

&lt;원저&gt;

## 경두개 색조 도플러 초음파검사를 이용한 대뇌동맥 파열 이후 지속적인 혈관 연속 증례 분석

지명훈·성열훈

청주대학교 보건의료대학원 방사선학과

### Case Analysis of Persistent Vasospasm after Cerebral Artery Aneurysm Rupture by Using Transcranial Color Coded Doppler Ultrasonography

Myeong-Hoon Ji·Youl-Hun Seung

Department of Radiological Science, Graduate School of Health Sciences, Cheongju University

**Abstract** In this case analysis, a patient was diagnosed with subarachnoid hemorrhage (SAH) in a 49-year-old female and showed persistent vasospasm after coil embolization in an aneurysm. The patient suffered from persistent vasospasm and performed angioplasty a total of 6 times. Transcranial color coded doppler (TCCD) was performed 12 times to monitor vasospasm. As a result, repetitive cerebral blood flow tests were low cost and safely performed without exposure to invasive radiation through the TCCD, and the repeatability and reproducibility of the test were confirmed with the capabilities of a trained professional radiological technologist.

**Key Words :** Transcranial Color Coded Doppler, Ultrasound, Cerebral Blood Flow, Vasospasm

**중심 단어 :** 경두개 색조 도플러, 초음파, 뇌혈류, 혈관 연속

## 1. 서론

뇌혈관 질환의 대부분을 차지하는 뇌졸중(Stroke)은 뇌혈관이 터져서 생기는 출혈성 뇌졸중(Hemorrhagic stroke)과 뇌혈관이 좁아져서 생기는 허혈성 뇌졸중(Ischemic stroke)으로 구분된다[1]. 특히 출혈성 뇌졸중의 원인은 동맥류 파열(Aneurysm rupture), 뇌 동정맥 혈관 기형(Cerebral arteriovenous malformation), 외상성 뇌 손상(Traumatic brain injury) 등으로 분류할 수 있다[2]. 특히 거미막밑출혈(Subarachnoid hemorrhage; SAH)은 거미막밑공간에 혈액이 고이는 질환으로 사망이나 중증 질환으로 진행되는 비율이 높고 예후가 좋지 않다[3]. SAH의 신경학적 수술 혹은 뇌출혈 치료 후에는 합병증으로 뇌혈관 연속(Cerebral vasospasm)이 발생하며 이는 환자에게 2차 허혈성 뇌졸중

을 유발할 수 있는 위험성을 갖고 있다[4]. 따라서 SAH는 응급 수술 혹은 응급 시술 이후에 환자 관리와 지속적인 뇌혈관의 모니터링이 중요한 사항이다[5].

뇌혈관의 평가를 위한 전산화단층영상(computed tomography; CT) 및 자기공명영상(magnetic resonance imaging; MRI)은 매우 우수한 평가를 받고 있지만 모니터링을 위한 반복적인 검사는 방사선 피폭이 증가하고 검사비용의 부담은 피할 수 없다[6]. 반면에 뇌혈류 초음파검사는 반복적인 검사에 의한 피폭의 부담이 없고 상대적으로 저렴한 비용으로 모니터링에 적합한 검사법이라 할 수 있다[7]. 하지만 기존의 경두개 도플러(Transcranial doppler; TCD) 초음파검사는 블라인드 검사법으로 뇌혈류를 직접 영상으로 확인이 어렵고 검사자의 경험에 의한 정성적인 검사법으로 모니터링 검사에 중요한 검사의 재현성과 반복성에

Corresponding author: Youl-Hun Seung, Department of Radiological Science, Cheongju University, 298, Daeseong-ro, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, 28503, Republic of Korea / Tel: +82-43-229-7993 / E-mail: radimage@cju.ac.kr

Received 13 February 2021; Revised 23 February 2021; Accepted 25 February 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

제한이 있다. 반면에 경두개 색조 도플러(Transcranial Color Coded Doppler; TCCD) 초음파검사는 뇌혈관과 뇌혈류를 색조 도플러로 영상화할 수 있고, 동일한 위치에 반복적으로 혈류 측정이 가능해 모니터링 검사에 유용한 검사법이라 할 수 있다[8]. 뇌혈관 연속의 관찰은 장시간 반복적인 추적 검사를 해야 하기 때문에 방사선에 비침습적인 초음파검사가 유용하다고 할 수 있다. 그러나 국내에서는 색조 도플러를 이용한 TCCD 초음파검사에 의한 뇌혈관을 영상화하여 뇌혈관 연속의 추적 관찰 사례가 보고되지 않았지만, 본 증례 분석에서는 뇌혈관 연속 추적검사 횟수가 일반적인 사례보다 상대적으로 많아 TCCD 초음파검사의 유용성을 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 대뇌동맥류 파열에 의한 SAH로 응급 대뇌동맥류 코일 색전술을 시행하고, 지속적인 혈관 연속으로 2주 동안 6회의 혈관 성형술한 환자를 총 12회 TCCD 초음파검사로 모니터링한 1례를 보고하고자 하였다.

## II. 증례 분석

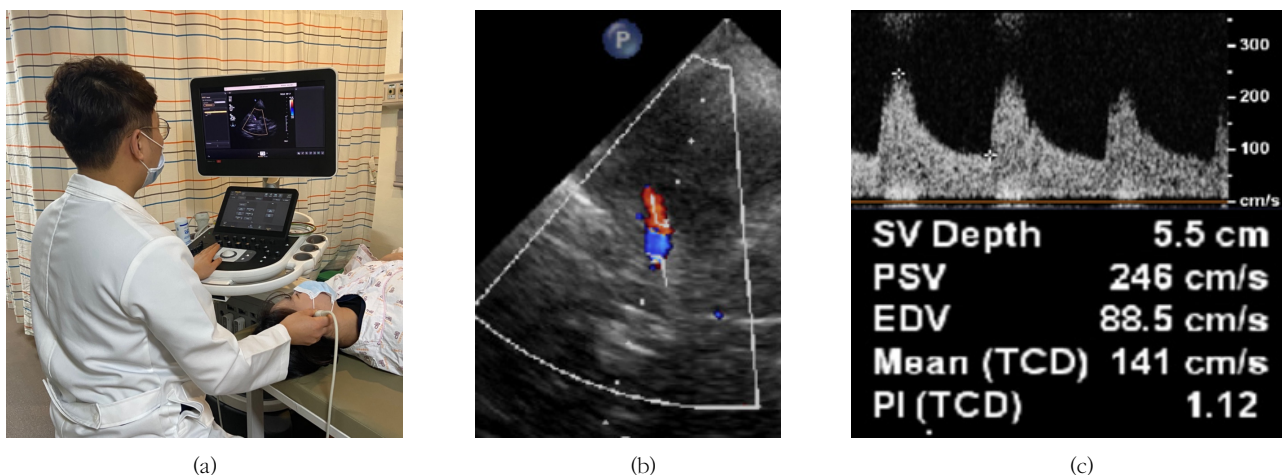
### 1. 증례 대상

대상은 49세 여자 환자로서 증상은 당일 아침부터 두통(Headache)과 실어증(Aphasia)을 호소하여 응급실로 내원하였으나 현장 도착 시 신체 반응이 없었고 안구 편위(Eye ball deviation)가 있었다. 내원 당시 혈압은 190/110 mmHg, 분당 맥박수는 98회, 체온은 36.8°, 호흡수는 분당 16회, 산소 포화도는 95%이었다.

### 2. TCCD 초음파검사 방법

TCCD 초음파검사는 국제 혈관 초음파 자격증(Registred Vascular Technologist; RVT)을 취득하고 임상 경험이 10년 이상인 방사선사 한 명이 검사하고 최종 주치의의 확인을 받았다. 사용된 초음파 기기는 심혈관 전용 초음파(Affiniti 70c, Philips, USA)와 주파수가 1.6 ~ 3.2 MHz 인 위상 배열 탐촉자(S5-1, Philips, USA)를 사용하여 검사하였다. TCCD 초음파검사 방법은 환자 자세 설정, 음향창 부위 선택, 혈관 탐색, 혈류 측정 순으로 진행하였다. 환자 자세는 Fig. 1(a)과 같이 검사자 앞에 두부(Head)를 위치시키고 양와위(Supine) 자세를 취한다. 음향창 선택은 환자의 측두골(Temporal bone)의 가장 얇은 부위인 비늘 부위(Squamous portion)를 선택하였다. 혈관 탐색은 좌, 우 중 대뇌동맥(middle cerebral artery; MCA)을 Fig 1(b)과 같이 색조 도플러를 사용하여 혈관의 위치와 방향을 확인하였다.

이때 MCA는 내경동맥(Internal carotid artery; ICA)에서 분지되어 측두골 방향으로 수평 주행하는 혈관(M1)을 대상으로 하였다. 혈류 측정은 펄스 파형 도플러(Pulsed wave doppler; PW)의 샘플 볼륨(Sample volume) 기능을 이용하여 MCA M1의 원위부, 중간부, 근위부에 해당하는 깊이(depth)를 조절하였다. MCA M1의 원위부는 3.8 cm ~ 4.2 cm, 중간부는 약 5 cm, 근위부는 약 6 cm 이상의 깊이를 가진다. 이처럼 측정하고자 하는 깊이에 샘플 볼륨을 위치시킨 뒤 도플러 스펙트럼(Doppler spectrum)을 획득한다. 도플러 스펙트럼은 탐촉자의 초음파 빔과 혈류 방향 사이의 도플러 각도(Doppler angle)가 0°에 가까울수록 정확하다. 도플러 각도는 아래 식(1)과 같이 코사인(cosines)값



**Fig. 1.** (a) TCCD patient position and examiner position (b) color doppler and sample volume in pulsed wave doppler (c) doppler spectrum and TCCD measurement value

으로 정의되기 때문에 90°에서는 도플러 변위가 발생하지 않는다.

$$f_{\Delta} = \frac{2 \cdot f_0 \cdot \nu \cdot \cos\theta}{c} \quad (1)$$

$f_{\Delta}$  : 도플러 변위 주파수

$f_0$  : 입사 주파수

$\nu$  : 반사체(혈관내 적혈구) 속도

$\cos\theta$  : 도플러 각도

$c$  : 매질의 음속(1,540 m/s)

TCCD 초음파검사는 혈관 주행 방향을 칼라 도플러로 확인할 수 있기 때문에 혈류의 방향에 맞게 도플러 각도 조정이 가능하다. 뇌혈류검사의 경우 혈류의 방향이 탐촉자와 직각을 유지할 수 있어 코사인값 0°를 구현할 수 있으며 음향상이 적절하지 못하여 부득이하게 도플러 각도를 조절해야 한다면 0°~60° 범위 안에서 조절해야 한다. 60° 이상으로 설정하면 혈류 측정치의 오차가 생길 수 있다. Fig. 1(c)과 같이 획득된 도플러 스펙트럼에서 파형이 가장 높은 지점을 최고 수축기 속도(Peak systolic velocity, PSV)로 측정하며 이완기말 속도(End diastolic velocity; EDV)는 다음 PSV가 형성된 파형 이전의 가장 낮은 점을 측정하여 EDV를 구한다. 평균 혈류 속도 (Mean Flow velocity; MFV)는 아래 식(2)과 같다.

$$MFV = EDV + \frac{(PSV - EDV)}{3} \quad (2)$$

SAH 치료를 위한 의도적인 고혈압 상황에서는 혈류 측정치가 전체적으로 상승되며, 이는 혈류 측정치를 기준값 이상으로 올리게 된다. 따라서 SAH 이후 증가된 뇌압과 의도적인 고혈압의 비율을 알기 위해 도입된 린데가르트 비

(Lindegarrd ratio; LDGR)를 사용하게 되었고, 이는 근위부 내경동맥(Proximal internal carotid artery)의 MFV와 MCA의 MFV의 비율을 말한다. LDGR는 3 이하이면 혈관 연속이 없는 과혈류 상태(Hyperdynamic state)라 할 수 있다[9, 10]. 또한, 혈관 연속 평가에서는 MFV가 120 cm/s 이하일 때 정상 기준으로 혈관 연속 정도를 평가할 수 있다.

### 3. 초기 TCCD 검사 및 영상의학적 검사 및 시술

환자는 Fig. 2(a), (b)와 같이 내원 직후 응급으로 시행한 뇌(brain) CT검사에서 뇌출혈을 확인하고, Fig. 2(c)와 같이 뇌혈관 조영술(Cerebral Angiography)로 전교통동맥(Anterior communicating artery, A-com)에서 기원한 동맥류 파열로 인한 SAH를 진단한 후 Fig. 2(d)와 같이 코일 색전술(Coil embolization)을 시행하였다. 입원 2일 차에 1차 시행한 TCCD 초음파검사서 Fig. 3(a)과 같이 오른쪽 중대뇌동맥의 평균 MFV는 62 cm/s이었고, 왼쪽 중대뇌동맥의 MFV는 65 cm/s이었고, LDGR은 오른쪽 1.0, 왼쪽 1.3으로 정상 범위의 혈류 속도를 보였다. 코일 색전술 이후 시행한 1차 Brain CT에서는 SAH의 양은 영상학적으로 줄어들지 않았다. 입원 4일 차에 2차 시행한 Brain CT에서는 SAH의 양은 영상학적으로 소량 줄어들었다. 2차 시행한 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥의 MFV는 107 cm/s이었고 왼쪽 중대뇌동맥의 MFV는 155 cm/s이었으며, LDGR가 오른쪽 1.7, 왼쪽 2.2로 증가된 혈류속도가 측정되었다.

### 4. 중기 TCCD 초음파검사

입원 5일 차에 시행한 3차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대 뇌동맥 MFV는 123 cm/s, 왼쪽 중대 뇌동맥의 MFV는 131 cm/s이었으며, LDGR은 오른쪽 1.7, 왼쪽 2.1로 지



Fig. 2. First radiological examination of the case patient (a) cerebral hemorrhage CT axial image (b) cerebral hemorrhage CT coronal image (c) cerebral aneurysm found in transfemoral cerebral angiography (red arrow) (d) cerebral artery aneurysm after coil embolization (red arrow)

속적인 혈류 속도 증가로 1차 혈관 성형술(Angioplasty)을 동맥 내 혈관 확장제 투여(Intra arterial vasodilator administration)로 시행하였다. 입원 6일 차에 시행한 4차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 136 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥의 MFV는 151 cm/s이었으며, LDGR은 오른쪽 2.0 왼쪽 2.1로 혈관 성형술 이후 큰 변화가 없었다. 입원 7일 차에 시행한 5차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 136 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV는 142 cm/s이었고, LDGR은 오른쪽은 2.5, 왼쪽은 2.8로 혈류속도는 이전 검사와 큰 차이가 없었지만 LDGR이 높아졌으며, 혈관 연축이 의심되어 2차 TFCA를 시행하였다. 2차 TFCA 상 혈관 연축이 확인되어 2차 혈관 성형술을 시행하였다. 입원 8일 차에 시행한 6차 TCCD 초음파검사서 Fig. 3(b)과 같이 1차 TCCD 검사보다 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 141 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV는 140cm/s, LDGR 오른쪽 2.5, 왼쪽 2.8로 증가되었고, 혈관 연축이 의심되어 당일 3차 혈관 성형술을 시행하였다. 입원 9일 차에 오전에 시행한 7차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 96 cm/s 왼쪽 중대뇌동맥 MFV는 83 cm/s이었고, LDGR은 오른쪽 2.0, 왼쪽 1.8로 이전 검사에 비해 혈류속도가 감소하였다. 당일 오후에 시행한 8차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 139 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV는 120 cm/s이었으며, LDGR은 오른쪽 2.2, 왼쪽 2.1로 이전 검사에 비해 혈류 속도가 증가하였고, 혈관 연축이 의심되었지만 자주 시행할 수 없는 중재적 검사의 특성상 환자의 상태 변화를 살피며 다음날인 입원 10일 차에 4차 TFCA를 시행하였고, 혈관 연축이 확인되어 4차 혈

관 성형술을 시행하였다. 입원 11일 차에 시행한 9차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 152 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV 168 cm/s이었으며 LDGR은 오른쪽 2.7, 왼쪽 3.4로 이전 검사에 비해 혈류속도가 증가하였다.

5. 말기 TCCD 초음파검사

입원 12일 차에 환자의 의식 저하(decreased consciousness)와 운동 능력 저하(decreased motor power)로 임상적 변화가 관찰되었고, 혈관 연축이 의심되어 즉시 시행한 10차 TCCD 초음파검사서 오른쪽 중대뇌동맥 MFV는 182 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV는 172 cm/s이었고, LDGR 오른쪽 3.6, 왼쪽 4.1로 혈관 연축이 의심되어 5차 TFCA를 시행하였고, 혈관 연축이 확인되어 5차 혈관 성형술을 시행하였다. 입원 13일 차에는 5차 혈관 성형술 이후에도 환자의 증상 호전이 없었으며, 11차 TCCD 검사에서는 오른쪽 중대뇌동맥 MFV 190 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV 193 cm/s이었고, LDGR이 오른쪽 4.4, 왼쪽 4.1으로 중증의 혈관 연축이 의심되어 즉시 6차 TFCA를 시행하였고, 혈관 연축이 확인되어 6차 혈관 성형술을 시행하였다. 입원 14일 차에 시행한 12차 TCCD 검사에서는 오른쪽 중대뇌동맥 MFV 169 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV 166 cm/s이었고, LDGR이 오른쪽이 3.6, 왼쪽이 3.0으로 이전 검사보다 혈류속도가 감소되어 내과적 치료(Medical treatment)하며 관찰하기로 하였다.

6. 회복기 TCCD 초음파검사

입원 15일 차에 시행한 13차 TCCD 초음파검사서 오

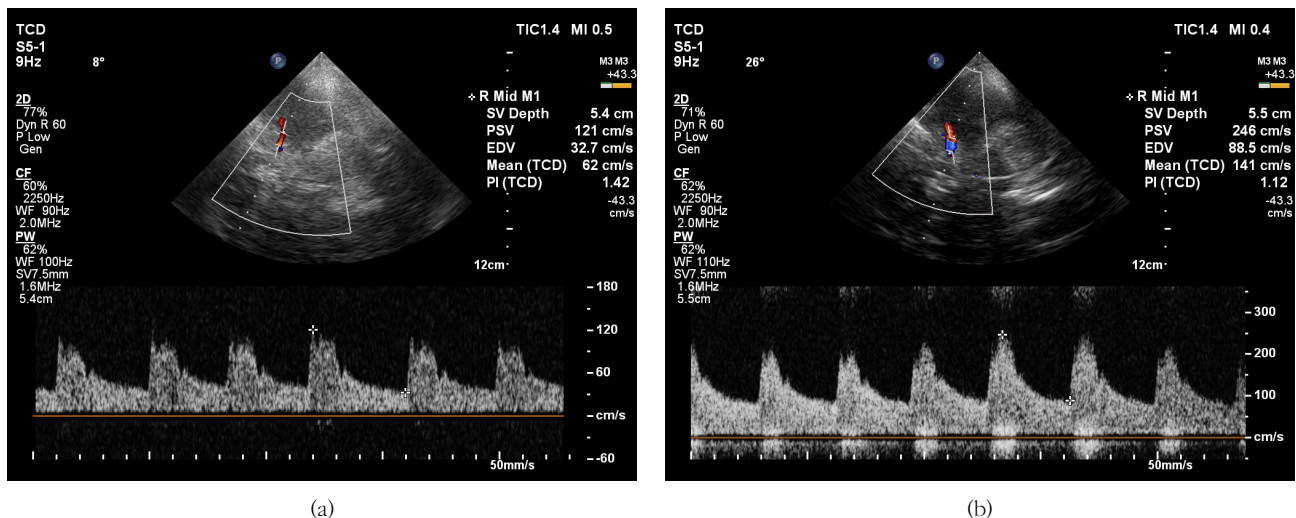


Fig. 3. (a) Normal range doppler spectrum of 1st transcranial color coded doppler ultrasound (b) 6th transcranial color coded doppler with increased cerebral blood mean flow velocity



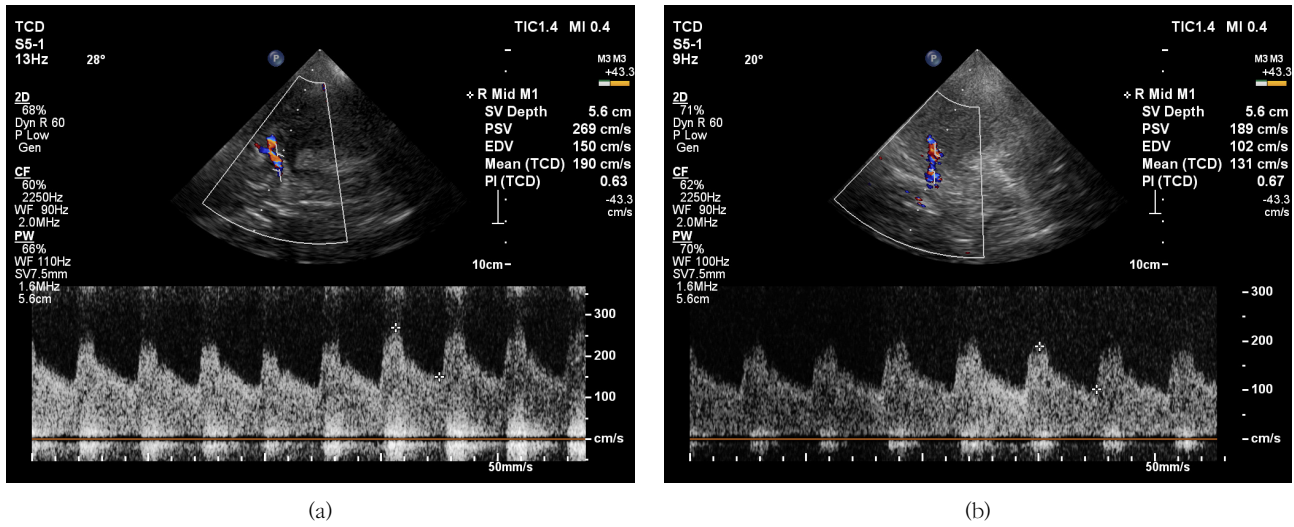


Fig. 4. (a) 11<sup>th</sup> transcranial color coded doppler continued to increased than previous MFV (b) MFV decreased after 14<sup>th</sup> angioplasty.

른쪽 중대뇌동맥 MFV는 128 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV가 153 cm/s이었고, LDGR이 오른쪽 2.8 왼쪽 2.9로 감소하였으며, 환자의 의식과 지남력(Orientation)이 회복되었다. 입원 16일 차에 시행한 14차 TCCD 초음파검사에서는 Fig. 4와 같이 11차 TCCD 초음파검사보다 오른쪽 중대뇌동맥 MFV 131 cm/s, 왼쪽 중대뇌동맥 MFV 135 cm/s, LDGR이 오른쪽 2.2, 왼쪽 2.5로 혈류속도가 감소하였다. 환자의 의식이 이전 평가에 비해 명료해졌으며, 지남력도 높아져 신경외과 전문의에 의해 영상의학적 검사 및 모니터링을 종료하였다.

### III. 고찰

뇌혈관 연속은 신경학적 수술 혹은 뇌출혈 치료 후에 오는 합병증으로 다른 후유증은 수술 직후 발생률이 높지만 뇌혈관 연속은 3~4일째부터 영향이 생기며 7~10일 사이에 최고로 영향을 받게 되며 이후 2주 정도 시간이 지나면 발생이 감소하게 된다[11]. 이러한 현상에 의한 뇌손상을 지연 허혈성 신경학적 결손(delayed ischemic neurological deficits; DIND)이라 하며, DIND를 보인 환자의 약 50% 정도는 뇌경색으로 진행되며, 약 30%의 환자는 사망하게 된다. 이러한 DIND는 신경계 치료 후에 환자의 2차 뇌손상을 식별하고 집중적으로 환자 케어를 위해 신경집중치료(Neurocritical care)라는 분야가 생겼으며, 현재의 신경계 집중치료실(Neurointensive care)이라는 치료실을 만들게 되었다[12].

혈관 연속의 기전은 아직 명확하지 않지만, 대표적인 발생 기전은 다음과 같다. 혈액이 지주막하 공간에 고이면 혈액에 포함된 헤모글로빈(Hemoglobin)에 의하여 활성산소종(Reactive oxygen species, ROS)이 증가되고, ROS는 혈관 수축물질인 엔도텔린-1(Endothelin-1), 프로스타글란딘 H2(Prostaglandin H2), 트롬복산 A2(Tromboxan A2) 등이 활성화되고, 이 결과로 혈관 확장 물질인 산화질소(Nitro Oxide)를 감소시킴으로써 혈관 연속이 발생한다는 것이다[13]. 혈관 연속의 치료는 크게 내과적 치료와 혈관 내 치료(Endovascular treatment)로 구분할 수 있다. 내과적 치료는 대응적 치료를 기반으로 트리플 H(Triple H)라 명명된 치료방법으로 혈액희석(Hemodilution), 혈액과다(Hypervolemia), 혈압상승(Hypertension) 유지를 목표로 치료하게 되며, 이 치료의 기반에는 관을 흐르는 점성 유체의 유량에 관한 법칙인 포아죄유 법칙(Poiseuille law)을 따르고 있다[14]. 위 치료의 궁극적인 목표는 두개내압(Intracranial pressure)를 조절하며 뇌산소 이용을 감소시키며, 뇌혈류를 증가시켜 신경 손상을 방지하는데 있지만 트리플 H 치료법은 예방요법으로는 적합하지 않으며, 오히려 신경집중치료를 방해가 되고 사망 위험도를 증가시킨다는 보고도 있다[15]. 혈관 내 치료는 내과적 치료에도 혈관 연속의 정도가 심해지며 임상적 변화가 관찰될 때 고려하게 된다. 혈관 내 치료는 2가지로 분류할 수 있으며, 첫 번째는 경피적풍선확장술(Transluminal Balloon Angiography; TBA)과 두 번째는 본 증례 분석에서 사용했던 동맥 내 혈관 확장제를 투여하는 방법이다. TBA는 근위부 뇌혈관을 직접 풍선을 사용하여 넓혀주는 기술이며 즉시 효과가 있다. 혈

관 확장제 투여는 원위부 혈관 연속의 치료 목적으로 사용되며, 치료 효과가 짧아 투여 횟수가 늘어날 수 있다[16]. 이러한 내과적 치료와 혈관 내 치료의 과정에서 뇌혈관의 형태학적 변화와 혈류역학적 변화는 치료의 방향을 정하는데 의미있는 정보를 제공해주며, 이는 뇌혈류 초음파 검사를 통해 모니터링을 할 수 있다.

뇌혈류 초음파검사는 2 MHz 정도의 낮은 주파수를 사용하여 뇌혈관의 혈류 속도 및 도플러 스펙트럼을 측정하는 것이다. 기존의 TCD 초음파검사는 영상학적 가이드 없이 장비에서 조절이 가능한 샘플 볼륨의 깊이, 프로브의 위치 등을 검사자가 조절하여 파형을 획득하는 검사법이다. 모니터링이 주목적인 뇌혈류검사에서 이러한 영상학적 가이드 없는 검사는 객관적이지 못한 정보를 제공하고, 이는 임상적 오류를 제공하게 된다. 반면에 TCCD 초음파검사는 검사자가 직접 초음파 영상과 색조 도플러를 사용하여 혈관의 위치와 혈류의 방향을 영상학적으로 확인이 가능하며 매번 동일한 위치에서 혈류속도 측정이 가능하다. 하지만 이러한 영상학적 가이드 외에 초음파검사의 특성상 검사자의 영상해부학적 지식과 초음파의 물리적인 특성 이해 그리고 전반적인 치료과정에 대한 주치의의 소견과 의학적 판단에 대한 신뢰와 이해가 필요하다.

본 증례 분석을 바탕으로 성공적인 TCCD 초음파검사를 위한 검사 조건은 다음과 같다.

첫째, 적절한 음향창(Sonic window)의 선택이 중요하다. 대표적인 두개골의 음향창은 측두창(Temporal window), 안구창(Ophthalmic window), 후두하창(Transforaminal window), 하악하창(Submandibula window)이 있다. 측두창은 가장 중요한 음향창으로 윌리스환(circle of willis)에서 분지되는 중대뇌동맥, 전대뇌동맥, 후대뇌동맥의 평가가 가능하다. 안구창은 내경동맥 사이핀(Internal carotid siphon artery)과 안동맥의 평가가 가능하다. 후두하창은 척추동맥과 기저동맥의 평가가 가능하다. 하악하창은 두개 외에 내경동맥의 혈류속도 평가가 가능하다. 각 음향창은 두개골의 상태에 따라 유효하지 못한 음향창이 존재하며 이는 TCCD 초음파검사에 제한이 있을 수 있다. 위와 같이 유효하지 못한 음향창을 불유효한 음향창(uneffective window)이라 한다. 불유효한 음향창 발생의 이론적 배경은 초음파의 큰 음향저항 차이에 의해 전반사되는 이론을 기반으로 하고 있다. 사람의 뼈는 크게 피질골(Cortical bone)과 해면골로 분류되며 피질골은 생애 초기부터 노년까지 밀도의 변화가 거의 없다[17]. 반면에 해면골은 사춘기를 지나 성인이 될 때까지 지속적으로 밀도가 증가하나 성인이 된 이후 지속적인 밀도 감소를 경험하게 된다[18]. 밀도의 감소

는 50대 이전에는 성별에 의한 차이가 거의 없지만 여성이 폐경을 시작하는 시기인 50대부터 급격한 골밀도의 감소를 경험하게 된다[19]. 성별에 의한 차이는 TCCD 초음파검사 유효율과도 일치하며, 남성의 TCCD 초음파검사 유효율은 높은 연령에서 낮게 발생하지만 여성은 50대 이상에서 급격한 발생을 보인다는 보고와 일치한다[20]. 이러한 불유효한 음향창은 혈류 신호가 발생 되지 않는 문제점을 발생시키고, 이는 혈관 폐쇄(Vessel obstruction) 혹은 뇌사(Brain death)에 의한 혈류 신호 없는 것인지 검사자의 감별이 필요하다[21]. 좌우의 음향창의 상태가 다를 수 있으며 혈류 신호가 발생하지 않으면 동측의 음향창에서 혈류 신호를 확인해보고 이를 감별하여야 한다. 본 증례 분석에서는 49세 여성의 측두창에서 뇌혈류 속도를 측정하였으며, 두개골에 의한 영향 없이 성공적으로 검사할 수 있었다.

둘째, 검사자는 도플러 스펙트럼 파형의 수치 해석이 필요하다. 도플러 스펙트럼에서 구할 수 있는 수치는 최대 수축기 속도, 이완기말 속도, 평균 혈류속도, 혈관 저항성을 나타내는 박동성 지수로 분류할 수 있다[22]. 이러한 혈류속도의 수치들은 연령과 생리학적 변수에 의해 넓은 범위의 정상값을 가지게 되지만 검사자는 다음과 같은 사항들을 적절하게 고려해서 해석하고 검사해야 한다. 혈류속도는 혈류량과 비례하지 않으며 혈류속도가 높다고 높은 혈류량을 의미하는 것은 아니다. 본 증례 분석에서도 혈류속도는 정상인에 비해 두 배 이상 높았지만 뇌출혈 이후 뇌압 상승과 치료를 위한 고혈압 유지를 위해 과혈류 상태에 의한 것이다. 하지만 주의해야 할 점은 뇌혈류는 연령이 증가함에 따라 혈류속도는 감소하기 때문에 환자의 인구학적 특성을 고려해야 한다. 또한, 환자의 호흡 횟수와 심장 박동수에 따른 검사에 영향을 줄 수 있다. 즉 과호흡에서는 혈류속도는 감소하고, 과소 호흡에서는 혈류속도가 증가하게 된다. 본 증례 분석에서는 중년 여성으로 연령에 의한 뇌혈류 감소는 고려하지 않았다. 일반적으로 뇌혈관 종류에 따라 혈류속도가 다르며, 중대뇌동맥이 혈류속도가 가장 높고 전대뇌동맥, 후대뇌동맥, 내경동맥 사이핀, 기저동맥, 척골동맥 순으로 높다. 좌, 우로 구분되는 양측 혈관의 형태학적 차이와 도플러의 차이는 약 30% 이내로 차이가 생기게 평가될 수 있다[23]. 본 증례 분석에서도 2차 검사에서 좌, 우측 뇌혈류 속도가 48 cm/s로 최대치를 보였지만 14회 검사의 평균 차이는 5.2 cm/s로 30% 이내의 결과를 보였다. 또한, 도플러 스펙트럼에 의한 혈류속도는 혈류의 방향을 고려해야 한다. 각각의 혈관들은 혈류의 방향이 정해져 있고 혈관 폐쇄에 의한 측부 순환로의 발달과 인접한 혈관의 혈류속도 증가, 역전된 혈류 방향 등은 TCCD 초음파검사를 시행에 있

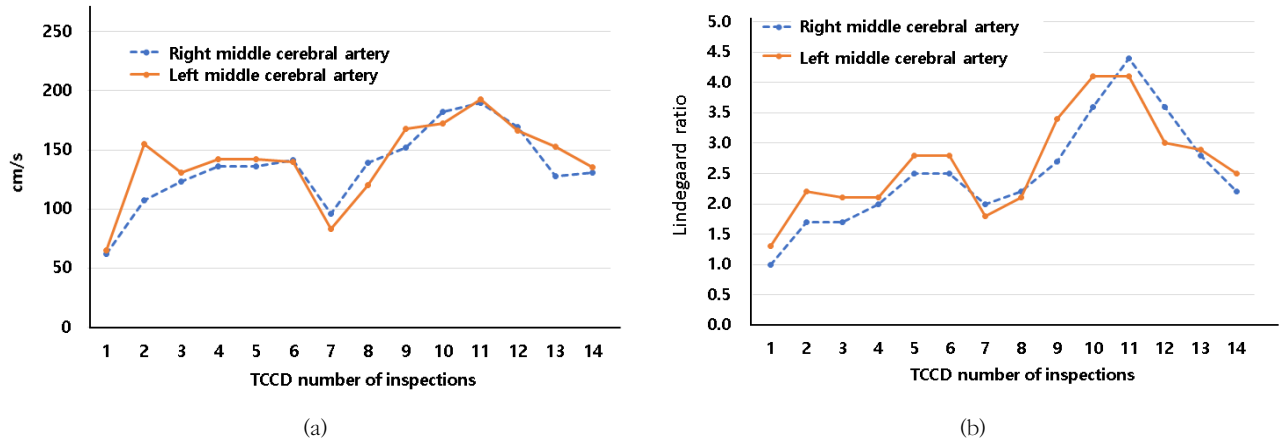


Fig. 5. Left and right middle cerebral arteries according to the number of TCCD (a) cerebral blood flow velocity (b) Lindegaard ratio

어서 검사자가 주의를 해야 하는 점이다. 특히, 샘플 볼륨의 깊이는 환자의 상태와 음향창의 위치에 따라 가변적인 한계점이 있기 때문에 재현성과 반복성이 있는 검사자의 검사능력이 중요하다.

셋째, 혈관 연축의 진단에는 MFV 수치가 주 평가 대상이 되며, 일반적인 권고 사항의 수치는 다음과 같다. 중대 뇌동맥의 MFV가 120 cm/s 이하일 때 해석은 과역동 상태, MFV 120 ~ 200 cm/s에는 중등도의 혈관 연축, MFV가 200 cm/s 이상일 때는 중증의 혈관 연축이라 해석할 수 있다. 본 증례 분석에서는 Fig. 5(a)과 같이 코일 색전술 이후 혈관 성형술을 했음에도 불구하고 6차 TCCD 초음파검사까지 혈류속도가 증가하여 3차 혈관 성형술을 시도하여 7차 TCCD 초음파검사에서는 급격히 감소하였다. 그러나 8차 TCCD 초음파검사부터 다시 상승하여 4차 혈관 성형술을 진행하여 12차 TCCD 초음파검사부터는 혈류속도가 지속적으로 감소하고 있었다. 이처럼 내과적 치료인 트리플 H로 인해 과역동 상태가 되면 뇌혈류 속도는 상승하게 되며, 이는 검사 결과 수치 해석에 혼란을 줄 수 있다. 따라서 트리플 H에 의한 과역동 상태와 혈관 연축을 구분하기 위해서 린데가르트 비를 같이 사용하기를 제시하였고, 이는 중대뇌동맥의 MFV와 근위부 내경동맥의 MFV의 비로 3 이하는 과역동 상태, 3 ~ 6 중등도의 혈관 연축, 6 이상은 중증의 혈관 연축을 시사한다[24]. 본 증례 분석에서는 Fig. 5(b)과 같이 TCCD 초음파검사 9차에서부터 12차에서 평균 3.6의 린데가르트 비를 보여 중등도의 혈관 연축이 의심되었지만 그 후로는 3 이하의 과역동 상태가 관찰되었다.

본 증례 분석은 국내에서 최초로 방사선의 피폭을 회피할 수 있는 뇌혈관 연축의 모니터링 방법으로 TCCD 초음파검사를 적용한 사례를 보고하였다. 그러나 초음파검사는 검사

자의 주관적인 역량에 크게 좌우가 되기 때문에 방사선사의 선행적인 전문 교육이 요구된다.

#### IV. 결론

본 증례 분석은 SAH를 진단받고 동맥류 코일 색전술 (Coil embolization) 후 지속적인 혈관 연축을 보인 환자 1례를 대상으로 TCCD 초음파검사를 시행한 사례를 보고하며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, TCCD 초음파검사는 저비용으로 방사선의 피폭 없이 반복적인 뇌혈류 모니터링에 유용한 검사임을 확인할 수 있었다.

둘째, TCCD 초음파검사는 기존 TCD 초음파검사보다 향상된 뇌혈류 정보를 얻을 수 있었다.

#### REFERENCES

- [1] Lefkovits J, Davis SM, Rossiter C, Kilpatrick CJ, Hopper JL, Green R, et al. Acute stroke outcome: Effects of stroke type and risk factors. Australian and New Zealand Journal of Medicine. 1992;22(1): 30-5.
- [2] Rabinstein AA, Weigand S, Atkinson JL, Wijedicks EF. Patterns of cerebral infarction in aneurysmal subarachnoid hemorrhage. Stroke. 2005;36(5):992-7.
- [3] Lindbohm JV, Kaprio J, Jousilahti P, Salomaa V, Korja M. Risk factors of sudden death from sub-

- arachnoid hemorrhage. *Stroke*. 2017;48(9):2399–404.
- [4] Kassell NF, Sasaki T, Colohan AR, Nazar G. Cerebral vasospasm following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Stroke*. 1985;16(4):562–72.
- [5] Vora YY, Suarez-Almazor M, Steinke DE, Martin ML, Findlay JM. Role of transcranial Doppler monitoring in the diagnosis of cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage. *Neurosurgery*. 1999;44(6):1237–48.
- [6] Kidwell CS, Chalela JA, Saver JL, Starkman S, Hill MD, Demchuk AM, Warach S. Comparison of MRI and CT for detection of acute intracerebral hemorrhage. *Jama*. 2004;292(15):1823–30.
- [7] Fontanella M, Valfr W, Benech F, Carlino C, Garbossa D, Ferrio M, et al. Vasospasm after SAH due to aneurysm rupture of the anterior circle of Willis: Value of TCD monitoring. *Neurological Research*. 2008;30(3):256–61.
- [8] Schoning M, Buchholz R, Walter J. Comparative study of transcranial color duplex sonography and transcranial Doppler sonography in adults. *Journal of Neurosurgery*. 1993;78(5):776–84.
- [9] Gonzalez NR, Boscardin WJ, Glenn T, Vinuela F, Martin NA. Vasospasm probability index: A combination of transcranial doppler velocities, cerebral blood flow, and clinical risk factors to predict cerebral vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Journal of Neurosurgery*. 2007;107(6):1101–12.
- [10] Kim GW, Sohn YH, Lee JH, Kim DS, Kim JY, et al. The reference values and influencing factors of TCD measurements in 200 normal Korean adults. *Journal of the Korean Neurological Association*. 1995;13(4):815–24.
- [11] Macdonald RL. Management of cerebral vasospasm. *Neurosurgical Review*. 2006;29(3):179–93.
- [12] Treggiari MM, Walder B, Suter PM, Romand JA. Systematic review of the prevention of delayed ischemic neurological deficits with hypertension, hypervolemia, and hemodilution therapy following subarachnoid hemorrhage. *Journal of Neurosurgery*. 2003;98(5):978–84.
- [13] Suhardja A. Mechanisms of disease: Roles of nitric oxide and endothelin-1 in delayed cerebral vasospasm produced by aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine*. 2004;1(2):110–6.
- [14] Sen J, Belli A, Albon H, Morgan L, Petzold A, Kitchen N. Triple-H therapy in the management of aneurysmal subarachnoid haemorrhage. *The Lancet Neurology*. 2003;2(10):614–21.
- [15] Treggiari MM, Walder B, Suter PM, Romand JA. Systematic review of the prevention of delayed ischemic neurological deficits with hypertension, hypervolemia, and hemodilution therapy following subarachnoid hemorrhage. *Journal of Neurosurgery*. 2003;98(5):978–84.
- [16] Higashida RT, Van Halbach V, Dowd CF, Dormandy B, Bell J, Hieshima GB. Intravascular balloon dilatation therapy for intracranial arterial vasospasm: Patient selection, technique, and clinical results. *Neurosurgical Review*. 1992;15(2):89–95.
- [17] Rauch F, Schoenau E. Changes in bone density during childhood and adolescence: An approach based on bone's biological organization. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2001;16(4):597–604.
- [18] Warming L, Hassager C, Christiansen C. Changes in bone mineral density with age in men and women: A longitudinal study. *Osteoporosis International*. 2002;13(2):105–12.
- [19] Neer RM, Arnaud CD, Zanchetta JR, Prince R, Gaich GA, Reginster JY, et al. Effect of parathyroid hormone (1–34) on fractures and bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *New England Journal of Medicine*. 2001;344(19):1434–41.
- [20] Hoksbergen AWJ, Legemate DA, Ubbink DT, Jacobs MJHM. Success rate of transcranial color-coded duplex ultrasonography in visualizing the basal cerebral arteries in vascular patients over 60 years of age. *Stroke*. 1999;30(7):1450–5.
- [21] Monteiro LM, Bollen CW, Van Huffelen AC, Ackerstaff RG, Jansen NJ, et al. Transcranial Doppler ultrasonography to confirm brain death: A meta-analysis. *Intensive Care Medicine*. 2006;32(12):1937–44.



- [22] Nicoletto HA, Burkman MH. Transcranial Doppler series part III: Interpretation. American Journal of Electroneurodiagnostic Technology. 2009;49(3): 244-59.
- [23] Alexandrov AV. Cerebrovascular ultrasound in stroke prevention and treatment, 1st ed. Hoboken: Wiley-blackwell; 2004:17-32.
- [24] Gonzalez NR, Boscardin WJ, Glenn T, Vinuela F, Martin NA. Vasospasm probability index: A combination of transcranial doppler velocities, cerebral blood flow, and clinical risk factors to predict cerebral vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. Journal of Neurosurgery. 2007;107(6): 1101-12.

구분	성명	소속	직위
제1저자	지명훈	청주대학교	대학원생(석사)
교신저자	성열훈	청주대학교	교수