

동시에 측정한 기저동맥과 중대뇌동맥의 이산화탄소 반응성: Power M-mode 도플러와 전-후 탐침 고정장치의 이용

아주대학교 의과대학 신경과학교실, 아주대학교병원 의용공학팀^a

홍지만 신동훈 허균 주인수 신상건 이승남^a

Simultaneously Measured CO₂ Reactivity in the Basilar and Middle Cerebral Artery: The Utilization of Power M-mode Doppler and Anterior-posterior Probes Fixating Device

Ji Man Hong, M.D., Dong Hoon Shin, M.D., Kyoon Huh, M.D., In Soo Joo, M.D., Sang Kun Sin, M.D., Seung Nam Lee^a

Department of Neurology, Ajou University School of Medicine, Suwon; Medical Engineering Team of Ajou University Hospital^a, Suwon, Korea

Background: Studies using a transcranial Doppler (TCD) to establish cerebral vasoreactivity (CVR) have mostly focused on the anterior circulation. The purpose of this study is not only to evaluate the feasibility of the power motion mode Doppler (PMD) with a probes fixating device, but also to simultaneously measure the CVR between the middle cerebral artery (MCA) and the basilar artery (BA) during hypercapnea simulated by the rebreathing technique.

Methods: Twenty eight healthy volunteers were enrolled. Baseline hemodynamic values (heart rate, blood pressure) were measured while volunteers sat in a comfortable position for 5 minutes. The TCD was performed in two steps. First, velocities and spectra of the MCAs were simultaneously monitored. Then, the velocities and spectra of the MCA and BA were simultaneously monitored by a headset that included an anterior-posterior probes fixating device. The equation for CVR was $(\text{maximum mean velocity} - \text{baseline mean velocity}) \times 100 / \text{baseline mean velocity}$.

Results: Baseline mean velocities were revealed as follows: $(64.0 \pm 13.7, 65.0 \pm 11.9 \text{ cm/s}$ in right and left MCA; $p > 0.05$; $67.3 \pm 12.2, -45.3 \pm 7.6 \text{ cm/s}$ in dominant MCA and BA). CVR did not differ between the dominant MCA and the BA ($46.1 \pm 12.1, 46.0 \pm 15.1\%$; $p > 0.05$), nor between the right and left MCAs ($46.9 \pm 15.2, 46.4 \pm 14.8\%$; $p > 0.05$). There was a positive linear correlation between the CVR of the dominant MCA and that of the BA ($r = 0.856$; $p < 0.001$).

Conclusions: PMD with a probes fixating device for accurate insonation is a useful tool for evaluating the relative CVR between the MCA and BA. Our study suggests that CVR values of the BA are similar to those of the MCA. J Korean Neurol Assoc 25(1):75-80, 2007

Key Words: Cerebral autoregulation, Cerebral vasoreactivity, Transcranial doppler, Basilar artery

Received August 1, 2006 Accepted November 3, 2006

* Ji Man Hong, M.D.

Department of Neurology, Ajou University School of Medicine
San 5 Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, 442-749, Korea
Tel: +82-31-219-5175 Fax: +82-31-219-5178
E-mail: dacda@hanmail.net

서 론

대뇌자동조절(cerebral autoregulation)이란 혈압이나 뇌관류압의 광범위한 변화에 대해 뇌혈류량을 일정하게 유지시키는 능력이다.^{1,2} 저항동맥으로 알려진 소동맥(arteriole)의 직경을

변화시킴으로써 대뇌자동조절이 조절되고 있고 가장 영향이 높은 자극 인자는 이산화탄소(CO₂)이다. 이산화탄소 반응성(CO₂ reactivity)이란 이산화탄소의 자극에 대해 뇌혈류량(Cerebrovascular Flow, CBF)의 변화 정도를 의미한다.³

뇌혈류 초음파(transcranial Doppler, TCD)는 환자에게 쉽게 적용이 가능하고 인체에 특별한 해가 없는 검사법으로 CBF와 직접적으로 관계가 있는 대뇌 기저부 동맥들의 속도나 파형을 실시간으로 측정할 수 있는 기구이다.² 일반적으로 TCD는 CO₂의 상승에 따른 대뇌기저동맥들의 평균속도의 변화로 혈관운동반응성(vasomotor reactivity, VMR)을 측정하고 있다.⁴ 대뇌자동조절이 정상적으로 작동하지 않으면 이산화탄소 반응성 역시 정상보다 떨어지는 것으로 알려졌다. 대뇌 기저부위의 대형 동맥이 CO₂ 자극에 대해 일정하거나 거의 변화가 없기 때문에^{5,6} 혈류속도가 CBF와 비례하는 것을 이용하여 대뇌자동조절능력을 간접적으로 평가한다.

현재까지 TCD를 이용한 대뇌자동조절을 평가하기 위한 혈관운동반응성에 대한 검사는 소수의 보고를 제외하고는 대부분 전 순환계에 국한되어 있었다. 기존에 보고된 후 순환계의 대뇌 자동조절에 대한 연구들도 다음과 같은 제한점이 있었다.⁷⁻¹¹ 첫째, 중대뇌동맥과 기저동맥을 동시에 측정하더라도 후두하창에서는 탐지자를 고정하는 장치가 없기 때문에 CO₂ 자극에 대해 짧은 시간 동안 변화하는 파형을 지속적으로 얻어내는 것이

기술적으로 어려웠다. 둘째, TCD를 이용하여 측정된 VMR의 특성상 CO₂농도, 혈압, 흉곽 내 압력 등이 그 평균 속도에 영향을 많이 줄 수 있으므로³ 개개인에서 전-후 순환계의 정확한 비교를 하려면 각각을 동시에 측정하는 것이 매우 중요함에도 불구하고 이에 대한 연구가 미미하였다.

대뇌의 기능을 연구하는 대부분의 영상도구들은(MRI, SPECT, PET) 뛰어난 해상도로 영상을 얻을 수 있지만, 실시간으로 변화하는 이산화탄소 자극에 대해 연속적으로 영상을 표현하기 어렵다. 한편, 저자들은 최근에 개발된 정확하고 빠른 실시간의 파형분석(spectral analysis)을 가능케 하는 Transcranial power motion mode Doppler (PMD)를 이용하고, 후두하창에서 잡은 파형을 그대로 보존하고 탐침의 위치를 지속적으로 변화시키지 않는 고정장치를 개발한다면 기존 TCD의 문제점들을 상당히 해결할 수 있다고 생각하였다. 즉, 전-후 순환계의 정확한 혈관운동 반응성을 여러 혈관에서 동시에 측정할 수 있는 방법을 고안하는 것은 TCD의 장점을 극대화시킬 수 있어 기존의 영상도구들과 차별될 수 있다. 이는 전-후 혈관반응이 서로 다를 것으로 예상되는 뇌졸중 및 전조가 있거나 전조가 없는 편두통, 고혈압성 뇌병증, 졸도 등의 다양한 혈관 반응성 연구에서 그 기전을 이해하도록 도움을 줄 수 있다.

저자들은 PMD기능이 있는 TCD 장치와 자체 개발한 후두부 탐침 고정장치를 이용하여 재연성이 뛰어나고 쉽게 적용할 수

Table 1. Demographic characteristics and baseline hemodynamic values in enrolled healthy volunteers (n=28)

	Healthy volunteers (n=28)	p-value
General Demographic Characteristics		
Age, y	30.4±5.6	
Female, (%)	20 (71.4)	
SBP, mm Hg	108±6.9	
DBP, mm Hg	65.1±5.3	
HR, bpm	69.4±9.3	
Baseline TCD findings		
R MCA V	64.0±13.7	0.634*
L MCA V	65.0±11.9	
D MCA V	67.3±12.2	
BA V	45.3±7.6	
Cerebrovascular reactivity, % [(MFVmax -MFVbase)/MFVbase×100]		
R MCA CVR	46.9±15.1	0.779*
L MCA CVR	46.4±14.8	
D MCA CVR	46.1±12.1	0.942*
BA CVR	46.0±15.1	
Decrement of CVR	35.6±6.9	
Vasomotor Reserve	81.1±14.5	

SBP; systolic blood pressure, DBP; diastolic blood pressure, HR; heart rate, V; velocity, L; left, R; right, D; dominant, MCA; middle cerebral artery, BA; basilar artery, CVR; cerebrovascular reactivity

*p>0.05 by paired t-test

있는 “재호흡법”으로 고 이산화탄소 자극을 만들고, 건강한 지원자 대뇌의 전-후 순환계의 CVR을 측정하여 CVR의 특성과 전-후 혈관계에서의 상관관계를 알아보고자 하였다.

대상과 방법

1. 대상

2006년 5월부터 2006년 8월까지 아주대학교 병원에 근무하고 있는 의료기관 종사자나 의과대학 학생 중에서 현재까지 건강검진에서 특별한 과거 병력이나 두통 및 어지러움 증상이 없으며 현재 약물을 복용하지 않는 건강한 남녀 28명을 대상으로 혈관반응검사를 시행하였다. 참여한 모든 사람은 본 연구에 대한 설명을 듣고 연구 동의서에 승낙을 한 지원자들이었다. 지원자의 특성은 표 1에 기술하였다.

2. 방법

탐침 고정장치는 저자들이 본원 응용공학팀과 함께 자체 제작하였다(Fig. 1-A). Power motion-mode transcranial Doppler는 PMD 100 M (Spencer Technologies, Seattle, WA) 모델을 사용하였다. 2-MHz 탐침 하나가 동시에 M-mode와 spectral TCD display에 사용된다. M-mode 영상(multi-depth flow display)은 평균 속도에 의해 다가오는 파는 빨간색으로, 멀어지는 파는 파란색으로 구성되고 반사된 초음파의 양에 따라 더욱 밝게 빛이 난다. 또한, 일반적인 TCD 영상(single-depth waveform display)이 동시에 같은 화면에 기록된다(Fig. 1-B).¹² 검사 전 정상호흡 상태를 유지하고 맥박이 안정되는 시점을 위해 조용하고 밝은 외부 빛이 차단되는 TCD 검사실에서 5분 동안 의자에 편안하게 앉아있는 상태에서 혈압과 맥박을 측정하였다. 또한 검사자가 검사를 중단해야 하는 맥박수치를 정하기 위해 측정된 기저치 맥박에 1.1배를 곱하여 이를 계산하였다. TCD 검사는 2단계로 진행하였다. 1단계 검사: 측두창 고정 장치를 이용하여 양측 측두창을 통하여 55-62 mm 깊이에 M-mode 창에서 빨간색 파에서 가장 강하게 빛나는 깊이를 선택하여 spectral Doppler mode를 사용하여 중대뇌동맥의 혈류신호를 측정하여 CBF 평균속도를 기저수치(Vbase)로 하였다. 검사 전, 검사자는 환자에게 마스크 밀착에 대해 충분히 설명하고 방법을 직접 보여주었고, 3 L 비닐 Bag으로 재호흡법을 이용하여 환자에게 분당 15회의 속도로 숨을 쉬게 하였다. 검사자는 재호흡 도중 환자의 CBF 속도가 더 이상 상승하지 않거나, CBFV가 상승하면서 맥박수가 기저치

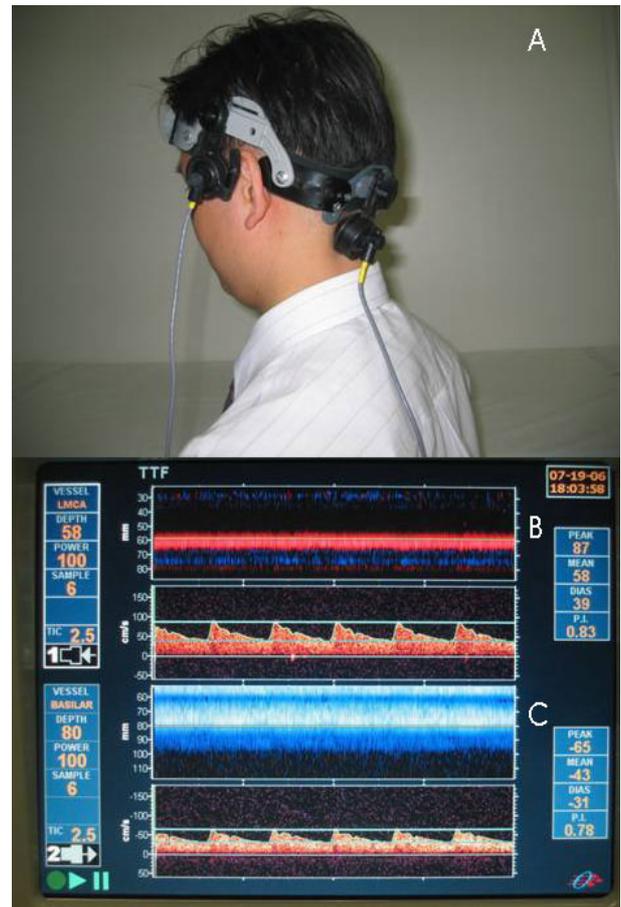


Figure 1. Simultaneous insonation of the left MCA and BA (A), and their displays (B). Specific headset is applied (A). One power M-mode represents the entire signal through the left temporal window and the yellow line point out the depth of 58 mm of the left MCA, and spectral Doppler display shows flow signal from the left proximal MCA (B). Another power M-mode represents the entire signal through the posterior occipital window and the yellow line point out the depth of 80 mm of the BA, and spectral Doppler display shows flow signal from the proximal BA (C).

보다 10% 이상 상승하면 검사를 종료하였고, CBF 속도가 상승하면서 환자가 더 이상 견디지 못하고 숨을 쉬고 있던 마스크를 치면 검사를 종료하였으며 그 지점의 CBF 평균속도를 최대수치(Vmax)로 하였다. 2단계 검사: 1단계 검사의 종료 후, 측두창의 평균속도가 1단계 검사의 기저수치와 비슷한 정도까지 회복된 것을 확인하고 나서 2단계 검사를 시행하였다. 1단계 검사 시 양측 측두창 중에서 파형이 잘 잡힌 편을 측두창에 남기고 다른 탐침자를 후두하창에 있는 고정장치 고리에 걸고 M-mode창에서 75-85 mm 사이의 파란색 파에서 빛이 가장 강하게 나타나는 깊이를 선택한 후 spectral Doppler mode에

나오는 기저동맥의 혈류 신호를 연속 측정하며 1단계 검사와 같은 방법으로 CBFV 최대수치를 구했다(Fig. 1-B2). 재호흡법을 적용하기 전과 후의 평균 뇌혈류 속도로부터 평균 뇌혈류 속도 변화비를 다음과 같은 방법 $[(MFV_{max}-MFV_{baseline}/MFV_{baseline})\times 100]$ 으로 계산하여^{8,13,14} CVR 상승률을 측정하고 이를 뇌 혈관반응성(cerebrovascular reactivity, CVR) 지표로 이용하였다. 재호흡을 종료한 시간인 Vmax가 구해진 시간은 평균 64.2±13.3초였고 맥박의 증가율은 7.8±3.1%였다. 저 이산화탄소 자극에 대한 혈관 반응성을 보기 위하여 분당 60회의 속도로 과호흡을 30초간 시행하면서 우성 측두창에서 TCD를 시행하였다. 평균 뇌혈류 속도의 변화비를 다음과 같은 방법 $[(MFV_{baseline}-MFV_{max})/MFV_{baseline}]\times 100]$ 으로 CVR 하강률을 계산하였다. 총 대뇌 혈관운동 예비력(Vasomotor reserve)은 CVR 상승률과 하강률의 합으로 계산하였다.^{9,13}

3. 통계 방법

통계분석은 SPSS 12.0 version을 사용하였고 혈관 반응성의 비교를 위해 짝지은 t-test를 시행하였고 좌 우 및 전 후 순환계 혈관 반응성을 비교하기 위해 짝지은 t-test를 사용하였다. 또한 전 후 반응성의 상관관계를 알아보기 위해 피어슨 상관분석을 시행하였으며 상관지수는 r로 표현하였다. p-value가 0.05 미만일 때 유의성이 있는 것으로 평가하였다.

결 과

총 28명의 지원자가 모집되었으며 나이는 30.4±5.6세였고 여성이 20명으로 전체의 71%를 차지하였다. 검사 전, 지원자의 혈액학적 수치는 수축기 혈압 108.3±6.9 mmHg, 이완기 혈압 65.4±5.1 mmHg, 심박동수 69.2±9.8 회/분이었다. TCD검사 기저수치는 우측 중대뇌동맥 평균속도 64.0±13.7 cm/s, 좌측 중대뇌동맥 평균속도 65.0±11.9 cm/s, 우성 중대뇌동맥 평균속도 67.3±12.2 cm/s, 기저동맥 평균속도 -45.3±7.6 cm/s였다. 좌-우 중대뇌동맥의 평균속도는 통계적으로 차이가 없었다($p>0.05$, paired t-test). 고 이산화탄소 자극에 대한 CVR으로 우측중대뇌동맥 46.9±15.1%, 좌측중대뇌동맥 46.4±14.8%, 우성중대뇌동맥 46.1±12.1%, 기저동맥 46.0±15.1%가 기저수치에 비해 증가되었다(Table 1). 좌 우, 전 후의 CVR은 통계적으로 차이가 없었다($p>0.05$, paired t-test). 저 이산화탄소에 대한 자극으로 CVR 하강률을 측정하였고 이는 35.6±6.9%였으며 혈관운동성 예비력은 기저치 평균속도의

81.1±14.5%이었다. 우성 중대뇌동맥과 기저동맥 간의 혈관반응성의 상관관계를 평가하기 위해 시행한 피어슨 상관관계분석에서 우성중대뇌동맥과 기저동맥의 CVR은 통계적으로 의미 있는 양적 선형관계를 보였다($r=0.859$, $p<0.001$; Fig. 2).

고 찰

본 연구의 결과는 다음과 같다. 1) 정상성인에서 전 후 순환계의 과 이산화탄소 자극에 대한 혈관반응은 그 평균수치가 서로 비슷하다. 2) 과 이산화탄소 자극에 대한 전 후 순환계의 CVR은 매우 높은 양적 선형관계를 보인다. 이 결과는 현재까지 동시에 혹은 따로 검사한 전 후 순환계의 혈관 반응성 결과들과 일치하는 소견이었다.⁷⁻¹⁰ 하지만 기존의 연구는 각각의 혈관반응검사서 전 후 순환계의 반응 정도의 평균이 서로 동일하다는 결과였고 개개인의 검사에서 전-후 순환계 반응의 상관관계까지를 보여준 연구는 없었다.

본 연구에서 저자들이 사용한 방법은 최근에 개발이 되어 파형의 road map 역할을 하는 PMD와 후두하창에서 탐침 고정장치를 이용함으로써 기저동맥의 정확하고 지속적인 파형 기록을 가능케 했다는 점이다. 따라서 이러한 점은 실시간으로 변화하는 파형의 속도를 측정할 수 있는 TCD의 장점을 극대화시킬 수 있다는 점에서 본 검사의 신뢰성을 높일 수 있는 매우 중요한

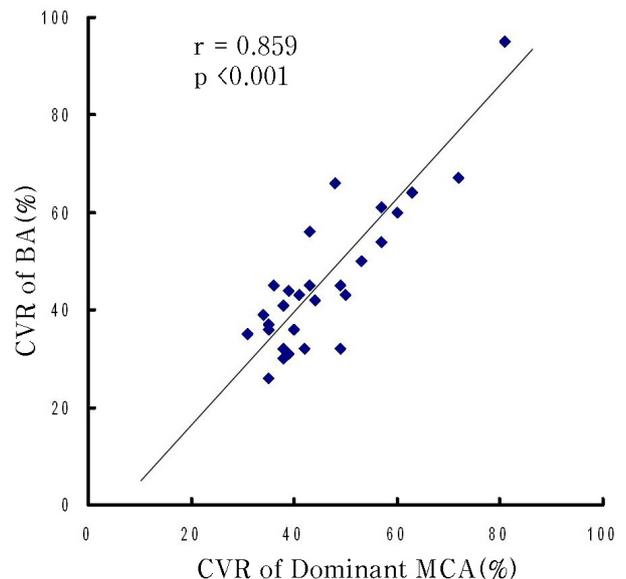


Figure 2. A scatterplot of CVR between dominant MCA and BA. The significant positive correlation between CVR of MCA and that of BA in healthy volunteers ($n=28$). Regression equation is y (CVR of BA) = $1.074 \times x$ (CVR of MCA) - 0.035, with correlation coefficient of 0.859 ($p<0.001$).

점이라고 생각된다. 실제로 동일한 동맥의 같은 깊이에서도 투사 각도나 혈관의 생리적인 차이에 의해 평균 속도의 오류가 생길 수 있기 때문에 같은 동맥에서도 약 30% 이내의 차이는 정상으로 해석하고 있다.¹⁵ 현재까지 정확한 TCD의 파형 투사는 검사자가 Doppler mode에서 파형의 모양을 보고 판단하는 것 외에는 다른 방법이 없었다. 고식적 TCD검사에서는 같은 혈관 내에서 순간적인 속도의 변화가 없기 때문에 검사자는 탐침자의 위치가 변화하여도 화면의 파형 모양을 보고서 탐침의 위치를 적절하게 움직여서 정확한 파형을 측정하였다. 하지만 혈관 반응성 검사에서는 순간적인 이산화탄소 변화에 대한 반응을 보는 것이기 때문에 이산화탄소의 농도에 따라 평균속도가 변화하는 동안 검사자가 해당 혈관의 파형을 놓치는 순간에 측정하는 변수가 순식간에 달라지므로 실제적인 전 후 혈관계 사이의 반응성을 비교하기가 어렵다. 이러한 이유로 기존의 연구에서는 기저동맥의 고정장치 대신에 검사자가 손으로 탐침을 잡고 검사를 하면서 파형의 시간 평균법(time-average) 등을 사용하였다.^{9,11} 그러나 이 방법도 기저수치를 정하는 방법으로는 유용하지만 실시간으로 변하는 이산화탄소에 대한 혈관 반응성을 확인하는 것에는 한계가 있었다. 이러한 기술적인 문제 때문에 현재까지는 상용화된 고정장치가 있는 전 순환계에서 대부분의 혈관 반응성 연구가 이루어졌고 후 순환계에서 연구는 소수였다. 따라서 기존 후두하창에서의 주요 문제였던 정확한 도플러 투사(insonation)와 지속적인 고정이 어려웠던 기술적인 면을 해결했다는 점이 본 연구의 첫번째 의의로 사료된다.

본 연구에서 고 이산화탄소의 자극방법으로 재호흡법을 이용하였다. 이 방법을 이용한 한 연구에서는 초기수치보다 맥박은 4.6 ± 7.8 회가 상승하고 혈압은 CO_2 가 10 mmHg가 변할 때 5.5 ± 5.0 mmHg가 변했다.³ 즉, 재호흡법은 체내 이산화탄소를 올리는 방법으로는 이산화탄소 흡입법 등에 비해 장비가 적게 쓰이고 편리하며 생체활력 징후들을 많이 변화시키지 않기 때문에 생리적이다.¹⁶ 하지만 이 방법도 일반적으로 약 1-5분간의 이산화탄소 흡입시간이 필요하다. 따라서 기저동맥의 CVR을 측정할 소수의 연구들에서도 위에서 언급한 후두하창의 지속적인 탐침 고정의 문제를 극복하기 위해 짧은 시간 동안에 검사를 할 수 있는 breath-holding 방법이 주로 사용되었다.^{9,11} 하지만 이 방법은 호흡이 멈추어진 동안에 흉곽 내 압력 등에 따라서 상이한 결과가 나올 수 있고 비교적 오랫동안(약 30초 이상) 숨을 멈추고 있어야 하며 검사의 재현성이 다소 떨어지는 것으로 알려져 있다.¹⁷ 또한 이 방법의 정상수치가 외국 연구에서는 1.2 ± 0.6 , 국내 연구에서는 1.47 ± 0.6 로 알려졌다.^{16,18} 즉, 이는 정상수치의 절반정도가 표준편차이기 때문에 검사의 특이도(specificity)가 높지 않다는 것을 알 수 있다. 저자들은 검사의

수월성을 위해 재호흡법에서 5% 이산화탄소를 흡입하는 대신에 기존의 방법인 5 L 비닐백을 사용하던 방법에서 보다 작은 3 L 비닐백을 사용하고 검사의 수월성을 위해 대기(room air) 공기를 사용하였다. 그 결과 매우 쉽게 고 이산화탄소 자극을 비교적 빠른 시간(평균 64초)에 얻을 수 있었다. 검사도중 마스크의 밀착문제를 없애기 위해 사전에 충분히 교육을 한 결과, 만족할 만한 고 이산화탄소 자극을 줄 수가 있었고 혈관반응검사의 표준화검사인 이산화탄소 흡입법으로 시행한 Ringelstein 등의 결과와 거의 상응하는 정도인 90%까지 평균속도가 상승하는 것을 확인할 수 있었고(52% 대 47%), 하강 수치를 합한 혈관반응 예비능력(VMR)은 이 연구 결과의 95% (81% 대 85%)를 보였다.¹³ 수치가 다소 낮게 나온 이유는 본 연구가 정량적인 연구가 아니고 전 후 혈관반응에 대한 상대적인 비율을 보는 점에 주로 집중하였기 때문으로 방법상 혈압이나 맥박 등에 영향을 적게 주기 위하여 맥박의 상승을 10%까지 제한하여 검사를 중단하였기 때문으로 사료된다.

본 검사는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 검사 도중 속도가 더 이상 올라가지 않는 점을 V_{max} 로 하여 측정을 하여 V_{max} 의 정량화를 하려 했지만 PaCO_2 를 정확하게 측정할 수 있는 capnometer를 사용하지 않아 정확한 정량화 검사라고 할 수 없다. 따라서 향후 capnometer를 통한 정확한 CO_2 변화량에 대한 CVR 수치를 이용하여, 본 검사법이 정량화 검사법이 될 수가 있고 상대적인 대뇌의 혈관 반응을 측정하는 Acetazolamide법 등을 보조하는 정량적 방법으로 발전될 수 있음을 시사한다. 둘째, 본 연구의 결과는 마스크의 착용 정도에 따라 이산화탄소 자극의 정도가 달라질 수 있으므로 검사자가 환자에게 미리 이를 교육하고 환자가 협조하는 것이 중요하며, 잘못된 마스크 착용을 빨리 발견해 내는 것이 중요하다. 즉, 마스크 착용이 잘못된다면 과 이산화탄소 자극이 제대로 주어지지 않으면서 재호흡으로 숨을 쉬는 시간이 길어지고 이에 따른 불필요한 고감신경톤의 활성화로 상이한 결과를 나타낼 수 있다. 본 연구에서도 맥박수의 증가 때문에 검사가 중단되어서 다시 마스크 착용하고 재검사를 했던 경우가 전체의 18%(5명)이었다. 따라서 초기의 맥박의 110%를 검사 중단의 수치로 사용하는 것은 이러한 마스크 착용의 부적절함을 미리 알아내는 중요한 선별법이었다고 생각된다. 셋째, 본 검사 역시 TCD의 단점 중에 하나인 측두창이 좋지 않은 환자에서는 전 후 순환계 CO_2 혈관반응을 측정할 수가 없다. 따라서 일반적으로 측두창이 좋지 않은 나이가 많은 동양여성에서는 상기 방법이 제한적인 방법일 수도 있다. 하지만 본 연구에서는 젊고 건강한 지원자들이었기 때문에 불량 측두창의 문제 때문에 검사에서 제외된 경우는 없었다. 본 연구가 주로 젊은 여성이 많이 포함된 28명의

소수로 CVR을 측정하였기 때문에, 향후 보다 다양한 연령과 성별에서 광범위한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 마지막으로, TCD는 측정하여 얻을 수 있는 혈관의 수가 매우 제한적이지만 본 검사는 2단계로 이루어진 좌우 및 전후의 혈관 반응성을 다양하게 측정할 수 있어 전후 순환계 및 좌우 순환계의 혈관반응성의 차이를 보이는 질환들에서 본 검사법이 유용할 것으로 사료된다.

결론적으로, 건강한 성인의 PMD와 전후 탐침 고정장치를 이용하여 측정한 증대뇌동맥과 기저동맥의 이산화탄소의 자극에 대한 혈관 반응성은 서로 동일하며 강한 양적 선형관계가 있음을 알 수 있었다. 또한, 본 검사법이 여러 질환에서 상대적인 전후 혈관 반응성을 연구하는 도구가 될 수 있으며 향후 capnometer를 이용하여 CO₂ 변화수치를 정량화 한다면 대뇌의 혈관 반응성을 평가할 수 있는 간편하고 정량적인 검사방법이 될 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

본 연구수행에 있어 적극적이고 자발적인 협조를 해 주셨던 아주의과대학생, 신경과 전공의, 병동 간호사 여러분께 진심으로 감사 드립니다. 그리고 여러 어려움과 시행착오 속에서도 묵묵히 검사를 진행해 준 뇌혈류 검사실의 전미선 기사께도 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 또한 후 탐침자 고정장치의 개발에 있어 시간 외 근무까지 마다하지 않고 장치가 후두하창에 잘 고정될 수 있도록 적극적으로 협조해 주신 아주대병원의용공학팀 이승남님께도 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. Strandgaard S, Paulson OB. Cerebral autoregulation. *Stroke* 1984; 15:413-416.
2. Diehl RR. Cerebral autoregulation studies in clinical practice. *Eur J Ultrasound* 2002;16:31-36.
3. Hetzel A, Braune S, Guschlbauer B, Dohms K. CO₂ reactivity testing without blood pressure monitoring? *Stroke* 1999;30:398-401.
4. Rohrberg M, Brodhun R. Measurement of vasomotor reserve in the transcranial Doppler-CO₂ test using an ultrasound contrast agent (Levovist). *Stroke* 2001;32:1298-1303.
5. Kleiser B, Scholl D, Widder B. Doppler CO₂ and diamox test:

Decreased reliability by changes of vessel diameter? *Cerebrovasc Dis* 1995;5:397-402.

6. Schreiber SJ, Gottschalk S, Weih M, Villringer A, Valdueza JM. Assessment of blood flow velocity and diameter of the middle cerebral artery during the acetazolamide provocation test by use of transcranial Doppler sonography and MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:1207-1211.
7. Silvestrini M, Baruffaldi R, Bartolini M, Vernieri F, Lanciotti C, Matteis M, et al. Basilar and middle cerebral artery reactivity in patients with migraine. *Headache* 2004;44:29-34.
8. Barrett KM, Ackerman RH, Gahn G, Romero JM, Candia M. Basilar and middle cerebral artery reserve: a comparative study using transcranial Doppler and breath-holding techniques. *Stroke* 2001;32:2793-2796.
9. Park CW, Sturzenegger M, Douville CM, Aaslid R, Newell DW. Autoregulatory response and CO₂ reactivity of the basilar artery. *Stroke* 2003;34:34-39.
10. Rozet I, Vavilala MS, Lindley AM, Visco E, Treggiari M, Lam AM. Cerebral autoregulation and CO₂ reactivity in anterior and posterior cerebral circulation during sevoflurane anesthesia. *Anesth Analg* 2006;102:560-564.
11. Park T, Park SH, Yoon YC, Kwon OS. Vasomotor reactivity of the basilar artery in patients with occlusive vascular diseases in the anterior circulation. *J Korean Neurol Assoc* 2006;24:204-209.
12. Alexandrov AV, Demchuk AM, Burgin WS. Insonation method and diagnostic flow signatures for transcranial power motion Doppler. *J Neuroimaging* 2002;12:236-244.
13. Ringelstein EB, Sievers C, Ecker S, Schneider PA, Otis SM. Noninvasive assessment of CO₂-induced cerebral vasomotor response in normal individuals and patients with internal carotid artery occlusions. *Stroke* 1988;19:963-969.
14. Park JW, Lee YJ, Jung B, Lee KY, Kim SH, Kim HT, et al. Cerebral CO₂ vasoreactivity by transcranial Doppler with rebreathing method: comparison between ischemic stroke and normal control. *J Korean Neurol Assoc* 2004;22:440-446.
15. von Reutern GM, von Budinggen HJ. Physics and technical principles. In: von Reutern GM, von Budinggen HJ. *Ultrasound diagnosis of cerebrovascular disease*. 1st ed. Stuttgart: Thieme Medical Publishers, 1993;1-36.
16. Daffertshofer M, Functional Doppler testing. In: Hennerici MG, Meairs SP. *Cerebrovascular ultrasound: Theory, practice and future development*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 341-359.
17. Totaro R, Marini C, Baldassarre M, Carolei A. Cerebrovascular reactivity evaluated by transcranial Doppler: reproducibility of different methods. *Cerebrovasc Dis* 1999;9:142-145.
18. Kim GW, Sohn YH, Lee SM, Lee JH, Kim DS, Kim JY, et al. The reference values and influencing factors of TCD measurements in 200 normal Korean adults. *J Korean Neurol Assoc* 1995;13:815-824.