siphon level; ICAc, internal carotid artery at cervical level; CCA, common carotid artery; VA, vertebral artery; BAprox, basilar artery proximal segment; BADist, basilar artery distal segment.

- Siebler M, Sitzer M, Steinmetz H. Detection of intracranial microembolic signals in patients with symptomatic extracranial carotid disease. *Stroke* 1992;23:1652-1654.
- Grosset DG, Georgiadis D, Kelman AW, Lees KR. Quantification of emboli signals in patients with cardiac and carotid disease. *Stroke* 1993;24:1922-1924.
- Halsey JH, McDowell HA, Gelmon S, Morawetz RB. Blood velocity in the middle cerebral artery and regional cerebral blood flow during carotid endarterectomy. *Stroke* 1989;20:53-58.
- Jensen C, Ramos LMP, van Heeswijk JPM, Moll FL, van Gijn J, Ackerstaff RGA. Impact of microembolism and hemodynamic changes in the brain during carotid endarterectomy. *Stroke* 1994;25:992-997.
- Ropper AH, Kehne SM, Wechsler L. Transcranial Doppler in brain death. *Neurology* 1987;37:1733-1735.
- Zwetsloot CP, Caekebeke JFV, Odink J, Ferrair MD. Vascular

- reactivity during migraine attacks: A transcranial Doppler study. *Headache* 1991;31:593-595.
10. Fujioka KA, Douville CM. Anatomy and freehand examination techniques. In: Newell DW, Aaslid R, eds. *Transcranial Doppler*. New York:Raven Press, 1992;9-31.
 11. Katz ML, Whisler GD. Examination using transcranial Doppler mapping. In: Newell DW, Aaslid R, eds. *Transcranial Doppler*. New York:Raven Press, 1992;33-39.
 12. Saver JL, Feldmann E. Basic transcranial Doppler examination: technique and anatomy. In: Babikian VL, Wechsler LR, eds. *Transcranial Doppler ultrasonography*. St. Louise: Mosby, 1993;11-28.
 13. Arnolds BJ, von Reutern GM. Transcranial Doppler sonography: Examination technique and normal reference values. *Ultrasound Med Biol* 1986;12:115-123.
 14. Hennerici M, Rautenberg W, Sitzer G, Schwartz A. Transcranial Doppler ultrasound for the assessment of intracranial arterial flow velocity - Part I. Examination technique and normal values. *Surg Neurol* 1987;27:439-448.
 15. 권병덕, 권 양, 임승철, 황충진. Doppler ultrasound를 이용한 뇌기저 동맥의 혈류 속도 측정. *대한신경의과학회지* 1989; 18:379-388.
 16. Sorteberg W, Langmoen IA, Lindgaard KF, Nornes H. Side-to-side differences and day-to-day variations of transcranial Doppler parameters in normal subjects. *J Ultrasound Med* 1990;9:403-409.
 17. 안광병, 지창수, 정진상. Transcranial Doppler ultrasound를 이용한 정상인의 뇌혈류 속도 측정. *대한신경과학회지* 1991; 9:277-285.
 18. Adams RJ, Nichols FT, Hess DC. Normal values and physiological variables. In: Newell DW, Aaslid R, eds. *Transcranial Doppler*. New York:Raven Press, 1992;41-48.
 19. 김경환, 손영호, 이상무, 이준홍, 김돈수, 김정연, 김진수. 정상 성인 200명을 대상으로 한 transcranial Doppler ultrasonography (TCD)의 기준치와 그에 영향을 주는 요소들. *대한신경과학회지* 1995;13:815-824.
 20. 조수진, 정진상, 이광호. 정상 MRI, MRA 소견을 보인 건강한 성인의 transcranial Doppler ultrasonography의 정상 참고치. *대한신경과학회지* 1998;16:264-270.
 21. Sohn YH, Kim GW, Kim J-S. Do hematocrit and serum fibrinogen influence transcranial Doppler measurements? *J Korean Med Sci* 1997;12:405-408.
 22. Gosling RG, King DH. Arterial assessment by Doppler shift ultrasound. *Proc R Soc Med* 1974;67:447-449.