

임상 경두개 도플러 검사

메리놀병원 신경생리검사실

김종순 · 류재관

Clinical Transcranial Doppler

Kim, Jong-Soon P.T., Ryoo Jae-Kwan P.T., M.T., M.P.H.

Dept. of Electroneurophysiologic Lab., Maryknoll Hospital

— ABSTRACT —

The transcranial Doppler(TCD) is a technique for measuring blood flow velocity of intracranial and extracranial arteries. This examination based on Doppler effect which was first formulated in 1842 by the Austrian physicist Christian Doppler.

In 1982, Rune Aaslid first made 2MHz pulsed probe and recording intracranial vessels with transcranially.

There are six criteria utilized in gaining positive identification of the intracranial vessels. The six criteria are as follows 1)acoustical windows 2)depth of sample volume 3)direction of flow 4)spatial relationship of ACA and MCA bifurcation 5)mean velocity and 6)response common carotid artery compression and/or oscillation test.

The affected factors for TCD examination are angle of insonation, posture of subject, age, gender, hematocrit, metabolic factors, and cardiac output.

Clinical application of TCD are detection of stenosis, occlusion, emboli, thrombosis in intracranial and extracranial arteries and evaluation of cerebral arterovenous malformation, collateral capacity in the circle of Willis, ischemia cerebrovascular disease, stroke patient and vertebrobasilar system.

Key word: Doppler effect, Transcranial Doppler(TCD)

차례

머 리 말

본 론

TCD의 역사

Doppler 효과

TCD 검사를 위한 기초 해부

TCD 검사를 위한 혈류역학

혈관 구분의 지표

TCD 파형의 분석

TCD 검사에 영향을 미치는 요인

TCD의 임상적용

맺 음 말

참고문헌

머 리 말

뇌에 공급되는 혈액의 감소에 의하여 야기되는 신경학적 증상인 뇌졸중은 인구 1,000명당 1.5명의 발생률과 1,000명당 5~6명의 유병율을 가지는 것으로 알려져 있고 국내의 사망자를 사인별로 분류해 보면 1995년에는 암이 1위로 전체의 21.4%, 그다음이 뇌졸중이나 뇌혈관 질환으로 16%를 차지하는 등 임상에서 흔히 접할 수 있는 신경계 질환이다¹⁾. 국내에서도 의료수준의 향상과 생활수준의 향상으로 인하여 뇌졸중에 침범될 수 있는 잠재적인 인구수의 증가와 건강에 대한 관심으로 인하여 뇌졸중의 예방과 조기 진단의 관심이 매우 고조되고 있는 상태이다. 이러한 뇌혈관 이상의 예방과 치료를 위한 검사법에는 전산화 단층 촬영(Computed Tomography; CT), 자기공명 영상 촬영(Magnetic Resonance Imaging; MRI), 양전자 방출 단층 촬영(Positron Emission Tomography; PET), 단일 광자방출 전산화 단층 촬영(Single Pho-

ton Emmission Computed Tomography; SPECT), 혈관조영술(angiogram)등을 이용한 신경 방사선학적 검사법과 DSA(Digital Subtraction Angiography), carotid ultrasound, 경두개 도플러법(Transcranial Doppler; TCD 이하 TCD)등의 비침습적인 뇌혈관 촬영법등이 있으며²⁾ 이중 비교적 최신의 검사법인TCD는 초음파를 이용하여 환자에게 통증을 주지않고 뇌혈류의 상황을 간단하게 검사할 수 있으며 비침습적으로³⁾ 쉽게 반복 검사 할수 있는 장점이 있어 최근 임상에서 연구가 활발히 이루어 지고 있으며 앞으로도 뇌혈류에 관한 연구에 많이 이용될 것으로 생각되어진다.

이에 저자들은 뇌혈관 질환으로 인해 유발된 장애의 치료에 필수적인 물리치료 분야에서 환자의 뇌혈류의 상태에 관한 정보와 연구에 TCD의 쓰임이 유용할 것으로 생각되어 문헌 고찰을 통해 TCD에 관한 검사원리와 결과의 해석에 대한 간단한 소개를 하고자 한다.

본 론

초음파가 인간의 생활속에 응용되기 시작한 것은 1921년 호화 여객선 타이타닉호가 침몰했을 때 선체를 찾기 위해 탐사를 한것을 효시로 제1차 세계대전 당시 프랑스의 라즈벵이 적의 잠수함을 탐지하기 위한 연구를 실시하였고 오늘날 진단 초음파를 기술하는데 sonar라는 말을 쓰는 기원이 되었다⁴⁾. 그후 과학의 발전과 더불어 다양한 분야에서 응용되어 사용되어 오다가 의료영역에서는 A(amplitude) mode법의 개발로 인하여 등장하기 시작 하였다. 그후 수동 접촉 주사 장치가 개발되고 초음파 단층상(B mode)으로서 표시되게 되어 단층상의 개선이 급속하게 이루어졌으며, 오늘날의 Doppler법에 이르기까지 진단영역에서 빠르게 발전하고 있다.

TCD의 역사(History of TCD)

1842년 오스트리아의 물리학자인 Christian Doppler는 이중별색에 관한 연구(colored light from stars)에서 Doppler 효과에 관해 발표한 이래²⁶⁾ 이 이론이 혈류 검사에 처음으로 적용된 것은 1960년 오사카의 Satomura와 Kaneko에 의해서 이다^{33, 39)}. 이들의 검사법은 외경 동맥 검사등 두개의 혈관의 검사에는 적용될 수 있었으나 두개강내 혈관의 검사에는 수술중이거나 소아에서만 가능 하였다. 그러던중 1982년 노르웨이의 과학자이자 인공두뇌 학자인 Rune Aaslid가 최초로 2MHz의 PW 탐촉자를 개발, 측두골을 통한 뇌혈관의 혈류 속도를 측정함으로써 현대적 의미의 TCD가 임상에서 쓰이게 되었다¹⁾.

Doppler 효과(Doppler effect)

1842년 발표된 Doppler 효과는²⁶⁾ 3년후 Doppler의 이론이 잘못 되었음을 증명하고자 네델란드의 물리학자 Buys Ballot가 Doppler의 이론을 실험해본 결과 오히려 Doppler 이론의 정당성을 증명하게 된후¹⁹⁾ 여러 영역에서 적용되어 오고 있다. Doppler 효과를 간단히 설명하면 멀리서 기차가 달려올때는 기차의 소리가 작게 들리나 차츰 가까워지면서 소리가 커지다가 기차가 지나쳐 멀어질수록 소리가 점점 작아지는것으로 쉽게 예를 들어 설명 할 수 있다. 즉, 음원과 센서가 상대적으로 근접하고 있을때는 상대적 운동이 없을 때 보다 음원의 주파수가 높게 감지되고 또 이것이 멀어질때는 음원의 주파수가 낮게 감지되는 현상이다. 이를 공식으로 나타내면 먼저 초음파의 송신 주파수를 f_0 , 생체중의 음속을 c , 이동혈구의 속도를 v , 초음파 빔과 이동 방향과의 이루는 각도를 θ 로 할때 송신시와 수신시로 나누어 생각하여, 송신시에는 음원이 정지해 있어 혈구가 속도 $v \cdot \cos\theta$ 에서 가까워지므로 혈구가

받는 초음파 주파수 f_1 은 $(1+v \cdot \cos\theta/c)f_0$ ---(1)이 된다. 다음으로 수신시에는, 혈구가 주파수 f_1 을 갖는 음원에서 속도 $v \cdot \cos\theta$ 에서 프로브에 가까워져 있고 프로브는 정지해 있다고 생각한다. 이때 프로브로 관측되는 수신 초음파 주파수 f_2 는 $1 \div (1-v \cdot \cos\theta/c) \times f_1$ ---(2)이 된다. (1), (2)식으로부터 $f_2=(1+v \cdot \cos\theta/c) \div (1-v \cdot \cos\theta/c) \times f_0$ ---(3)이된다. Doppler 효과에 의한 편이 주파수 fd 는 $f_2-f_0 \approx 2 v f_0 \cos\theta/c$ ---(4)가된다. 따라서 fd 를 구하면 이동속도 v 를 알 수 있게된다¹⁰⁾.

TCD검사를 위한 기초 해부

(Basic anatomy for TCD examination)

① 두개골의 구조(Structure of skull)

일반적으로 초음파는 골조직을 투과할 수 없는 것으로 알려져있다. 그러나 1982년 Aaslid등이 2MHz의 저주파 탐촉자를 개발함으로써 두개골중 비교적 골조직이 얇은 협골궁(zygomatic arch) 위에서 두개골내 혈류의 순환을 측정할 수 있게 되었다. TCD검사에서

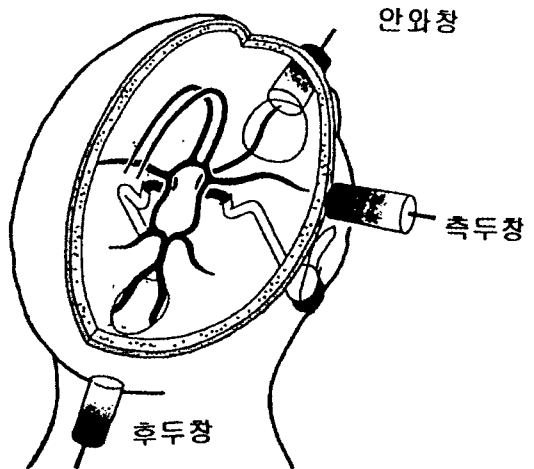


Fig. 1 The three natural "acoustical windows" that allow penetration of the ultrasound beam into cranium and insonation of major intracranial arteries.

2MHz의 초음파가 투과할 수 있는 영역을 청각창(acoustical window)이라 부르는데 현재 크게 3개의 청각창이 임상에서 사용되고 있다(Fig. 1).

첫번째는 1982년 Aaslid등이 처음으로 검사에 성공한 측두창(transtemporal window)¹⁾, 둘째 1983년 Spencer와 Whisler가 언급한 안와창(transorbital window)⁴³⁾, 그리고 마지막으로 1986년 Arnold와 Reutern이 언급한 후두창(transoccipital window)¹⁶⁾이 있다. 이중 측두창은 측두골 위에 위치하며 협골궁 바로위에 있다. 측두창은 전두창(F segment), 앞창(A segment), 중간창(M segment), 뒷창(P segment)의 4개의 분절로 나눌 수 있고(Fig. 2) 접근 가능한 혈관은 전대뇌 동맥(ACA), 중대뇌 동맥(MCA), 후대뇌 동맥(PCA), 내경동맥의 말단부(TICA), 전교통동맥(ACoA), 후교통 동맥(PCoA)등이 있다.

안와창은 안구위에 탐촉자를 위치하여 검사하는 것으로 접근 가능한 혈관은 안와동맥(OA)과 전대뇌 동맥이 있다. 후두창은 두 개골과 제1 경추 사이의 구멍

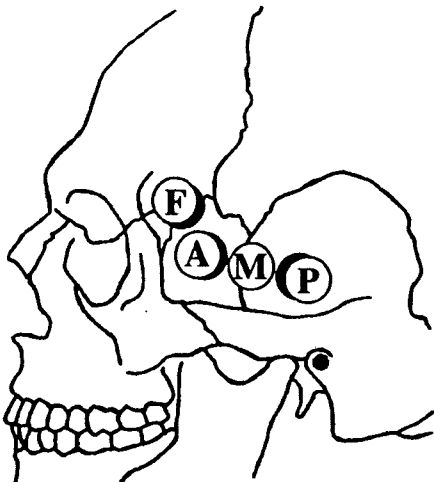


Fig. 2 The transtemporal "acoustical windows" is divided into four distinct areas: the posterior, middle, anterior, and frontal windows

을 이용하여 추골 동맥(VA)과 기저 동맥(BA)를 검사할 수 있다.

② 순환계와 대뇌동맥륜(Circulatory system and cerebral arterial circle)

TCD 검사를 위해 기초적으로 인식하고 있어야 하는 순환계는 심장의 좌심실에서 상행대동맥(ascending aorta)→ 대동맥궁(aortic arch)→ 총경동맥(common carotid artery)→ 내경동맥(internal carotid artery)→ 대뇌동맥륜(cerebral arterial circle)으로 이어지는 혈류의 흐름과 좌, 우추골동맥(vertebral artery)→ 기저동맥(basilar artery)→ 대뇌동맥륜으로 이어지는 혈류의 흐름이다.

상행대동맥은 좌심실에서 기시하여 대동맥궁으로 이어지는 직경 약 2~3cm, 길이가 약 5cm인 혈관으로 대동맥궁과 연결되어 연속되어진다. 대동맥궁은 제2늑골 높이에서 제4흉추에 이르는 활 모양의 혈관으로 완두동맥(brachiocephalic trunk)과 좌총경동맥, 좌쇄골하동맥(left subclavian artery)로 분지된다. 두경부에 분포하는 혈관이 분지되는 총경동맥은 좌, 우총경동맥이 약간은 다르게 분지 되어진다. 즉, 좌총경동맥은 대동맥궁에서 직접 분지되나 우총경동맥은 완두동맥에서 분지 되어진다. 그러나 이후의 좌, 우총경동맥의 경로나 기타 혈관의 분지는 차이가 없다. 총경동맥은 경부외측을 상행하여 외경동맥(external carotid artery)과 내경 동맥으로 분지된다. 외경동맥은 갑상연골 상연 높이에서 내경동맥과 갈라진 후 상갑상선동맥(superior thyroid artery), 설동맥(lingual artery), 안면동맥(facial artery), 후두동맥(occipital artery), 후이개동맥(posterior auricular artery), 상행인두동맥(ascending pharyngeal artery), 천 측두동맥(superficial temporal artery), 상악동맥(maxillary artery)으로 나누어지고, 4) 내경동맥은 총경동맥과 갈라진 후 거의 수직으로 주행하여 두개강속으로 들어가 간뇌 전면 끝부분에

서 뇌와 접하게 되고 추골동맥에서 연속된 후대뇌동맥과 교통하여 대뇌동맥류를 형성하게 된다. 내경동맥은 커다란 중대뇌 동맥을 내는데 대뇌반구의 외측면 대부분에 분포한다. 좀 작은 전대뇌 동맥도 내경 동맥에서 기시하여 대뇌반구 내측면 상부에 분포한다. 추골 동맥은 경부의 기저부에서 쇄골하 동맥으로부터 분지된 동맥으로, 경부 깊숙히 상행하여 후환추후두막(posterior atlantooccipital membrane)을 지난 후 척주관 내로 들어가 대후두공을 통해 상행, 연수 전면에서 좌,우 추골 동맥이 합쳐져 기저 동맥을 형성한다. 기저 동맥은 간뇌 하부에서 두 개의 후대뇌 동맥으로 나뉘면서 끝난다. 후대뇌 동맥은 기저 동맥에서 기시하는 부위에서 후교통동맥을 받음으로써 내경 동맥과 교통한다. 내경 동맥은 후대뇌 동맥과는 후교통 동맥에 의해 교통하고 있어 실질적으로는 기저 동맥과도 교통하고 있는 셈이고, 전대뇌 동맥끼리는 전교통동맥에 의해 연결되어 있기 때문에 완전한 동맥류를 형성하고 있어 이를 대뇌동맥류 혹은 Willis환(circle of Willis)이라 한다⁹⁾.

TCD 검사를 위한 혈류역학 (Hemodynamics for TCD examination)

혈관내 혈액의 이동을 혈류라고하며 혈관 또는 혈류의 물리적 변화들이 국소혈류량과 혈압에 어떤 영향을 미치는지를 연구하는 학문을 혈류역학 이라고한다. 인간의 혈관은 심장에서 시작하여 전신의 조직을 관류하여 심장에 되돌아오는 폐쇄관상계를 가지는데¹⁰⁾ 심장의 수축과 이완 작용에 의해 밀려나간 혈액은 압력으로 인해 일정한 방향으로 흘러가게 되는데 여기에는 혈관의 저항 및 혈류량이 밀접하게 관련되어 있다. 혈액을 흐르게하는 원동력은 혈압의 차이, 즉 압력경사 (pressure gradient)에 의해 혈압이 높은 곳에서 낮은 쪽으로 흐르게 되며 혈액에 미치는 중력인 정수압

(hydrostatic pressure)에 의해 심장에서 다리로 향하는 혈액은 혈압과 정수압이 합친 압력에 의해, 반면 머리로 흐르는 혈액은 혈압에서 정수압을 뺀 압력에 의해 혈액의 흐름이 발생하게된다. 혈류의 저항은 혈액의 점성(viscosity)과 혈관의 길이, 혈관의 안지름과 밀접한 관련이 있다. 저항은 혈관의 길이가 길수록 커지고 혈관 안지름의 4제곱에 반비례하며 혈액의 점성이 클수록 마찰이 커져 혈액의 흐름을 방해한다. 따라서 혈류는 혈압과 혈류 저항에 의존하게 되는데 이를 공식화 하면, 혈류량(blood flow)=혈압(blood pressure)/혈류저항(blood resistance)이 된다⁸⁾. 혈관속을 흐르는 혈액은 가느다란 딱딱한 관속에서 흐르는 것과 마찬가지로 층류(laminar flow)를 이루는데 이때 혈관벽에 접하는 아주 얇은 혈액층은 움직이지 않고 혈관 중앙으로 갈수록 혈류의 흐름이 빨라지게 된다. 이와같은 층류는 혈류의 속도가 일정한 값 이하인 경우에만 생성되는데 이 한계속도를 넘어서면 난류(turbulent flow)가 발생하게 되고 층류와 달리 난류는 잡음이 발생한다¹¹⁾.

정상 성인의 뇌는 안정 상태에서 평균 50ml/100g/min의 뇌혈류(cerebral blood flow; CBF)를 공급받는다. 뇌혈류도 다른 혈류와 마찬가지로 뇌혈류압(cerebral perfusion pressure; CPP)과 뇌혈관 저항(cerebrovascular resistance; CVR)에 의하여 결정되는데 뇌혈류=뇌혈류압/뇌혈관 저항의 공식을 따른다. 뇌혈류압은 뇌로 피를 짜올리는 동맥압과 정맥압의 차로 정의 되지만 정상적으로 정맥압은 미미하므로 대부분 뇌혈류압은 동맥압과 같다고 인정한다. 뇌혈류압이 정상인 경우에 뇌혈관 저항의 변동은 뇌혈류의 변화를 초래하게 된다. 뇌혈관 저항도 혈액의 점도와 혈관의 직경에 많은 영향을 받게 되는데 뇌혈관 저항= $L\eta/\pi r^4$ (L , 혈관길이; η , 점도; r , 혈관넓이)의 공식을 따른다. 정상적으로 평균 동맥압이 60 내지 150mmHg 사이에서 뇌혈류압이 변화하더라도 뇌혈

류는 일정하게 유지되는 자동조절능(autoregulation)이 작동하고 있는데 뇌혈류압이 상승하면 혈관 수축이 일어나고 뇌혈류압 감소하면 혈관 확장이 나타나서 뇌혈관 저항을 조절함으로써 뇌혈류가 유지되는 것이다⁷⁾.

혈관 구분의 지표 (Criteria for vessel identification)

혈관을 직접 볼 수 없는 TCD검사에서 각각의 두개 내 혈관을 구별하는데는 6가지의 기준이 있다.(표. 1)

첫째, 각각의 청각창은 검사 가능한 혈관이 제한된다. 예를 들어 측두창에서는 중대뇌 동맥, 전대뇌 동맥, 후대뇌 동맥, 내경동맥의 말단부, 전교통 동맥, 후교통 동맥만이 검사가 가능하다. 둘째, sample volume의 깊이이다. sample volume이란 가청 Doppler signal이 파생되는 기점으로 깊이(depth)는 밀리미터(mm)로 기록된다. 예를들어 중대뇌 동맥의 경우 sample volume의 깊이는 약 30~60mm이고 전대뇌 동맥은 약 60~80mm로 각각의 혈관은 특정 sample volume의 깊이를 가진다. 셋째, 탐촉자에 대한 혈류의 방향이다. TCD 검사에서 혈류의 흐름이 탐촉자를 향할때는 기저선(zero line) 위로 signal이 나타나고 탐촉자 반대 방향으로 이동할 경우는 기저선 아래에 나타나게 된다. 넷째는 검사시의 혈관의 공간 관계이다. 즉 내경 동맥은 전대뇌 동맥과 중대뇌 동맥으로 분기하고 이것은 두개내 혈관의 지표로 작용한다. 후대뇌 동맥의 경우는 보통 내동맥이 갈라지는 곳에서 후하방으로 주행한다. 다섯째, 각 두개내 혈관의 특징적인 혈류속도 이다(MCA)

ACA)PCA=BA=VA). 이러한 혈류속도의 차이는 Doppler signal을 도출하는데 도움을 준다. 여섯째, 총경동맥(common carotid artery) 압박 진동 검사이다. 목의 하부에서 총경 동맥을 압박하면 두개내에

서 압력이 감소하고 그결과 혈류속도, 박동, 그리고 잠재적으로 혈류 방향이 바뀐다. 즉 총경 동맥에서 분지하는 중대뇌 동맥, 전대뇌 동맥은 총경동맥 압박 진동 검사시 혈류에 영향을 받지만, 기저 동맥에서 분지하

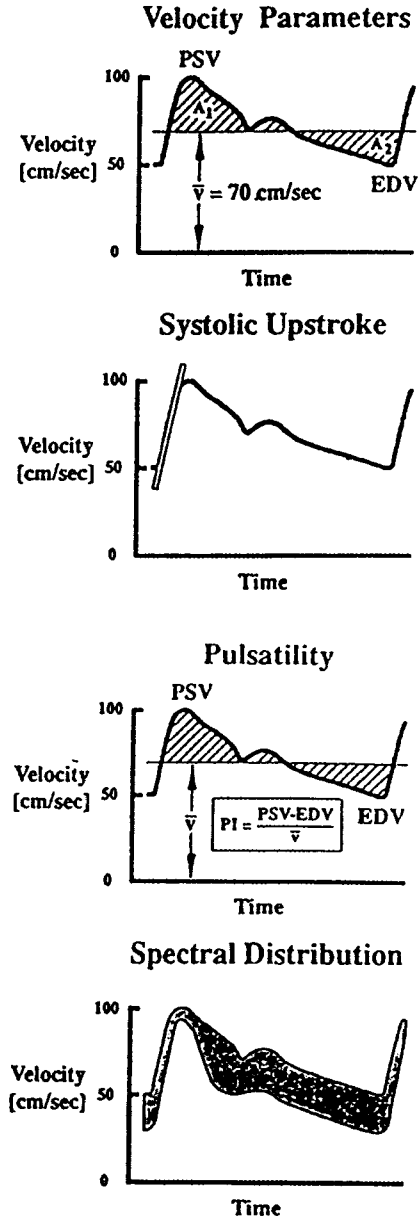


Fig. 3 Diagnostic features of the Doppler spectral waveform. PSV; peak systolic velocity, EDV; end diastolic velocity, V; mean velocity, PI; pulsatility index

는 후대뇌 동맥은 영향을 받지 않는다²⁵⁾.

TCD 파형의 분석 (Analysis of TCD spectrum)

TCD 스펙트럼 분석의 주요 요소는 최대 수축기 혈류속도(peak systolic velocity; 이하 PSV), 말기 이완기 속도(end diastolic velocity; 이하 EDV), 평균 혈류속도(Vmean), systolic upstroke, 박동계수(pulsatility index), 스펙트럼 분포(spectral distribution)등이다. 현대의 TCD기기는 컴퓨터를 내장하여 이러한 지수들을 자동으로 계산 할 수 있으나 TCD검사의 결과를 해석하기 위해서는 이러한 요소들

의 의미를 이해 해야만 한다(Fig. 3).

PSV는 좌심실이 수축 하는동안 나타나는 혈류 속도를 말하며 EDV는 좌심실 수축의 가속기(acceleration phase of systolic) 바로 직전의 최대 혈류 속도를 말한다. 평균 혈류 속도는 최고 혈류 속도 포락선(envelope)의 평균 시간이라 할 수 있으며 이를 계산하는 공식은 $V_{mean} = PSV - EDV/3 + EDV$ 이다.

systolic upstroke는 최고 혈류 속도의 초기 경사를 나타내는 말로써 이것의 경사가 완만하면 최대 혈류 속도가 나타나는 시간이 지연되며 혈관의 질환을 의심할 수 있게 된다. 예를 들어 내경 동맥의 두드러진 이상이 있을때 동측 중대뇌 동맥의 systolic upstroke의 경사는 완만해진다. 박동성(pulsatility)은 심장 펌

Artery	Acoustcal window	Depth of sample volume (mm)	Direction of flow	Spatial relationship ACA/MCA bifurcation	Mean velocity (cm/sec)	Response ipsilateral carotid compressions
MCA(M1)	Transtemporal	30-60	Toward	Same	55±12	Obliteration diminishment
ACA/MCA bifurcation	Transtemporal	55-65	Bidirectional	-	-	Identical to ACA/MCA
ACA(A1)	Transtemporal	60-80	Away	Anterior and superior	50±11	Obliteration diminishment
PCA(P1)	Transtemporal	60-70	Toward	Posterior and inferior	39±10	No change Augmentation diminishment Obliteration
PCA(P2)	Transtemporal	60-70	Away	Posterior and inferior	40±10	No change diminishment Obliteration
TICA	Transtemporal	55-65	Toward	Inferior	39±9	Obliteration reversal
OA	Transorbital	40-60	Toward	-	21±5	Obliteration
Carotid siphon	Transorbital	60-80	Away Bidirectional Toward	-	41±11 - 47±14	Obliteration reversal
VA	Transoccipital	60-90	Away	-	38±10	-
BA	Transoccipital	80-120	Away	-	41±10	-

Table 1. Summary of vessel identification criteria using freehand TCD techniques

프(heart pump)의 박동 운동의 결과로서 발생하는 최대 혈류 속도의 다양한 정도를 설명하는데 쓰이는 용어로서 PSV와 EDV가 유사할수록 박동성은 적어지고 반대로 차이가 클수록 박동성은 커진다. 박동성은 생리학적 변화, 병리적 상태, 심장 상태 등에 영향을 받게된다. 박동성은 다양한 박동지수를 사용하여 정량화 되는데 두개내 순환에 적합한 것은 Gosling 박동지수 이다. 박동지수(pulsatility index)는 다른 수치와 마찬가지로 자동으로 측정되나 이를 계산할 수 있는 공식은 $PI=PSV-EDV/V_{mean}$ 가 된다. 스펙트럼 파형의 주파수나 속도를 분석하는 스펙트럼 분포는 소음(bruits)과 잡음(murmurs)이 있을때 난류(turbulent flow)를 탐지하여 두개내 혈류의 상태를 진단하는데 도움이 된다²⁵⁾.

TCD 검사에 영향을 미치는 요인 (Affecting factors for TCD examination)

TCD 검사에 영향을 미치는 요인은 투사각(Doppler angle)과 같은 기술적요인, 검사시 환자의 자세, 그리고 나이, 성별, 헤마토크리트(hematocrit), 대사요인, 심박출등의 생리적요인 등이 있다. 이러한 TCD 검사에 영향을 미치는 요인들로 인하여 각각의 검사실과 검사자는 환자의 검사에 앞서 자신의 고유한 정상치 획득이 선행되어야 할것이다.

① 투사각(Angle of insonation)

TCD 검사시 최소 오차를 가진 혈류 속도를 측정하기 위해서는 초음파 투사 방향과 혈관이 이루는 각도가 0도에서 30도 사이여야 하는데 이는 cosine θ 가 0도일때 1이되고 30도일때 0.87이 되므로 최대 오차 범위가 15% 이내가 되기 때문이다.^{9, 47)}(Fig. 4).

② 자세(Posture)

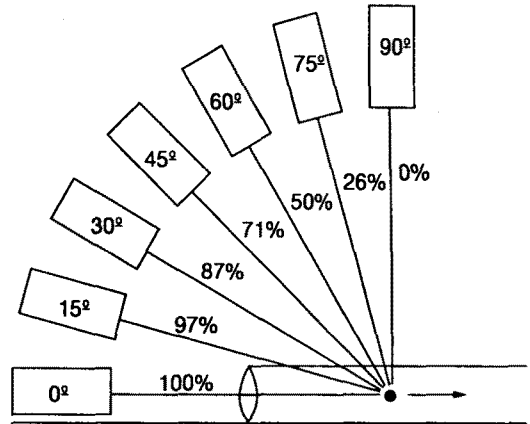


Fig. 4 Dependence of the measured Doppler frequency on the cosine of Doppler angle

검사시 환자의 자세도 혈류 속도에 영향을 미치게 되는데 Reutern은⁴⁶⁾ 총경동맥(CCA)의 검사에서 양와 위에서 기립위로의 갑작스런 자세 변화에서 일시적으로 총경동맥 파형 증가가 있었다고 보고하였고 Brunholz등²⁴⁾은 기립위 보다 누운 상태에서 측정된 중대뇌 동맥의 속도가 높았다는 연구 결과를 발표하기도 하였다.

③ 나이(Age)

중대뇌 동맥 속도는 출생 직후 24cm/sec로 매우 낮으나 그후 며칠후 부터는 빠르게 증가하여 3~6세 사이 매년 약 10cm/sec씩 증가하여 4~6세에 100cm/sec까지 증가 하다가 나이가 들어감에 따라 지속적으로 감소하게 되는데^{11, 13, 15, 18, 23, 28, 30, 32)} 보통 성인기동안 1년마다 약 0.75cm/sec씩 서서히 감소하여 70세에 이르러서는 약 40cm/sec로 감소하게 된다²⁵⁾.

④ 성별(Gender)

대체로 남성보다 여성이 약간 높은 뇌혈류를 가지는 것으로 알려져 있다^{29, 45)}. 이러한차이로 인하여 중대뇌 동맥의 혈류 속도가 여성에서 3~5% 높게 나타난다.^{28, 48)} 이상의 뇌혈류와 혈류 속도의 차이는 폐경전

(premenopausal)의 낮은 헤마토크리트 때문인 것으로 인식 되어지고 있다. Vriens등⁴⁰⁾의 연구에 의하면 나이와 함께 성별에 따른 속도의 차이는 감소하는 것으로 알려져 있다. 반면 Adams등¹⁶⁾과 Brouwers 등²³⁾은 헤마토크리트 차이가 없을때에도 젊은 여성이 젊은 남성보다 높은 속도를 가진다고 하는등 성별에 따른 속도의 차이에 관한 의견이 엇갈리고 있어 지속적인 연구가 실시될 필요가 있는 것으로 공감 되어지고 있다.

⑤ 헤마토크리트(Hematocrit; hct)

전혈중 적혈구가 차지하는 용적 비율을 헤마토크리트라고 하며 성인에 있어서 정상치는 42~45%이다⁴¹⁾. 헤마토크리트에 따른 혈류 속도의 차이가 발생함이 선행 연구의 결과에서 보고 되었는데 소아와 성인 겸상적혈구병(sickle cell disease; SCD 이하 SCD)에서 중대뇌동맥의 속도가 증가됨이 발견되었다. Brass 등²²⁾은 소아와 성인 SCD에서 중대뇌동맥의 평균 속도가 증가되고 xenon 흡입술(inhale xenon technique)로 뇌혈류가 증가되었음을 보고하였다. 뇌혈관 징후와 빈혈을 보인 성인의 평가에서 속도가 증가됨과⁴⁴⁾ 빈혈을 보이는 소아 SCD(hct=24±4%)와 정상(hct=37±4%)을 비교한 연구에서 중대뇌동맥과 다른 두개내 혈관의 평균 속도가 약 30% 정도 높은 것으로 나타났다¹⁷⁾.

⑥ 대사요인(Metabolic factors)

뇌혈류에 영향을 미치고 그에 따라 TCD 측정에 반영되는 대사요인은 산소분압(이하 pO₂)과 탄산가스 분압(이하 pCO₂) 그리고 혈류의 뇌대사 요구(cerebral metabolic demand)이다. 뇌혈류는 pO₂가 50mmHg 이하로 떨어지는 저산소증(hypoxia) 발생 전까지는 증가하지 않고 pO₂가 정상일때 영향을 받지 않는다³⁶⁾. 이러한 이유로 인해서 대부분의 TCD 검사

에서는 pO₂의 고려는 필요치 않는것으로 알려져있다. 반면 pCO₂값이 20~60mmHg 사이에서 뇌혈류와 중대뇌동맥속도가 급격히 증가하는데 Markwalder 등³⁵⁾은 이러한 pCO₂와 중대뇌동맥속도간의 관계에 관한 연구를 실시하여 pCO₂가 17~55mmHg증가함에 따라 속도가 증가한다고 하였다.

Sorteberg등은⁴²⁾ pCO₂를 40mmHg로 고정한후의 검사에서 속도가 8~12% 증가했다고 보고하였다. 휴식시 pCO₂ 개인차는 중요하지 않으나 TCD 검사에 영향을 미칠 수 있다. 그의 TCD 검사에 영향을 미치는 요인으로는 뇌 활동 상태이다. 신경원(neuron)의 활동은 대사활동을 증가 시키고 뇌혈류를 필요로 하게 된다. 뇌혈류의 연구에서 구두(verbal), 수기작업(manual tasks)등의 활동에서 뇌반구(hemispheric)의 뇌혈류가 20% 정도 증가함이 규명되었다^{29, 34)}. Dorste등²⁷⁾과 Harder등³⁾은 휴식시와 좌측 혹은 우측 뇌반구 작업(hemisphere tasks)을 실시하여 활성화된 중대뇌동맥 속도를 비교한 실험을 실시하여 좌, 우측 중대뇌동맥 속도가 2~12% 증가 되었다고 보고 하였다. 이러한 속도의증가는 일시적이거나 작업이 완전히 끝난 후에도 수초간 지속된다. 뇌 활동에 따른 속도 증가의 명확한 실험은 시자극(visual stimulation)에 따른 후대뇌동맥의 속도 변화 연구로서 시자극 후 약 20%의 속도 증가가 있었다²⁾. 그러나 대사 요인에 따른 변화는 일시적이고 변화의 폭이 적고 대부분 양측성으로 발생하므로 TCD에 의한 진단에 오류를 발생시킬 요인으로 작용하지는 않는다.

⑦ 심박출(Cardiac output)

Schregel등은⁴⁰⁾ 심장질환 환자에 운동이 미치는 영향에 관한 연구를 Swan-Ganz catheters와 TCD로 연구를 실시하였는데 연구 결과 평균 동맥압(+18%), 박동비율(+48%), 심장지수(+324%)가 증가하였고 중대뇌동맥의 속도도 소규모로 증가(+15%) 하였다고 보

고하였다. 높은 TCD속도가 각성기 동안 심박수가 증가할때 어린이에게서 발견²⁰⁾ 되었는데 이러한 변화는 일시적이였다.

TCD의 임상적용 (Clinical application of TCD)

TCD는 주로 뇌혈관의 이상 유무를 검사하기 위해 개발되었는데 뇌혈관의 협착(stenosis)이나 폐쇄(occlusion), 혈전(emboli)이나 색전(thrombsis)의 검사 뇌혈관 기형(arteriovenous malformation)의 진단, 총경동맥, 외경동맥, 내경동맥 등의 두개외 혈관(extracranial arteries) 협착이나 폐쇄의 검사, 윌리스환의 측부순환 능력(collateral capacity)검사, 허혈성 혈관 장애의 검사, 뇌졸중 환자의 반복 검사를 통한 평가, 소뇌(cerebellum)로의 혈류 공급을 담당하는 추골 동맥과 기저 동맥의 혈행 장애로 인해 발생하는 어지러움(dizziness)의 원인 감별, 기타 말초 혈관의 이상 유무의 평가 등에 이용된다.

맺 음 말

1842년 오스트리아의 물리학자 Doppler에 의해 발견된 Doppler 효과를²⁰⁾ 이용한 혈류 검사법인 TCD는 1982년 노르웨이의 과학자 Aaslid에 의한 2MHz의 탐촉자 개발의 성공으로 인하여 현대적인 의미의 TCD 기기가 등장하게 되었다¹⁾.

TCD검사는 기존의 뇌혈관 질환의 진단에 이용된 방법들에 비해 환자에게 통증없이 비침습적인 방법으로 빠르게 검사할 수 있고 반복 검사가 용이하여 현재 신경과, 신경외과 등 두개내 혈관의 진단과 치료를 담당하는 의학 영역에서 연구와 임상 적용에 그 쓰임이 활발해지고 있는 비교적 최신의 검사법이다.

TCD에 관한 기존의 연구가 두개내 혈관에 관해서는 활발한 연구가 있었으나 말초 혈관에 관한 연구는

상대적으로 매우 빈약한 실정이고 특히 국내의 물리치료학에 관한 연구에서도 TCD를 이용한 연구가 전무한 상태에 있다.

이에 저자들은 물리치료학의 연구에서 온열 치료후의 말초 혈관의 혈류 변화, 운동후의 두개내 혈관의 혈류 변화, 기타 여러 가지 물리치료법의 적용후의 혈류 변화에 관한 연구에 TCD의 이용이 유용 할것으로 생각되어 문헌 고찰을 통한 TCD 검사법의 소개와 결과의 해석에 관한 기초적인 이론을 보고하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 강만식, 남상열, 이양림, 박영철, 안태인: 동물생리학. 교학연구사, 518-520, 1994
2. 광정옥, 전세열: 현대 보건학. 효일문화사, 83-84, 1997
3. 김용주, 김원식: 기능해부학. 과학서적센타, 417-418, 1987
4. 노민희, 용준환, 이용덕, 박미경: 인체해부학. 도서출판 정담, 223-284, 1997
5. 대한 신경손상학회: 두부외상학. 고려의학, 131-133, 1996
6. 박재갑: 인간 생명과학. 서울대학교 출판부, 525, 616-617, 1993
7. 윤병우: 뇌혈역학과 뇌허혈. 98 신경과 상반기 보수교육 자료, 17-22, 1998
8. 이정수, 노민희, 용준환, 김덕훈, 김정혜: 인체생리학. 도서출판 정담, 304-305, 1996
9. 정용태: 경두개 도플러 초음파(TCD) 검사를 이용한 뇌동맥류 파열 환자의 임상적 분석. 인제의학, 제15 제1호 95-103, 1991
10. 千葉喜英: 산부인과 초음파진단. 서광의학, 260, 1995
11. Aaslid R., Markwalder T.M., Nornes H. :

- Noninvasive transcranial Doppler ultrasound of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg*, 57 : 769-774, 1982
12. Aaslid R. : Visual evoked dynamic blood flow response of the human cerebral circulation. *Stroke*, 18 : 771-775, 1987
 13. Ackerstaff R.G.A., Keunen R.W.van Pelt, A.D. Montanban van Swijndregt, T. Stijnen : Influence of biological factors on changes in mean cerebral flow velocity in normal ageing : a transcranial Doppler study. *Neurol. Res*, 12 : 187-191, 1990
 14. Adams R.J., Nichols F.T., Hess D.C., Hyder S., Stephens S., Carl E. : Transcranial Doppler ; clinical utility in the evaluation of patients with atherosclerotic cerebrovascular disease. *Neurology*, 39(suppl 1): 304,1989
 15. Adams R.J., F.T. Nichols, D.C. Hess : Normal values and physiological variables. In Newell D.W., R. Aaslid : *Transcranial Doppler* Raven, 41-48, 1992
 16. Adams R.J., Nichols F.T., Stephens S. et al : Transcranial Doppler; The influence of age and hematocrit in normal children. *J cardiovascular Ultrasonogr*, 7 : 201-205, 1988
 17. Adams R.J., Nichols F.T., Mckie V.C. et al. : Transcranial Doppler influence of hematocrit in children with sickle cell anemia with out stroke. *J Cardiovasc Ultrasonogr*, 8 : 97-101, 1989
 18. Arnold B.J., von Reutern G.M. : Transcranial Doppler sonography. Examination techniques and normal reference values. *Ultrasound Med Biol*, 12 : 115-123, 1986
 19. Ballot B. : Akustische Versuche auf der Niederlandische Eisenbahn nebst gelegentlichen Bemerkungen zur Theorie des Hrn. Prof. Doppler. *Pog Ann*, 66 : 321 - 351, 1846
 20. Bode H. : *Pediatric applications of transcranial Doppler sonography*. Vienna; Springer-Verlag, 1988
 21. Bode H., Wais U. : Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. *Arch Dis child* 63 : 606-611, 1988
 22. Brass L., Pavlakis S., DeVivo D., Piomelli S., Mohr J. : Transcranial Doppler measurements of the middle cerebral artery. Effect of hematocrit. *Stroke*, 19 : 1466-1469, 1988
 23. Brouwers P.J., E.M. Vriens, Musbach, G.H.Wienecke, A.C. van Huffelen : Transcranial pulsed Doppler measurements of blood flow in the middle cerebral artery : reference values at rest and during hyperventilation in healthy children and adolescents in relating to age and sex. *Ultrasound Med Biol*, 16 : 1-8, 1990
 24. Brunholzl Ch., H.R. Muller : Transkranielle Dopplersonographie in orthostase. *Ultra-schall*, 7 : 248-252, 1986
 25. David W. Newell, Rune Aaslid : *Transcranial Doppler*. Raven Press 1-268, 1992
 26. Doppler Ch: *Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer*

- Gestirne des Himmels. Versuch das Bradley'sche Aberration-Theorem als integrierenden Theil in sich schließenden allgemeinen Theorie. Abh.kgl.bohm.Ges. Wiss.Prag, 465-482, 1842
27. Dorste D.W., Harders A.G., Rastogi E. : Two transcranial Doppler studies on blood flow velocity in both middle cerebral arteries during rest and the performance of cognitive tasks. *Neuropsychologia*, 27 : 1221-1230, 1989
 28. Grolimund R., R.W. Seiler : Age dependence of the flow velocity in the basal cerebral arteries—a transcranial Doppler ultrasound. *Ultrasound Med Biol*, 14 : 191-198, 1988
 29. Gur R.C., Gur R.E., Brist W.D., Skolnick B.E., Reivich M. : Age and regional cerebral blood flow at rest and during cognitive activity. *Arch Gen Psychiatry*, 44 : 617-621, 1987
 30. Harders A. : Neurosurgical application of transcranial Doppler sonography. Springer Vienna 1986
 31. Harders A.G., Laborde G., Droste D.W., Rastogi E. : Brain activity and blood flow velocity changes. A transcranial Doppler study. *Int J. Neurosci*, 47 : 91-102, 1989
 32. Hennerici M., W. Rautenberg, G. Sitzer, A. Schwartz : Transcranial Doppler ultrasound for the assessment of intracranial arterial flow velocity. Part I. Examination technique and normal values. *Surg Neurol*, 27 : 439-448, 1987
 33. Kaneko Z. : First steps in the development of the Doppler flowmeter. *Ultrasound Med Biol*, 12: 187-195, 1986
 34. Lassen N.A., Ingvar D.H., Shinhoj E. : Brain function and blood flow. *Sci Am*, 62-71
 35. Markwalder T.M., Grolimund P., Seiler R.W., Roth F., Aaslid R. : Dependency of blood flow velocity in the middle cerebral artery on end-tidal carbon dioxide partial pressure—a transcranial ultrasound Doppler study. *J Cereb Blood Flow Metab*, 4 : 368-372, 1984
 36. Miller J.D., Bell A.B. : Cerebral blood flow variation with perfusion pressure and metabolism . In: Wood J.H., ed. *Cerebral blood flow ; physiologic and clinical aspects*. McGraw-Hill, 119-130, 1987
 37. Ringelstein E.B. : A practical guide to transcranial Doppler sonography. In ; Weinberger J, ed. *Noninvasive imaging of cerebrovascular disease*. Alan R. Liss, 75-121, 1989
 38. Rosenkranz V., Langer R., Felix R. : Transkranielle Dopplersonographie norm- werte und physiologische veränderungen. *Forschr Rontgenstr*, 152 : 321-326, 1990
 39. Satomura S., Kaneko Z. : Ultrasonic blood rheograph. *Proceedings of the 3rd international Conference on Medical Electronics*, 254-258, 1960
 40. Schregel W., Sihle-Wissel M., Machraoui

- A., Reier W. : Transkranielle Doppler-sonographie und Hemodynamik. *Ultraschall*, 10 : 60-65, 1989
41. Sipos C., Popoviciu L., Popa V., Marian R. : Assessment of blood flow velocity in intracranial cerebral arteries by transcranial Doppler ultrasound. *Rev Roum Med Neurol Psychiatr*, 26 : 209-221, 1988
42. Sorteberg W., Langmoen I.A., Lindegaard K.F., Nornes H. : Side-to-side difference and day-to-day variations of transcranial Doppler parameters in normal subjects. *J ultrasound Med*, 9 : 403-409, 1990
43. Spencer M.P., Whisler D. : Transorbital Doppler diagnosis of intracranial arterial stenosis. *Stroke*, 17 : 916-921, 1986
44. Thie A., Fuhlendorf A, Spitzer K, Kunze K. : Transcranial Doppler evaluation of common and classic migraine. Part I. ultrasonic features during the headache-free period. *Headache*, 30 : 201 - 208, 1990
45. Thomas D.J., Marshall J., Ross Russell R.W., et al. : Effects of hematocrit on cerebral blood flow in man. *Lancet*, 2 : 941-943, 1987
46. von Reutern G.M. : Pathologische Strompulsformen hirnersorgender Arterien. Ihre Bedeutung für die dopplersonographische Diagnostik zerebrovaskulärer Erkrankungen. Thesis submitted for the certificate of habilitation. Freiburg i. Br. 1977
47. von Reutern G.M., von Budingen H.J. : *Ultrasound diagnosis of cerebrovascular disease*. Thieme Medical Publishers, Inc, 1-370, 1993
48. Vriens E.M., Kraaier V., Musbach M., Wieneke G.H., van Huffelen A.C. : Transcranial pulsed Doppler measurements of blood velocity in the middle cerebral artery; reference values at rest and during hyperventilation in healthy volunteers in relation to age and sex. *Ultrasound Med Biol* 15 : 1-8, 1989
49. Zanette E.M., Fieschi C., Bozzao L., et al. : Comparison of cerebral angiography and transcranial Doppler sonography in acute stroke. *Stroke*, 20 : 899-903, 1989