

뇌혈관질환에서 다이아목스부하 뇌 단일광자방출 전산화단층촬영

한양대학교 의과대학 핵의학교실
최윤영

Diamox-enhanced Brain SPECT in Cerebrovascular Diseases

Yun-Young Choi, M.D.

Department of Nuclear Medicine, College of Medicine, Hanyang University

Acute event in cerebrovascular disease is the second most common cause of death in Korea following cancer, and it can also cause serious neurologic deficits. Understanding of perfusion status is important for clinical applications in management of patients with cerebrovascular diseases, and then the attacks of ischemic neurologic symptoms and the risk of acute events can be reduced. Therefore, the normal vascular anatomy of brain, various clinical applications of acetazolamide-enhanced brain perfusion SPECT, including meaning and role of assessment of vascular reserve in carotid stenosis before procedure, in pediatric Moyamoya disease before and after operation, in prediction of development of hyperperfusion syndrome before procedure, and in prediction of vasospasm and of prognosis in subarachnoid hemorrhage were reviewed in this paper. (Nucl Med Mol Imaging 2007;41(2):85-90)

Key Words : brain, perfusion SPECT, acetazolamide

서 론

뇌혈관질환은 한국인에서 암에 이어 두 번째 사망원인이며, 2005년도 통계청의 사망원인 통계연보에 의하면 인구 10만 명당 사망자수가 64.3명으로 1995년의 79.7명에 비하여 15.4명이 감소된 것으로 조사되었다.¹⁾ 노령인구가 증가함에 따라 뇌혈관질환의 발생위험도는 증가하였으나 진단 및 치료 기술의 발전으로 사망률이 감소하였을 것으로 생각된다. 그러나 사망률은 감소하였더라도 뇌혈관질환 발생시 뇌조직의 특성상 한 번 손상을 입으면 재생되기 어려우며 반신마비, 언어장애 등의 심각한 신경학적 후유증을 남길 수 있어서 뇌혈관질환의 예방 및 조기 치료가 중요하다.²⁾

뇌혈관질환은 허혈성과 출혈성으로 크게 나누어 볼 수 있으며 허혈성 뇌혈관질환은 다시 혈전성과 색전성의 원인으로 나눌 수 있다. 서구에서는 허혈성 뇌혈관질환이 85%가량을 차지하는데 비하여, 국내에서는 과거 출혈성 뇌혈관질환

의 비율이 46.1~88% 가량으로 높았지만 근래에 들어 허혈성 뇌혈관질환의 빈도가 점차 증가하여 허혈성 뇌혈관질환이 차지하는 비율이 50%를 상회하며 서구화하는 양상을 보이고 있다.^{2,3)}

뇌혈관질환의 일반적인 영상진단 검사법으로는 CT가 급성기의 뇌혈관질환에서 출혈병변여부를 감별하는데 도움이 되지만, 환자의 증상발현 후 처음 며칠간은 뇌경색이 잘 관찰되지 않을 수 있다는 단점이 있는 반면, MRI는 확산강조 영상 기법을 이용하면 발병 1시간이내의 대뇌피질, 심부백질, 후두와 등의 뇌 경색 범위와 위치를 파악할 수 있으므로 널리 이용되고 있다. SPECT는 환자의 증상발현 직후부터 비교적 높은 예민도(61~74%)와 특이도(88~98%)로 혈류의 변화를 반영할 수 있으며 혈류결손 부위의 크기와 정도가 환자의 임상결과를 반영하며 혈류 감소정도에 따라 치료 후 예후 예측도 가능한 것으로 보고되어 있다.⁴⁾ 그러나 대뇌의 백질이나 피질하부의 병변은 찾기 어렵고, 출혈성과 허혈성 뇌경색을 정확히 감별할 수 없으므로 응급 치료방침 결정에 큰 영향을 미치지 않는다는 단점이 있으며, 또한 혈전용해술 등을 시행하여야 하는 급성뇌혈관질환에서는 뇌혈류 SPECT를 응급으로 시행하기에 용이하지 않은 점이 있으므로 널리 이용되고 있지 않다. 그러나 응급상황이 아닌 경우, 아세타졸아미드부하 뇌혈류 SPECT를 이용한 뇌혈관예비

• Received: 2007. 4. 22. • Accepted: 2007. 4. 24.
• Address for reprints: Yun-Young Choi, M.D., Department of Nuclear Medicine, College of Medicine, Hanyang University, #17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-792, Korea
Tel: 82-2-2290-9265, Fax: 82-2-2281-0475
E-mail: yychoi@hanyang.ac.kr

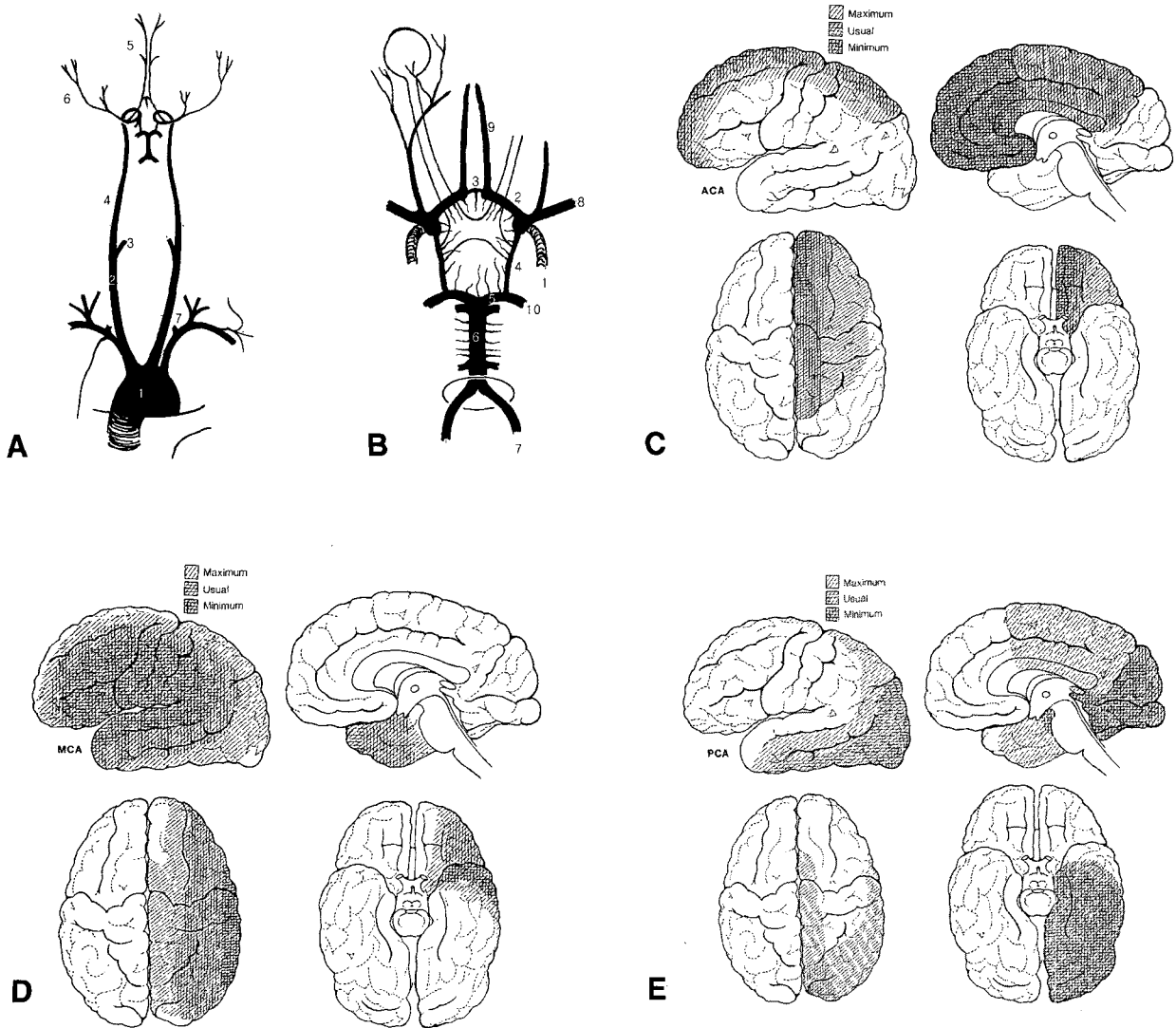


Fig. 1. Normal vascular anatomy. (A) Aortic arch and great vessels: 1. aortic arch, 2. common carotid artery, 3. external carotid artery, 4. internal carotid artery, 5. anterior cerebral artery, 6. middle cerebral artery, 7. vertebral artery. (B) Circle of Willis: 1. internal carotid artery, 2. anterior cerebral artery (horizontal portion), 3. anterior communicating artery, 4. posterior communicating artery, 5. posterior cerebral artery, 6. basilar artery, 7. vertebral artery, 8. middle cerebral artery, 9. anterior cerebral artery (postcommunicating segment), 10. posterior cerebral artery (postcommunicating segment). (C) Cerebral cortical area supplied by anterior cerebral artery branches. (D) Cerebral cortical area supplied by middle cerebral artery branches. (E) Cerebral cortical area supplied by posterior cerebral artery branches

능의 평가가 치료방침 및 환자의 예후예측에 도움을 줄 수 있는 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 내경동맥협착에 의해 일과성허혈발작 등의 증상을 동반하는 환자에서 내경동맥절제술이나 혈관성형술 시행시 뇌혈관예비능의 평가가 치료방침을 정하는데 있어 유용한 검사로 알려져 있고, 또한 지주막하출혈 등의 출혈성 뇌혈관질환에서도 혈관예비능을 평가함으로써 혈관수축에 따른 허혈을 조기에 예측할 수 있으며, 동정맥기형과 같이 뇌출혈, 간질, 동정맥기형 주변부의 혈류도실의 위험도가 높은 질환에서 혈관예비능의 증가는 병적인 혈관

확장에 기인하며 이러한 환자군에서 수술후 충혈에 따른 합병증을 잘 동반하는 것으로 알려져 있다.^{6,7)}

이에 본 종설에서는 뇌혈관질환에서 아세타졸마이드 부하 뇌혈류SPECT의 역할에 대하여 알아보고자 한다.

정상 뇌혈관 분포

정상 뇌혈관 분포⁸⁾(Fig. 1)를 아는 것이 뇌혈류 SPECT에서의 뇌혈관질환에서 혈류결손을 일으킨 혈관분지를 파악

하고 주로 혈관분지를 따라 나타나게 되는 혈관예비능의 보존 여부를 판단하는데 필요하다. 또한 SPECT에서 관찰되는 혈류결손범위 및 혈관예비능감소를 보이는 혈관영역과 혈관조영술이나 CT에서 관찰되는 이환부위를 비교 해석하는데 도움될 것이다.

일반적으로 대동맥궁에서 무명동맥(innominate a.), 좌측 경동맥(left common carotid a.) 좌쇄골하동맥(left subclavian a.)이 순서대로 기원하며, 무명동맥은 우쇄골하동맥과 우측 경동맥으로 분지한다(Fig. 1A). 좌우 측경동맥은 외경동맥(external carotid a.)과 내경동맥(internal carotid a.)로 분지하며, 외경동맥은 내경동맥보다 작은 혈관으로 두개의 두정부 구조에 혈류를 공급하는 상갑상선동맥(superior thyroid a.), 상행인두동맥(ascending pharyngeal a.), 설동맥(lingual a.), 안면동맥(facial a.), 후두동맥(occipital a.), 후이개동맥(posterior auricular a.), 천측두동맥(superficial temporal a.), 내상악동맥(internal maxillary a.)등의 분지를 공급한다. 내경동맥은 기시부에서 2~4 cm길이를 포함하는 팽대부인 경동맥구(carotid bulb), 이후 상행하는 부위로 일정한 혈관구경을 유지하며 분지를 내지 않는 경부 분절(cervical segment), 측두골의 추체부분을 지나는 추체분절(petrous segment), 추체첨부의 경동맥관에서 나와서 지주막하강으로 들어가기까지의 부분인 해면분절(carvenous segment), 그리고 마지막으로 전침상돌기 주변에서 뇌경질막을 뚫고 들어간 경막내분절로 구분하여 볼 수 있으며 전뇌동맥과 중뇌동맥으로 나뉘기 전에 상하수체동맥, 시신경동맥, 후교통동맥이 분지된다. 후교통동맥은 후대뇌동맥과 교통하여 Willis 환을 구성한다. Willis환은 뇌저부에 위치하는 혈관망으로 혈관이 막힌 경우 측부순환을 통한 혈류공급을 유지하게 하며, 그 구성은 Fig. 1 B와 같다. 상기 혈관 중 두개의 내경동맥, 양측 전대뇌동맥의 수평부(A1), 전교통동맥을 전부 순환, 두 개의 후교통동맥, 후대뇌동맥의 수평부(P1), 뇌저동맥의 분지부 등을 후부 순환으로 분류한다. 그러나 상기 Willis환이 완전하게 유지된 경우는 20~25% 밖에 되지 않는다.

내경동맥은 전대뇌동맥과 중대뇌동맥으로 갈라지며, 후대뇌동맥은 일반적으로 뇌저동맥에서 기원한다. 전대뇌동맥은 수평분절(A1)에서 내측렌즈핵선조체동맥(medial lenticulostriate a.)을 통하여 미상핵(caudate nucleus)의 두부에 혈류를 공급하며, 이후 대뇌반구 내측 전부의 2/3의 대뇌피질에 혈류를 공급한다.(Fig. 1C) 중대뇌동맥은 수평분절(M1)에서 외측 내측렌즈핵선조체동맥(medial lenticulostriate a.)을 통하여 렌즈핵(lentiform nucleus)과 미상핵(caudate nucleus)의 혈류를 공급하며, 뇌섬엽(insular cortex),

전측두엽(anterior temporal) 을 비롯한 대뇌피질의 넓은 범위에 걸쳐 혈류를 공급한다.(Fig. 1D) 후대뇌동맥은 대부분의 경우 뇌저동맥의 분기점에서 기원하여 후교통동맥과 교통하며 여기에서 후시상관통동맥(posterior thalamoperforating a.)를 통하여 시상과 중뇌의 혈류를 공급하고, 이후 원위부에서는 하측두엽(inferior temporal), 시각피질을 포함한 후두엽을 공급하며, 전대뇌동맥의 분지부위에 이어서 내측 대뇌반구의 후방 1/3의 혈류공급을 담당한다.(Fig. 1E)

후두개와에서는 척추동맥에서 분지된 후하소뇌동맥(posterior inferior cerebellar a.)가 소뇌의 하부 혈류 공급하며, 좌-우 척추동맥이 만나서 이룬 뇌저동맥에서 전하소뇌동맥과 상소뇌동맥 분지한다.

아세타졸아마이드(acetazolamide) 부하 뇌혈류 SPECT^{6,7)}

정상인의 뇌는 회백질에서 70~90 ml/min/100 g, 백질에서 20~30 ml/min/100 g의 혈류를 공급받아 정상적인 뇌대사를 유지하며, 뇌관류압이 50~150 mmHg사이에서 변동이 있더라도 뇌혈류를 일정하게 유지하기 위한 자동조절 기전에 의해 뇌저항혈관의 내경이 조절되므로, 정상 뇌에서는 뇌의 대사를 유지하는데 필요한 혈류공급이 잘 유지되어 있다.

허혈성 뇌혈관질환에서는 근위부혈관의 내경이 좁아져서 뇌관류압이 감소하더라도 자동조절 범위내에 있다면 뇌저항혈관 확장에 의해 혈류가 정상으로 유지되지만, 혈관협착이 심해져서 뇌관류압이 자동조절범위 이하로 감소하면 더 이상 뇌혈관확장이 일어나지 못하고 뇌혈류의 감소가 일어난다. 이러한 혈관확장예비능 또는 혈관예비능(vascular reserve)의 감소는 허혈성 뇌혈관질환에서 특이적으로 나타나며, 뇌관류압의 저하가 심하지 않아 기저뇌혈류가 정상으로 유지된 경우에도 혈관예비능은 감소되어 있을 수 있다. 이러한 혈관예비능의 평가는 허혈성 뇌혈관질환에서 허혈의 중증도 평가 및 중재적 시술 또는 수술적 치료시 치료방침의 결정 및 예후 예측에 도움을 줄 수 있다.

혈관예비능을 평가하기 위하여 아세타졸아마이드, 아테노신, 디피리다몰 등의 투여, 이산화탄소흡입법 등이 연구된 바 있다. 이중 아세타졸아마이드 부하를 통한 혈관예비능의 평가가 흔히 이용되고 있다. 아세타졸아마이드는 탄산탈수효소 억제자(carbonic anhydrase inhibitor)로서 이산화탄소의 가수(hydration)와 중탄산염(bicarbonate)의 탈수작용의 촉매역할을 하므로 대사성산증을 일으켜 평균 약 30%(5~70%)의 보상성 혈관확장을 유도한다. 아세타졸아마이드 1g을 정맥주사로 투여 후 뇌의 전반적인 혈류가 일정하게 증가

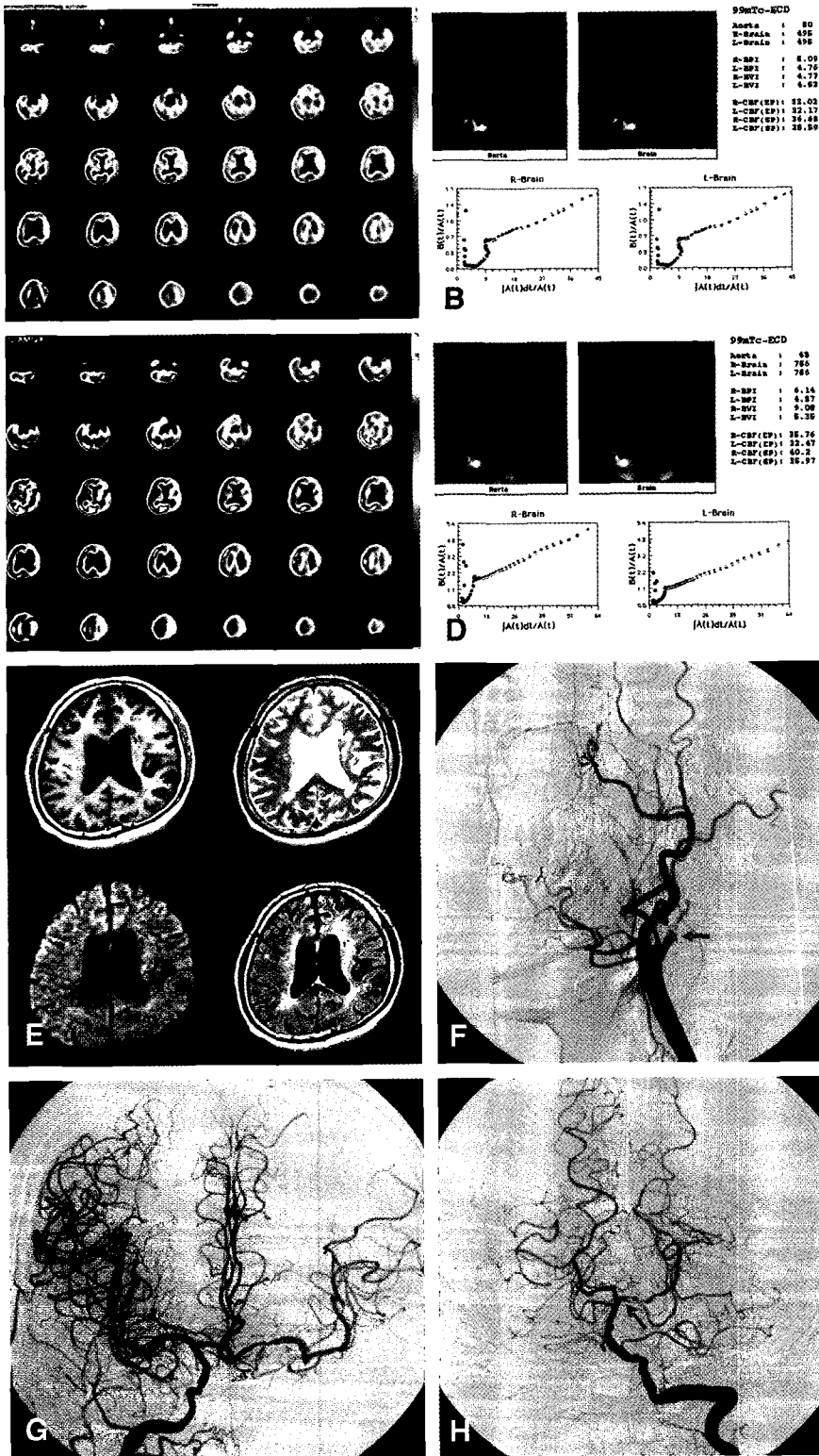


Fig 2. A 68 year-old man with right side motor weakness since 15 days ago. Baseline and acetazolamide-enhanced brain perfusion SPECT studies were obtained to evaluation of baseline perfusion status and cerebral vascular reserve before balloon dilatation of left ICA stenosis. (A) Asymmetrically decreased perfusion in left fronto-temporo-parietal and left occipital cortex areas and left deep gray matters, suggesting ischemia of left ICA and possibly PCA territories on baseline SPECT images. (B) BPI is asymmetrically decreased in left cerebral hemisphere on baseline cerebral angiography. (C) After acetazolamide administration, exaggerated asymmetry of left ICA and PCA territories is noted, suggesting decreased vascular reserve. (D) Asymmetry of BPI is also exaggerated on cerebral angiography after acetazolamide administration. (E) There is no evidence of acute cerebrovascular event on brain MRI (T1WI, T2WI, DWI, and FLAIR images). (F) Left common carotid angiogram shows occlusion of proximal portion of left ICA (arrow). (G) Well developed collateral flow to left anterior cerebral artery and middle cerebral artery territories on right common carotid artery angiogram. (H) Left vertebral angiogram shows severe stenosis at the proximal portion of left posterior cerebral artery (arrow).

하며 20분째에 혈류증가의 정점에 이르러 1시간까지 지속되며, 이후 2~3시간 동안 서서히 기저상태로 돌아오게 된다. 그러므로 아세타졸아마이드 투여 전후에 뇌혈류 SPECT에

서의 뇌혈류 변화로 뇌혈관예비능의 보존여부를 평가하며, 아세타졸아마이드투여 후 국소 뇌혈류 증가를 보이는 경우 혈관의 유의한 협착이 있더라도 측부 순환이 충분히 발달되

어 정상 뇌관류압 및 혈관예비능이 보존되었음을 의미한다. 반면에 아세타졸아마이드 투여 후 혈류증가를 보이지 않거나 오히려 감소되는 경우는 뇌관류압 저하 및 혈관예비능의 감소를 의미하며 측부순환형성이 충분하지 않은 폐쇄성 뇌혈관질환을 의미한다.

허혈성 뇌혈관질환: 허혈성 뇌혈관질환에서 폐쇄성 뇌혈관을 통한 혈류 공급이 20ml/min/100g이하로 감소하는 경우 신경학적 기능장애가 나타나게 되고 10ml/min/100g이하로 감소하면 수 분내에 비가역적 세포손상이 일어나게 되며, 10~20ml/min/100g 의 혈류를 공급받는 부위는 세포사망이 수 시간가량 지연될 수 있다. 폐쇄성 혈관이 지배하는 영역의 중심부의 신경세포가 죽어 뇌경색이 발생하며, 그 주변부는 '허혈성 경계영역 (ischemic penumbra)'라고 하여 세포 기능이 일시 정지되어 있으나 혈류가 적절한 시간내에 재개되면 회복될 수 있고 그 시간이 지연되면 경색으로 진행될 수 있는 가역적 손상 상태에 놓이게 된다. 그러므로 허혈성 뇌혈관 질환에서 가장 좋은 치료방법은 뇌조직이 손상되기 전, 빠른 시간 내에 막힌 혈관을 재관류시켜 허혈성 경계영역 부위의 손상이 더 이상 진행되지 않도록 하고 신경손상 부위를 최소화하는 것이다. 대개 3시간 이내에 재관류시키는 것이 좋은 것으로 되어 있지만 현실적으로는 여러가지 제약이 따르는 경우가 많다. 그러므로 뇌졸중이 발생하기 전에 위험인자들을 제거, 관리, 조절함으로써 뇌혈관질환의 발생을 억제하는 일차 예방, 또는 한 번 발생하였던 환자에서 뇌졸중의 원인을 파악하여 재발되지 않도록 하는 이차 예방 등도 치료에서 중요한 부분이라고 할 수 있겠다.^{6,7)}

경동맥협착이 있는 환자에서 뇌졸중으로 이환되는 위험도는 매년 약 7%가량이며, 혈관폐쇄에 따른 혈역동학적인 원인이 가장 큰 위험요소로 생각된다. 일과성허혈발작은 뇌혈류가 일시적으로 감소하여 뇌졸중과 같은 급성증상이 일시적으로 나타났다가 사라지는 것으로 증상은 대개 1시간이내에 좋아지는 경우가 많지만 24시간가량 지속되기도 하며, 60%의 환자에서 뇌졸중으로 이행된다. 일반적으로 신경학적 증상을 동반하며 70%이상의 혈관협착이 있는 환자에서 경동맥 내막절제술을 시행하며⁹⁾, 혈관협착정도가 50~70% 미만이거나 증상이 없는 협착의 경우에는 수술에 따르는 위험도에 비하여 얻는 이익에 대한 논쟁의 여지가 있다.^{10,11)} 일과성허혈발작 후 뇌혈류가 지속적으로 30%이상 감소된 경우 뇌경색이 뒤따라기 쉬우며, 뇌혈류 SPECT는 일과성허혈발작후 뇌졸중으로 발전할 위험도가 높은 환자를 가려내는데 유용한 검사이다. 아세타졸아마이드 부하 뇌혈류 SPECT는 뇌혈관예비능 검사를 통하여 진단의 예민도를 높일 수 있다.(Fig. 2)

모야모야병: 주로 어린이나 청소년기에 증상 발현하는, 원인미상의 진행성 폐쇄성 뇌혈관질환으로 원위부의 내경동맥이나 근위부 전뇌동맥/중뇌동맥에 이환되어 반복적인 허혈성 증상을 나타낸다. 임상경과는 혈관폐쇄 정도와 진행속도, 그리고 측부순환의 발달정도에 의해 결정된다. 혈관조영술에서는 렌즈핵선조체동맥, 시상관통동맥 등이 커지고 경막, 연수막, 연막의 측부순환이 발달하여 연기가 모락모락나는 것 같은 모양을 띠므로 모야모야병이라고 한다. Encephaloduro-arterio-synangiosis (EDAS) 수술 등의 우회로술을 통하여 허혈부위에 혈류를 공급함으로써 허혈증상을 완화시키고 장기적 임상 결과를 개선시킬 수 있다. 그러나 우회로술이 성공적으로 이루어지고 혈관조영술에서 호전되었음에도 불구하고 임상상이 호전이 없는 경우, 이는 이미 뇌조직이 손상되었거나, 측부순환 발생부위가 임상증상을 일으킨 부위와 다른 부위이거나, 수술전에도 혈류와 혈관예비능이 충분하였던 부위였을 수 있다고 하며, 수술전 뇌혈류 SPECT에서의 뇌혈류 감소부위 평가 및 아세타졸아마이드 부하 뇌혈류 SPECT에서의 혈관예비능 감소부위를 찾아 수술여부 및 수술영역을 결정하는 것이 좋을 것이라고 보고된 바 있다.¹²⁾ 이들은 수술전 휴식기 혈류감소가 심하지 않고 혈관예비능이 감소하였을 때 수술로 호전될 것으로 예측하였다. 또한 수술후에도 아세타졸아마이드 부하 뇌혈류 SPECT를 시행하여 환자의 예후를 알아보는데 도움이 되었다는 보고도 있다.¹³⁾

과관류증후군: 과관류증후군은¹⁴⁻¹⁷⁾ 뇌혈관의 자가조절 능력이 손상된 곳에 과관류가 이루어질 경우, 혈관내피세포의 폐쇄소대(tight junction)가 파괴되어 단백질과 수분이 혈관외로 유출되어 일어나는 뇌부종으로 두통, 구토, 정신착란, 전간 및 동맥성 고혈압이 유발될 수 있으며, 심하면 뇌내출혈도 일어날 수 있다. 경동맥내막절제술이나 경피경관강 혈관성형술 등으로 재관류치료 후 0.4~2.1%의 환자에서 과관류증후군에 의한 뇌출혈이 보고되고 있다. 뇌출혈이 동반된 경우 예후는 매우 불량하여 36~63%에서 사망하는 것으로 알려져 있으며, 위험인자로는 심한 혈관협착, 측부순환 발달이 불량한 경우 등이 있으며, 경동맥협착의 경우 반대편 경동맥협착이 동반되어 있는 경우도 위험인자에 속한다. 재관류치료 후 일시적인 신경증상의 악화가 동반되는 경우도 만성적으로 저관류되는 부위에 과관류가 일어남으로써 또는 재관류로 인한 기존 뇌혈류가 전위되어 일시적인 watershed 영역의 변화 등이 원인으로 생각된다. 그러므로 아세타졸아마이드 부하 뇌혈류 SPECT에서 뇌혈관예비능의 손상이 심한 경우 재관류 치료 후 과관류증후군 발생 위험도가 높을 것으로 예측되며, 이러한 경우 단계적 혈관확장술 등 치료방

침을 결정하는데 도움이 된다.

지주막하출혈: 지주막하출혈후 2주 이내에 발생하는 신경학적 결손의 원인으로는 혈관수축, 내출혈, 수두증, 뇌부종, 전해질 불균형 등의 원인이 있을 수 있으며, 이 중 혈관수축이 가장 흔한 원인으로 뇌허혈을 초래하여, 약 20%의 환자에서 사망이나 영구적 신경손상 등의 심각한 합병증을 일으킨다. 지주막하출혈에 의한 급성기 혈관수축의 기전은 uridine triphosphate, 세로토닌, 노아드레날린 등의 물질에 대한 혈관의 반응성 증가로 혈관벽 근육의 칼슘이 증가하여 혈관수축이 일어나는 것으로 알려져 있다. 초기에는 지주막하출혈에 노출된 대뇌의 큰 동맥들의 수축되는 것을 보상하기 위하여 대뇌실질내의 작은 혈관들은 확장, 혈류량을 증가 시킴으로써 혈류를 유지하려고 하는 자율조절기능(또는 혈관예비능)이 작동한다. 그러므로 뇌혈관촬영에서 근위부 혈관의 수축이 있더라도 원위부의 유막 동맥들이 확장되고 뇌혈류량이 증가하게 되지만 혈관수축이 심해져서 뇌혈류압이 계속 떨어지면 원위부 혈관이 뇌혈관예비능이 소실되어 더 이상의 혈관확장으로 뇌혈류를 유지할 수 없는 상태에 이르게 된다. 뇌혈관촬영으로 비교적 큰 혈관의 혈관수축은 확인이 가능하지만, 작은 관통혈관(perforators)의 수축이나 경미한 혈관수축은 잘 관찰할 수 없으므로 뇌실질의 허혈상태를 정확히 판단하기 어렵다. 경두개도플러를 이용하여 임상적으로 의심되는 영역의 뇌혈류 유속을 측정할 수 있으나 검사자의 경험에 따라 결과에 영향을 줄 수 있다. SPECT 검사는 CT, MRI에서의 병변이나 혈관촬영에서보다 많은 혈류 결손들을 보이며, 이환된 혈관분지에 의해 혈류공급을 받는 부위의 혈류감소 이외에도 뇌혈관수축과 무관한 일차적 뇌대사저하 및 이에 따른 혈류 감소, 헤리현상에 의한 이차부위의 혈류 및 대사저하, 혈관촬영에서 잘 볼 수 없는 작은 혈관의 혈류 감소 등에 의한 것으로 생각된다. 아세타졸아미드 부하 뇌혈류 SPECT는 뇌혈관예비능이 소실된 부위를 찾아냄으로써 혈관수축의 발생, 중증도, 범위를 알아볼 수 있는 비침습적 방법으로 환자의 치료, 예후 예측에도 도움을 줄 수 있다.¹⁸⁾

References

1. 통계청. 사망연보. 2006.
2. Lee BC, Yu KH. Epidemiology of stroke in Korea. *J Korean Med Assoc* 2002;45:1415-21.
3. Roh JK. Cerebrovascular disease: overview and classification. *J Korean Med Assoc* 2002;45:1404-14.
4. Ma J, Mehrkens JH, Holtmannspoetter M, Linke R, Schmid-elsaesser R, Steiger HJ. Perfusion MRI before and after acetazolamide administration for assessment of cerebrovascular reserve capacity in patients with symptomatic internal carotid artery occlusion: comparison with Tc-99m ECD SPECT. *Neuroradiology* 2007;317-26.
5. Yamamoto KK, Miyata T, Momose T, Nagayoshi M, Akagi D, Hosaka A, et al. Reduced vascular reserve measured by stressed single photon emission computed tomography carries a high risk for stroke in patients with carotid stenosis. *Int Angiol* 2006;25:385-8.
6. Devous MD. SPECT brain imaging in cerebrovascular disease. In: Ell P, Gambhir SS, editors. Nuclear medicine in clinical diagnosis and treatment. 3rd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2004. P.1355-70.
7. Friedman NC, Burt RW. Cerebral perfusion imaging. In: Henkin RE, Bova D, Karesh SM, Dillehay GL, Wagner RH, Hlama JR, et al. editors. Nuclear Medicine. 2nd ed. Philadelphia: Mosby; 2006. P.1255-81.
8. Normal vascular anatomy. In: Osborn AG, Diagnostic neuro-radiology. St. Louise: Mosby; 1994: p.117-53.
9. North American symptomatic carotid endarterectomy trial collaborators. beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N Engl J Med* 1991;325:445-53.
10. Barnett HJ, Taylor DW, Eliasziw M, Fox AJ, Ferguson GG, Haynes RB, et al. Benefits of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis. *N Engl J Med* 1998;339:1415-25.
11. European carotid surgery trialists' collaborative group. Randomised trial of endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European carotid surgery trial (ECST). *Lancet* 1998;351:1379-87.
12. Lee DS, Hyun IY, Wang KC, Cho BK, Chung J-K, Lee MC. Evaluation of surgical outcome with pre-and post-operative rest/acetazolamide T-99m HMPAO SPECT in children with moyamoya disease. *Korean J Nucl Med* 1998;32:314-24.
13. So Y, Lee HY, Kim SK, Lee JS, Wang KC, Cho BK, et al. Prediction of the clinical outcome of pediatric moyamoya disease with postoperative basal/acetazolamide stress brain perfusion SPECT after revascularization surgery. *Stroke* 2005;36:1485-9.
14. Ogasawara K, Yukawa H, Kobayashi M, Mikami C, Konnon H, Terasaki K, et al. Prediction and monitoring of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy by using single-photon emission computerized tomography scanning. *J Neurosurg* 2003;99: 504-10.
15. Shim JH, Rha HK, Kim SR, Joo WI, Kim MC, Choi CR. Hyperperfusion syndrome after extracranial-intracranial bypass surgery. *J Korean Neurosurg Soc* 2003;34:526-30.
16. Hosoda K, Kawaguchi T, Ishii K, Minoshima S, Shibata Y, Iwakura M, et al. Prediction of hyperperfusion after carotid endarterectomy by brain SPECT analysis with semiquantitative statistical mapping method. *Stroke* 2003;34:1187-93.
17. Kaku Y, Yoshimura SI, Kokuzawa J. Factors predictive of cerebral hyperperfusion after carotid angioplasty and stent placement. *Am J Neuroradiol* 2004;25:1403-8.
18. Choi YY, Kim JM, Kim KM, Choi IS, Cho S. Utility of acetazolamide-enhanced brain perfusion SPECT in predicting outcome of the patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Korean J Nucl Med* 2001;35:241-50.