



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



**비영리.** 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



**변경금지.** 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

의학 석사학위 논문

모야모야병에서 관류 자기공명영상의  
유용성

아주대학교 대학원

의학과

권우철

모야모야병에서 관류 자기공명영상의  
유용성

-단일광자단층촬영(SPECT)과의 비교-

지도교수 서 정 호

이 논문을 의학 석사학위 논문으로 제출함

1999 년 12 월

아주대학교 대학원

의 학 과

권 우 철

# 권우철의 의학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

아주대학교 대학원

1999년 12월 일

## 감사의 글

새 천년을 앞두고 한 세기를 정리하는 사회적 분위기 속에서 저 개인의 지난 날들을 생각하면 가슴이 벅차 오릅니다. 두려움과 기대감으로 대학원 과정을 시작한 지 엇그제 같은데 벌써 마지막 관문인 논문을 마무리하면서 저를 도와주신 분들에게 감사의 글을 드리게 되었습니다.

이 논문을 완성함에 있어 간곡하신 지도와 교열의 노고를 베푸신 항상 존경하는 은사 서 정호 교수님께 충심으로 감사를 올립니다. 공사다망하신 가운데에서도 끊임없는 관심을 가져주신 김 선용 교수님, 부족한 점을 지적하여 주시고 세심한 지도를 하여주신 강 해진 교수님. 이 훌륭하신 세 분을 지도교수로 모실 수 있었던 것은 저에게 커다란 행운이었습니다. 너무나 바쁘신 가운데에서도 자상한 지도를 해주신 세 분께 진심으로 머리 숙여 감사 드립니다.

이 논문이 완성될 수 있도록 자료수집을 도와주신 김 준호, 백 남철 선생님께 감사 드립니다. 여러모로 격려해주시고 도와주신 선후배 동료 여러분의 무한한 은혜에 경의를 표합니다.

제가 무슨 일을 하든지 자신감을 가지고 도전할 수 있는 것은 언제나 헌신적으로 저를 지지하고 조건없이 신뢰해주는 아버지와 어머니께 이 작은 결과와 사랑을 드립니다.

항상 사랑과 격려로 든든한 후원자가 되어준 아내 남 현주와 이제 세상을 걷기 시작한 아들 혁민과 함께 기쁨을 나누고 싶습니다.

1999.12

권 우철 드림

-국문 초록-

모야모야병에서 관류 자기공명영상의 유용성

- 단일광자단층촬영 (SPECT) 과의 비교 -

목적 : 모야모야병의 수술 전 뇌 관류상태의 평가와 수술 후 추적검사로 시행한 관류 자기공명영상을 단일광자단층촬영(SPECT; single positron emission computed tomography) 영상과 비교하여 관류 자기공명영상의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법 : 뇌혈관조영술로 진단된 모야모야병 환자들 중에서 수술 전 평가를 시행한 6 명과 혈관 우회술을 시행한 4 명 등 모두 10 명의 환자에서 관류 자기공명영상과 SPECT 를 시행하였다. T2 강조 영상을 시행하여 관류 결손 부위를 찾은 후 경사 Echo planar imaging(EPI) 기법 (TR/TE=1500/80msec, 숙임각 : 90 도, 128x128 화소, 단발포기법)을 이용하여 기초 영상 자료를 얻은 10 초 후 체중 당 0.2 mmol 의 조영제를 일시 주입 후(5ml/sec) 절편 당 120 개의 원 영상 자료를 얻었다. 후영상처리 프로그램을 이용, 상대적 국소 뇌혈류량(relative regional cerebral blood volume; rCBV)을 구하여 관류 SPECT 영상과 비교하였다. 관류 결손부위는 시각적 영상평가로 SPECT 와 비교하였다. 객관적 영상평가는 병변의 화소당 평균 신호강도를 구하여 반대편 건측 뇌 회백질의 화소당 평균

신호강도로 나누어서 평균 관류비를 얻어 SPECT 영상과 비교하였다.

결과 : 10 명의 환자 모두에서 관류 결손 부위가 보였으며 관류 결손부위는 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 영상간에 비교적 일치하였다. 관류 자기공명영상에서 구한 상대적 국소 뇌혈류량 지도 (rCBV map)에서 관류 결손부위(D)와 반대편 대뇌반구(C)의 관류비(D/C)의 평균은 0.72 이었고 관류 SPECT 에서는 평균 0.90 이었다. 이들 값은 Wilcoxon test 로 비교한 결과 관류 자기공명영상이 관류 SPECT 영상에 비해 관류 결손의 정도를 나타냄에 있어 좀 더 민감하다는 것을 통계학적 유의성으로 보여 주었다.

결론 : 관류 자기공명영상은 관류 SPECT 영상에 비해 좀 더 뚜렷이 관류 결손부위를 나타낼 뿐만 아니라 공간 해상도가 우수하고, 영상 획득 시간이 짧으며, 부수적인 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있어서 모야모야 병의 수술 전 평가와 수술 후 추적검사에 유용할 것으로 생각된다.

## 본 문 차 례

I.	서 론.....	1
II.	대상 및 방법.....	3
III.	결과.....	9
IV.	고찰.....	17
V.	결론.....	24
	참고 문헌.....	25
	영문 초록.....	29



## 그림 차례

**Figure 1.** Moyamoya disease of left parietooccipital area in 12 years old patient. 3D TOF MRA(A,B) show stenosis of the distal portion of both ICA and left PCA. Bilateral basal collaterals are seen. Axial image of T1WI(C), T2WI(D), Gd-enhanced T1WI(E,F) show multiple signal voids at the bilateral basal ganglia and thalamus, compatible with moyamoya vessels. Axial SPECT images using  $^{99m}\text{Tc}$ -labeled ECD of baseline study(G,I) and acetazolamide stress study(H,J) show reduced uptake in left cerebral hemisphere. Acetazolamide stress studies shows flow reserve function. rCBV maps(K,L) demonstrate decreased perfusion in left parietooccipital area, which has MCA and PCA occlusion.

..... 11

**Figure 2.** Post-EDAS status of moyamoya disease of both frontal area in 9 years old patient. Axial perfusion SPECT images(A,B) show decreased rCBF at right frontotemporal area. rCBV maps(C,D) show decreased perfusion in the right frontotemporal area.

..... 13

**Figure 3.** Moyamoya disease of right frontotemporal area in 35 years old patient. Axial perfusion SPECT images(A,B) show decreased rCBF at right frontotemporal area. rCBV maps(C,D) show decreased perfusion in the right frontotemporal area. Perfusion MR revealed better spatial resolution and anatomical details including gray and white matter differences.

..... 14

## 표 차례

표 1. 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 의 시각적 비교

**Table 1. Visual Comparison of Perfusion MR with SPECT**

..... 15

표 2. 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 의 정량적 비교

**Table 1. Quantitative Comparison of Perfusion MR with SPECT**

..... 16

## I. 서 론

모야모야병은 내경동맥 원위부에 원인 불명의 진행성 협착이 발생하는 질환이다. 소아의 대부분은 허혈성 증상을 보이고 성인에서는 대뇌출혈을 발현하며 병의 진행에 따라 뇌의 국소 관류는 악화되며 점차 신경학적 결함이 진행된다<sup>1,2</sup>. 이러한 허혈성 뇌손상을 줄이고 뇌의 측부순환 발달을 촉진시키기 위해 STA - MCA 연결술, Encephalo - myo - synangiosis (EMS), Encephalo - duro - arterio - synangiosis (EDAS), Encephalo - arterio - synangiosis (EAS) 등 여러 수술적 치료가 시도되고 있다<sup>3,4</sup>. 수술 효과를 확인하는 데에는 주로 뇌혈관조영술이 이용되고 있으나 침습적이고 특히 소아 환자에서는 특히 부담이 될 수 있기 때문에 추적검사로 반복 시행하기 어려운 경우가 많다. 또한 측부순환의 형성만 확인할 뿐 뇌조직의 관류 상태를 정확히 평가할 수 없는 단점이 있다. 따라서 국소 뇌혈류를 비침습적으로 평가하는데 기능적 영상진단 방법으로 단광자방출전산화 단층촬영 (single photon emission computed tomography ;SPECT)이 유용하게

---

<sup>1</sup> A.A. Tzika, R.L. Robertson, P.D. Barnes, S. Vajapeyam, P.E. Burrows, S.T. Treves, R.M. Scott. "Childhood moyamoya disease: hemodynamic MRI" *Pediatr Radiol*, 27, pp.727-735, 1997

<sup>2</sup> I. Yamada, Y. Murata, I. Umehara, S. Suzuki, Y. Matsushima. "SPECT and MRI evaluation of the posterior circulation in moyamoya disease" *J Nucl Med*, 37, pp. 1613-1617, 1996

<sup>3</sup> J. Karasawa, H. Kikuchi, S. Furuse, J. Kawamura, T. Sakaki. "Treatment of moyamoya disease with STA-MCA anastomosis" *J Neurosurg*, 49, pp. 679-688, 1978

<sup>4</sup> P. Adelson, R. Scott. "Pial synangiosis for moyamoya syndrome in children" *Pediatr Neurosurg*, 23, pp.26-33, 1995

이용되고 있다<sup>5,6,7</sup>. 그러나 촬영시간이 길고 공간해상도가 떨어지며 해부학적 영상을 같이 얻을 수 없는 단점이 있다. 최근 자기공명영상(magnetic resonance imaging ; MRI) 기술의 발달로 빠르고 정확한 진단이 가능해 졌고 자기공명혈관조영술(MR angiography)에 의하여 비침습적으로 혈관의 형태를 파악할 수 있게 되었다. 더욱이 혈역학적 정보를 얻기 위하여 T2\* 이완시간을 이용한 조영증강 경사예코 Echo planar imaging(EPI) 기법의 관류 자기공명영상이 사용되고 있다<sup>8,9,10</sup>.

본 연구에서는 모야모야병의 수술 전 뇌 관류상태의 평가와 수술 후 추적검사로 시행한 관류 MR 영상을 SPECT 영상과 비교하여 MR 영상의 유용성을 알아보고자 하였다.

---

<sup>5</sup> J.M. Mountz, N.L. Foster, R.J. Ackermann, L. Bluemlein, N.A. Petry, D.E. Kuhl. "SPECT imaging of moyamoya disease using 99mTc-HMPAO: Comparison with computed tomography findings" *J Comput Assist Tomogr*, 12, pp.247-250, 1988

<sup>6</sup> K. Ohashi, M. Fernandez-Ulloa, L.C. Hall. "SPECT, magnetic resonance and angiographic features in a moyamoya patients before and after external to internal carotid artery bypass" *J Nucl Med*, 33, pp. 1692-1695, 1992

<sup>7</sup> J.H. Miller, A. Khonsary, C. Raffel. "The scintigraphic appearance of childhood moyamoya disease on cerebral perfusion imaging" *Pediatr Radiol*, 26, pp.833-838, 1996

<sup>8</sup> I. Yamada, Y. Himeno, T. Nagaoka, H. Akimoto, Y. Matsushima, T. Kuroiwa, H. Shibuya. "Moyamoya disease: evaluation with diffusion-weighted and perfusion echo-planar MR imaging" *Radiology*, 212, pp.340-347, 1999

<sup>9</sup> J. Kleefield. "Cerebral blood flow :assessment with dynamic contrast-enhanced T2\*-weighted MR imaging at 1.5T." *Radiology*, 176, pp.211-220, 1990

<sup>10</sup> K. Tsuchiya, S. Inaoka, Y. Mizutani, J. Hachiya, "Echo-planar perfusion MR of moyamoya disease" *AJNR*, 19, pp.211-216, 1998

## II. 대상 및 방법

### A. 연구 대상

본 연구는 반신마비, 뇌출혈, 뇌신경계 증상으로 내원한 환자 중 뇌혈관조영술에서 모야모야병으로 확진된 10 예의 환자를 대상으로 하여 전향적 연구분석이 진행되었다. 환자의 연령 분포는 6 세에서 61 세까지였고(평균 28.7 세) 남자가 7 명, 여자가 3 명이였다.

### B. 연구 방법

본 연구에 포함된 모든 환자는 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 영상을 거의 같은 시기에 시행하여 두 방법간에 비교가 가능하도록 하였다. 총 10 예의 환자 중 모야모야병에 대하여 수술적 치료가 시도되기 전에 평가를 시행한 경우가 6 예이고 수술 후 추적 검사를 시행한 경우가 4 예 이었다. 그 중 간접 우회술인 EDAS(encephalo-duro-arterio-synangiosis)를 시행한 경우가 3 예, 천측두동맥 - 중뇌동맥(STA-MCA) 직접 우회술을 시행한 경우가 1 예이었다. 수술 후 추적 검사를 시행하기까지의 기간은 3 개월에서 31 개월 이었다. 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 영상을 수술 전 후에 모두 시행한 예가 적어서 두 방법간에 수술 전후를 비교하기는

곤란하였다.

## C. 영상 기술 및 자료화 방법

### 1. 자기공명영상 시행

자기공명영상 기기는 초전도형 1.5T unit(Signa, General Electric Medical System, Milwaukee, Wisconsin, USA)를 사용하였다. 전 대상자에게 관류 자기공명영상을 시행하기 전에 고식적 T2 강조 영상을 시행하여 관류 결손 부위를 시사하는 고신호 강도가 가장 크게 보이는 부위를 포함하는 연속된 단면의 level 을 정하였다. Single shot gradient EPI 기법으로 신호 강도의 변화 기준을 정하기 위한 기준(baseline) 영상 자료 촬영 후, 뇌혈류량 지도 작성을 위한 원 영상 자료(raw image data) 촬영 시작 약 10 초 후에 Gadolinium-DTPA(Magnevist, Schering, Germany)를 체중 1Kg 당 0.2 mmol, 초당 약 5ml 를 손으로 정맥 주입하였다. 고속 영상 기법으로는 다른 펄스열보다 좋은 측면 해상력과 정확한 시간 - 농도 곡선을 구현할 수 있고 다단면 영상이 가능하며 고속으로 촬영하면서 신호대 잡음비를 높게 유지시켜줄 수 있는 EPI 펄스열을 이용하였다. 그리고 gadolinium의 축적에 의한 T2\* 효과의 변화를 보기 위하여 경사예코 EPI 펄스열을 사용하였다. EPI 영상을 얻기 위한 영상 변수로는 TR = 1500msec, TE = 80msec, 숙임각 90 도, 화소의 크기 128x128, 영상영역(FOV)은 24x24 cm,

절편 두께 5 mm 로 하였다. 4 - 5 개의 단면에서 한 단면 당 120 개씩 모두 480 - 600 개의 영상을 얻었다.

## 2. 후영상 처리 과정

### (A) 이론적 배경

Gd-DTPA 는 자성 조영 물질로서 정맥 주입할 경우 혈관 밖으로 빠져 나가거나 조직으로 확산되지 않은 채 혈류에 남아있으면서 혈액 내 물 분자에 함유된 양성자들의 T2\* 값을 감소시켜 뇌 조직 내 혈관 부위의 국소 자기장의 변화를 주어서 일시적인 신호강도의 변화를 일으키게 한다. 조영제가 대뇌 국소 부위에 들어간 뒤 1차 통과되어 일어나는 신호 강도의 변화를 측정하여 시간 - 신호강도 곡선을 얻는다. 시간에 따른 영상 신호 강도의 변화, 일정 시간 t에서의 신호 강도는 초기 신호 강도와 에코 시간 및 그 부위에서의 T2\* 값으로 이루어진 자연 로그 함수(등식 1)로 표현된다. 이를 수식 변환을 하여 시간 - 이완율 곡선(등식 2)으로 변환할 수 있게 되며, 이를 적분하면 상대적 혈액량이 나오게 된다<sup>11</sup>.

$$S(t) = S(0) e^{-TE/T2^*} \quad \dots(\text{등식 1}) \quad S(t) : \text{시간 } t \text{에서의 신호 강도}$$

$$S(0) : \text{조영증강전의 신호 강도}$$

---

<sup>11</sup> S.-K. Lee, D.-I. Kim, et al. "Cerebral blood volume and relative perfusion rate mapping with contrast enhanced gradient echo planar imaging" *J Korean Radiol Soc*, 39, pp. 249-255, 1998

TE : echo time

$$\Delta R2^* = 1/T2^* = -\ln[S(t) / S(0)] \quad (\text{등식 2}) \quad \Delta R2^* : \text{이완율}$$

### (B) 후영상 처리 프로그램

수집되어진 원 영상 자료는 GE 워크스테이션으로 전송되어 시각적 영상 평가를 위한 상대적 국소 뇌혈류량(rCBV) 영상을 구성하였다. 내장된 소프트웨어 프로그램(Functool)을 통해 정상 뇌백질의 관류 정도를 기준으로 하여 상대적인 색수치로 변환하여 칼라 뇌관류 지도( color rCBV map)를 구성하였다. 또한 원 영상 자료(raw image data)를 이더넷(Ethernets)을 통하여 개인용 컴퓨터(PC)로 전송하여 영상처리전문 프로그램 IDL 5.0 (Interactive Data Language, Research Systems Inc., CO, USA) 을 이용하여 관심영역(ROI ; region - of - interest)별 화소의 평균 신호강도(average pixel signal intensity of rCBV in Region - of - interest)와 조영제가 최고 농도에 이르는 상대적 시간을 구하였다. 관심영역(ROI)는 시각적으로 관류가 가장 감소되어 있는 부위를 선정하였다. 그에 해당하는 반대편의 대뇌반구에서도 ROI(C)를 설정하여 화소당 평균 신호강도가 구해졌다.

### 3. 뇌 관류 SPECT 영상

뇌 관류 SPECT 영상은 관류 자기공명영상과 거의 같은 시기에 시행되



었으며 역시 관류 지도상의 병변 부위와 전측의 관류비(D/C)를 구하였다. 사용된 기기는 삼중 헤드(검출기)가 장착된 SPECT(MultiSPECT3, Siemens Gammasonics, Hoffman Estates, Ill)와 뇌 SPECT 전용 조준기 Fanbeam 이었다. 동위원소는  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD 25mCi 를 영상 획득 30 분 전에 정맥주사하였다. 멈춰 촬영하는 방식(stop and shoot)으로 각 검출기 마다 120 도를 회전 하면서 3 도 간격으로 30 초당 1 개의 영상씩 20 분간 40 개의 영상을 얻었으며 결과적으로 360 도 투사 영상으로 모두 120 개의 영상을 얻었다. 영상의 재구성은 Butterworth 여과기로 여과후역투사(filtered back projection)를 통해 이루어졌다.

#### D. 영상자료 분석

##### 1. 시각적 영상 평가

관류 자기공명영상에서의 관류 결손에 대한 시각적 평가는 육안적으로 관찰하여 고식적 T2 강조 영상과 뇌 혈류량 지도(rCBV map)에서 국소 뇌 혈류 양상을 평가하였다. 관류의 감소가 반대편 정상 뇌 회백질의 관류보다 현저할 경우를 ‘++’, 그 차이를 인식하지 못할 정도를 ‘±’, 그리고 중간 정도의 관류 감소가 관찰되는 경우를 ‘+’로 정하였다. 관류 결손의 위치와 크기를 관류 SPECT 와 비교하였다.

## 2. 객관적 영상 평가

시각적 영상 평가와는 별도로 뇌의 국소 관류량에 대한 정량분석을 시행하였다. 이 평가는 관류가 가장 감소되어 있는 부위(D)와 그에 해당하는 반대편 대뇌반구측에서(C) 화소당 평균 신호강도를 구하여서, 관류결손 부위를 반대편 건측의 뇌 회백질내 화소당 평균 신호강도로 나눈 상대적 관류비(D/C)를 이용하여 시행되었다. 관심영역 별 화소의 평균 상대적 혈류량 뿐만 아니라 조영제가 최고 농도에 이르는 상대적 시간도 구하였다. 상대적 국소 조영제 최고농도 도달시간(relative time to peak contrast concentration ; rTTP)은 관류결손의 반대편 건측(C)과 관류결손부위(D)의 시간비(C/D)를 비교하였다. 통계분석은 비모수 검정법인 Wilcoxon test 를 시행하여 관류 SPECT 영상에 의한 관류비에 대해 관류 자기공명 영상에 의한 관류비와 시간비를 비교 분석하였다.

### III. 결 과

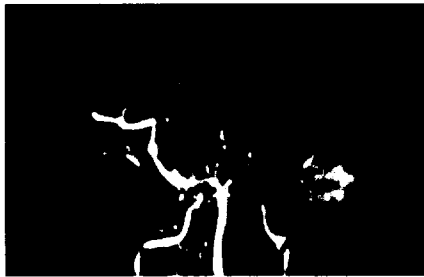
#### A. 시각적 영상 평가 (표 1)

10 명의 환자 모두에서 관류 감소 부위가 있었으며 이러한 관류 결손의 위치와 크기는 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 영상에서 일치하였다. 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 영상에서 보이는 관류 결손 부위는 T2 강조영상에서 보이는 관류 결손 부위보다 크게 보였다.

#### B. 객관적 영상 평가 (표 2)

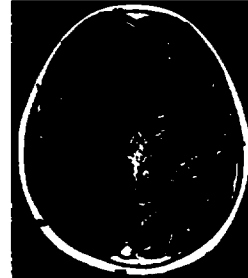
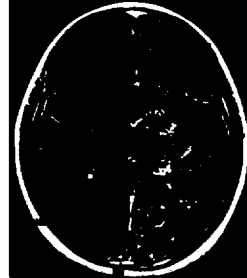
관류 자기공명영상의 상대적 국소 뇌 혈류량 지도 (rCBV map) 에서 관류 결손부위(D)와 반대편 대뇌반구(C)에서 얻은 화소당 평균 신호강도를 이용해 계산한 관류비(D/C)의 평균은 0.72 이었다. 상대적 국소 조영제 최고농도 도달 시간 지도 (rTTP map) 에서 관류 결손의 반대편 부위(C)와 관류결손부위(D)의 시간비(C/D)의 평균은 0.76 이었다. 관류 SPECT 에서 관류 결손부위와 반대편 건측의 관류비는 평균 0.90 이었다. 이들 값으로 비모수 검정법인 Wilcoxon test 로 쌍체비교를 시행한 결과 관류 SPECT 영상에 의한 관류비에 대해 관류 자기공명영상에 의한 관류비와 시간비가 각각 0.007 과 0.008 의 2-tailed significance 값을 보여 관류 자기

공명영상이 관류 SPECT 영상에 비해 관류 결손의 정도를 나타냄에 있어 좀 더 민감하다는 것을 통계학적 유의성으로 보여 주었다. 그러나 관류 자기공명영상에 의한 관류비와 조영제 도달 시간비 간에는 통계학적 유의성이 없었다. 관류 자기공명영상에 의한 관류지도와 시간지도가 관류 SPECT 영상에 의한 관류 지도에 비해 공간 해상능이 뛰어나며 백질과 회질의 구별을 비롯한 해부학적 세부묘사가 좀 더 뚜렷이 보였다.



A

B



C

D

E

F



G



H



I



J

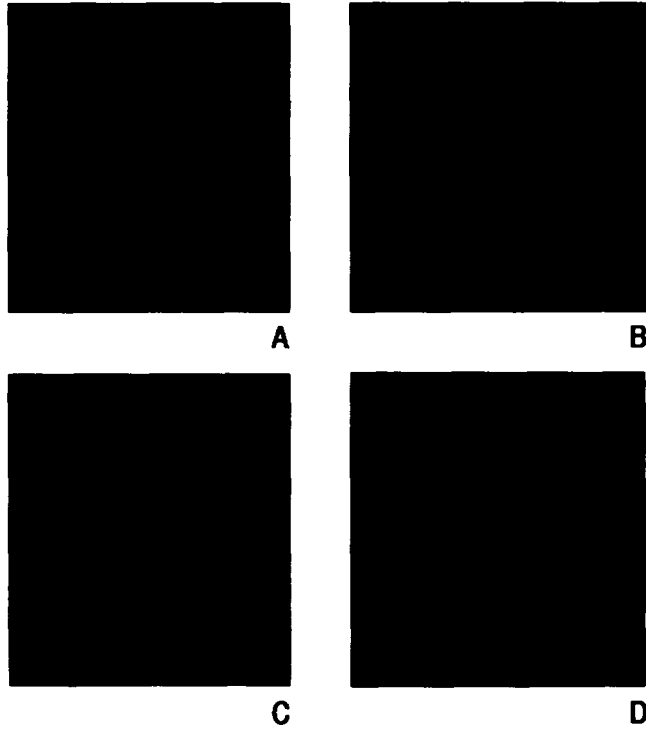


K

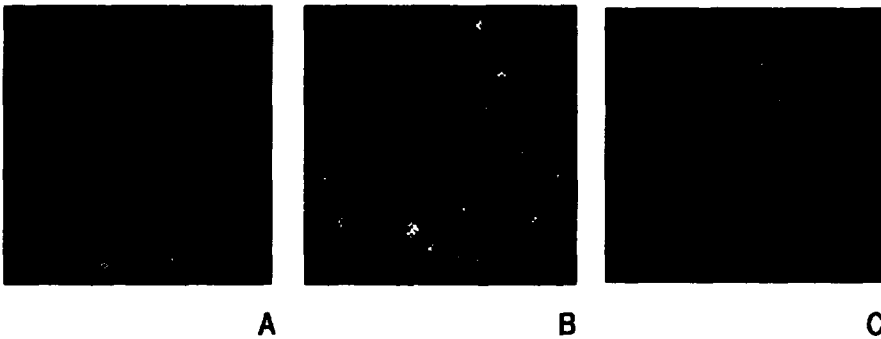


L

**Figure 1.** Moyamoya disease of left parietooccipital area in 12 years old patient. 3D TOF MRA(A,B) show stenosis of the distal portion of both ICA and left PCA. Bilateral basal collaterals are seen. Axial image of T1 WI(C), T2 WI(D), Gd-enhanced T1 WI(E,F) show multiple signal voids at the bilateral basal ganglia and thalamus, compatible with moyamoya vessels. Axial SPECT images using <sup>99m</sup>Tc-labeled ECD of baseline study(G,I) and acetazolamide stress study(H,J) show reduced uptake in left cerebral hemisphere. Acetazolamide stress studies shows flow reserve function. rCBV maps(K,L) demonstrate decreased perfusion in left parietooccipital area, which has MCA and PCA occlusion.



**Figure2.** Post-EDAS status of moyamoya disease of both frontal area in 9 years old patient. Axial perfusion SPECT images(A,B) show decreased rCBF at right frontotemporal area. rCBV maps(C,D) show decreased perfusion in the right frontotemporal area.



**Figure3.** Moyamoya disease of right frontotemporal area in 3.5 years old patient. Axial perfusion SPECT images(A,B) show decreased rCBF at right frontotemporal area. rCBV maps(C,D) show decreased perfusion in the right frontotemporal area. Perfusion MR reveals better spatial resolution and anatomical details including gray and white matter differences.



표 1. 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 의 시각적 비교

Table 1. Visual Comparison of Perfusion MR with SPECT

Case No.	Sex	Age	Involved Vessel	Operation	Location	Perfusion MR	SPECT
1	F	9	Both MCA, ACA	EDAS, both	Frontal	++	++
2	M	61	Both MCA, Rt ACA	EDAS, both	Frontal	++	++
3	M	18	Both MCA, ACA	EDAS,Rt	Frontal	++	++
4	M	40	Lt MCA	STA-MCA, Lt	T-P	+	+
5	M	43	Lt MCA, Both ACA	PreOP	F-T	++	++
6	M	6	Rt ACA	PreOP	Frontal	+	+
7	M	8	Both MCA, ACA	PreOP	F-T	+	+
8	M	35	Both MCA, ACA	PreOP	F-T	+	+
9	F	12	Both MCA, Lt PCA	PreOP	P-O	++	++
10	F	55	Lt MCA	PreOP	T-P	+	+

D: ROI of decreased perfusion

C: ROI of contralateral side to D

EDAS: encephalo-duro-arterio-synangiosis

STA-MCA: anastomosis between superficial temporal artery and middle cerebral artery

PreOP: preoperative state

T-P: Temporoparietal

F-T: Frontotemporal

P-O: Parietooccipital

표 2. 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 의 정량적 비교

Table 1. Quantitative Comparison of Perfusion MR with SPECT

Case No.	D/C of rCBV	C/D of rTTP	D/C of SPECT
1	0.81	0.77	0.90
2	0.63	0.69	0.82
3	0.75	0.62	0.86
4	0.95	0.82	0.92
5	0.71	0.89	0.91
6	0.70	0.90	0.96
7	0.81	0.97	0.97
8	0.89	0.76	0.92
9	0.58	0.58	0.82
10	0.40	0.61	0.95
Average	0.72	0.76	0.90

D: ROI of decreased perfusion

C: ROI of contralateral to D

rCBV: regional cerebral blood volume

rTTP: relative time to peak contrast concentration

## IV. 고 찰

### A. 관류 자기공명영상의 이론적 배경

관류(perfusion)란 주변 조직으로 산소와 양분을 공급하기 위하여 모세혈관으로 흐르는 혈류를 지칭하며 보통 단위 시간당 조직 100gram 당 공급되는 혈액량으로 나타낸다. 정상 뇌회질 및 백질의 관류량은 각각 70 - 90ml/min/100gram, 20 - 30ml/min/100gram 으로 뇌회질이 백질보다 2 배 이상 많은 것으로 알려져 있다. 관류를 측정하는 방법으로 PET, SPECT, Xenon CT 등을 이용할 수 있으나 이런 핵의학적 기법과 비교했을때 MRI는 동위원소를 사용하지 않고 시간 및 공간 해상도가 높은 장점이 있다. 또한 SPECT가 30분 정도의 영상화시간이 소요되는 반면 관류 자기공명영상은 영상획득시간이 2-3분인 장점이 있다.

자기공명영상을 이용한 뇌의 관류영상의 기법은 크게 두가지로 고속영상 기법과 Gd-DTPA와 같은 조영제를 이용하는 first pass technique과 조영제를 사용하지 않는 arterial spin tagging (labeling) technique이 있으나 first pass technique이 가장 널리 이용되고 있다<sup>12,13,14</sup>. 고식적 자기공명영상

<sup>12</sup> K.A. Rempp, G. Brix, F. Wenz, et al, "Quantification of regional cerebral blood flow and volume with dynamic susceptibility contrast-enhanced MR imaging" *Radiology*, 193, pp.637-641, 1994

<sup>13</sup> R.R. Edelman, H.P. Mattle, D.J. Atkins, H. Thomas, J.P. Finn, C. Mayman, M. Ronthal, H.M. Hoogewood. "Cerebral blood flow: assessment with dynamic contrast-enhanced T2\*-weighted MR imaging at 1.5T" *Radiology*, 176, pp 211-220, 1990

<sup>14</sup> S. Warach, J.F. Dashe, R.R. Edelman. "Clinical outcome in ischemic stroke predicted by early diffusion-weighted and perfusion magnetic resonance imaging: a preliminary analysis" *J Cereb Blood Flow Metab*, 16,

과 관류 자기공명영상의 가장 큰 차이점이 상자성 조영제의 어떤 성질을 이용하느냐에 따라 달라진다. 고식적 자기공명영상은 손상된 혈-뇌-장벽을 통해 혈관 내에서 조직으로 빠져나간 뒤 그 부위에 고정되어 있는 상자성 조영제에 의해 국소적 T1 값의 감소가 일어나는 것으로 허혈, 신생물등에 의해 이미 손상되어 세포가 형태학적 변화를 가져온 것을 감지해내는 방법이다. 반면 관류 자기공명영상은 상대적으로 대뇌 안에서 작은 공간을 차지하는 혈류 공간을 상자성 조영제가 지나면서 일으키는 T2\* 값의 감소를 알아내어 대뇌 세포에 형태학적 이상이 오지 않더라도 혈액학적 변화가 있는 상황을 알아내는 방법이다. 이러한 미세한 물리적 변화를 감지하는 차이가 있어 주로 경사에코 펄스열이 관류 자기공명영상에 사용되는 이유이기도 하다<sup>15</sup>. 보통 사용되는 조영제 농도의 두 배 정도 (0.2mmol / kg of Gd-DTPA)를 비교적 원위부 정맥에서 수초 이내로 급속히 주입하면서 국소자장의 불균질도에 예민한 T2\* 강조 고속촬영 기법으로 1 - 2 초당 한 장씩 40 - 60 초 동안 역동적으로 촬영하게 된다. 이 기법에 사용되는 펄스 파형에는 스피에코 기법과 경사자계 에코기법 두가지가 이용되는데 보통 3 초 이내의 짧은 시간내에 영상을 얻을 수 있어야 하며 조영제에 의한 국소 자장의 변화에 예민해야 한다. 보통의 스

---

pp. 53-59, 1996

<sup>15</sup>S.-K. Lee, D.-I. Kim, et al. op.cit. pp. 249-255, 1998

핀에코 기법은 고속 영상을 만들 수 없으므로 신속한 영상획득을 위해 echo-planar SE 기법을 이용하며 이 기법을 이용하면 모세혈관에 의한 영향을 주로 받아 미세혈류를 좀 더 잘 반영하나 신호강도가 약하고 경사 자체 에코기법은 FLASH (SPGR), turbo-FLASH, echo-planar FID 기법을 이용하여 고속영상을 만들고 이때는 주로 큰 혈관, 즉 주위 정맥혈액에 의해 영향을 받아서 큰 신호강도의 변화를 보인다. 관류 자기공명영상의 원리는 상자성(paramagnetic) 조영제의 일시주입(bolus injection)시 혈류를 따라 뇌 실질의 모세혈관을 1차 통과할 때 국소 자기장을 왜곡시켜 비균질성(inhomogeneity)이 발생하고 이는 그 조직의 횡이완시간( $T2^*$ )을 단축시켜 관류조직은 저신호강도를 관류결손부위는 고신호강도를 보이게 된다. 신호강도의 변화와  $T2^*$ 값은 지수함수 관계이며 이를 시간-이완을 곡선으로 변환하여 적분하면 상대적 국소 뇌혈류량(rCBV)이 구해지며 이를 칼라 영상으로 나타낸다<sup>16</sup>. 시간-신호강도 곡선에서 신호강도가 가장 낮은 점(국소 조영제 농도가 가장 높은 점)에 도달하는 상대적 시간으로 상대적 국소 조영제 최고농도 도달시간 지도(rTTP map)을 구성한다. 조직으로 들어가는 동맥의 유입함수를 구하여 절대 혈액량을 구하기도 하나 계산이 어렵고 상대값만으로도 임상적용에 충분하여 뇌실질로 유입되는 동맥혈

---

<sup>16</sup> S.-K. Lee, D.-I. Kim, et al. op.cit. pp. 249-255, 1998

내 조영제 농도가 같다는 가정하에 화소별 국소 뇌혈용적의 상대값만으로 지도를 구성하여 뇌혈류량의 전체적인 분포를 파악하고 있다.

## B. 관류 자기공명영상의 유용성

모야모야병의 진단은 뇌혈관조영술로 쉽게 할 수 있고 전산화단층촬영, 자기공명영상, 자기공명혈관촬영등이 진단에 많은 도움을 주고 있으나 뇌 관류를 평가할 때 이들 영상기법으로 관찰되지 않는 미세 측부순환에 의한 관류영역이 있어 실제 임상소견과 일치하지않는 경우도 있고 관류의 양적 평가가 어려워, 기능적 영상기법인 관류 SPECT 영상이 널리 이용되고 있으며 PET 영상도 이용되고 있다. 이런 기능적 핵의학 영상의 장점은 영상으로 나타난 결손부위와 임상증상이 일치하며 관류의 양적 평가가 가능하고 예후와 수술적응의 결정에 중요한 정보를 제공한다는 점이다. 최근 관류 자기공명영상을 이용한 대뇌의 혈역학적 상태를 평가하는 기능적 영상 기법에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있다<sup>17,18</sup>. 자기공명영상은 세포의 기능적 손상이 온 다음 형태학적 이상이 초래되어

---

<sup>17</sup> W.M. Adams, R.D. Laitt, K.L. Li, A. Jackson, C.R. Sherrington, P. Talbot. "Demonstration of cerebral perfusion abnormalities in moyamoya disease using susceptibility perfusion- and diffusion- weighted MRI" *Neuroradiology*, 41, pp.86-92, 1999

<sup>18</sup> J.W. Belliveau, B.R. Rosen, H.L. Kantor, et al. "Functional cerebral imaging by susceptibility-contrast NMR" *Magn Reson Med*, 14, pp. 538-546, 1990

T2 강조영상에서 고신호 강도 병변이 나타나야 감지가 가능한데 비해 관류 자기공명영상은 가장 초기 단계인 혈역학적 변화를 알아낼 수 있어 고식적 자기공명영상이나 CT에서 이상소견을 발견할 수 없는 초급성 허혈성 뇌경색증의 조기진단과 확산강조 영상과 더불어 사용될 경우 뇌경색의 경계부위를 영상화 할 수 있을 것으로 기대된다<sup>19,20</sup>.

### C. 결과 분석 및 제한점

모야모야병의 뇌관류 평가에서 관류 자기공명영상과 관류 SPECT 영상을 비교한 문헌을 보면, Tzika 등은 8명의 소아 모야모야병 환자에서 spoiled gradient echo 관류 자기공명영상을 시행하였고 그 중 SPECT를 실시하였던 5명과의 비교에서 두 방법에 의한 관류양상이 공간적 일치성을 보인다고 하였다<sup>21</sup>. 또 EPI 기법으로 19명의 환자에서 관류 자기공명영상을 시행한 Tsuchiya 등은 SPECT를 시행한 11명 중 9명에서 두 방법간에 혈역학적 소견이 일치한다고 보고하고 있어 저자들의 연구 결과와 크게 다르지 않았다<sup>22</sup>. 본 연구에서는 모야모야병의 관류 결손의

---

<sup>19</sup> S. Warach, W. Li, M. Ronthal, R.R. Edelman. "Acute cerebral ischemia: evaluation with dynamic contrast-enhanced MR imaging and MR angiography" *Radiology*, 182, pp. 41-47, 1992

<sup>20</sup> A.G. Sorensen, F.S. Buonanno, R.G. Gonzalez, et al. "Hyperacute stroke: Evaluation with combined multisection diffusion-weighted and hemodynamically weighted echo-planar MR imaging" *Radiology*, 199, pp. 391-401, 1996

<sup>21</sup> A.A. Tzika, R.L. Robertson, P.D. Barnes, S. Vajapeyam, P.E. Burrows, S.T. Treves, R.M. Scott. op.cit. pp.727-735 1997

<sup>22</sup> K. Tsuchiya, S. Inaoka, Y. Mizutani, J. Hachiya, op.cit. pp.211-216, 1998

시각적 평가에서 관류 자기공명영상과 SPECT와는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 즉 SPECT는 비관혈적 검사로서 수술 전 후의 뇌 혈류의 호전 정도를 평가하는데 유용하다. 정량적으로 얻어진 관류비를 비교하면 SPECT에서 보다 관류 자기공명영상에서 허혈성 뇌질환 환자에게 더 유용한 정보를 제공할 수 있으리라 사료된다. 그러나 자기공명영상은 한정된 단면의 수로 인한 특정 병변과 그 주변 단면에서만 관류 자기공명영상 이루어져 뇌 혈류량의 전체적인 분포를 파악하기에는 한계가 있을 수 밖에 없다. 좀 더 많은 단면에 대해 관류 영상을 시행할 수 있는 자기공명영상 장치의 개발이 이루어져 이러한 한계가 보완될 것으로 전망한다. 또한 이 연구는 관류 자기공명영상을 시행함에 있어 휴식상태의 뇌혈류 상태만 평가하였다는 점이다. 이 경우 괴사 또는 심한 허혈부위만 검출할 뿐 대부분의 만성 뇌혈관 질환에 동반되는 혈류비축(flow reserve) 감소는 평가하지 못한다. 소아 모야모야병에서 혈류 비축능의 저하가 있음은 acetazolamide를 이용한 연구를 통하여 밝힐 수 있으며 추후 관류 자기공명영상에 응용된 연구가 뒤따르리라 기대한다. 혈류 비축능에 대한 평가 부분은 아직까지 SPECT 검사의 가장 큰 장점으로 알려져 있다. 관류 자기공명영상은 조영제의 급속 주입이 필수적이며 조영제의 주입속도 및 주입용량에 따라 혈액학적 정보가 달라질 수 있으므로 자동주입기



(autoinjector)의 사용이 바람직하나 본 연구에서는 손으로 주입하여 각 검사간 조건이 같지 않다는 단점이 있다. 큰 신호변화를 얻기 위해서 조영제의 양을 늘려야 한다는 단점이 있으며 적은 양의 조영제로 큰 신호변화를 일으킬 수 있는 강력한 상자성 조영제의 개발이 필요하다. 그 외에도 촬영 도중 움직임이 없도록 환자의 협조가 필수적이다. 관류 자기공명영상은 일반적인 자기공명영상 기기에서도 시행될 수 있으나 획득한 원 영상 자료를 처리 할 수 있는 프로그램이 부족하여 국내에서는 각 기관별로 개발한 것을 사용하는 실정으로 컴퓨터 기술의 발전으로 가까운 장래에 간편하게 쓸 수 있는 표준화된 프로그램의 개발을 기대해 본다.

## V. 결 론

경사자계 EPI 기법의 관류 자기공명영상이 제공하는 혈역학적 정보는 관류 SPECT 영상에 비해 좀더 민감하게 관류 결손을 나타낸다. 또한 관류 자기공명영상은 관류 SPECT 영상에 비해 공간 해상도가 우수하고 영상 획득 시간이 짧으며 관류 이외에 자기공명영상이 제공하는 해부학적 정보도 얻을 수 있다는 장점이 있어 모야모야병의 수술 전 후 검사로 유용하리라 사료된다.

## 참 고 문 헌

A.A. Tzika, R.L. Robertson, P.D. Barnes, S. Vajapeyam, P.E. Burrows, S.T. Treves, R.M. Scott. "Childhood moyamoya disease: hemodynamic MRI" *Pediatr Radiol*, 27, pp.727-735, 1997

A.G. Sorensen, F.S. Buonanno, R.G. Gonzalez, et al. "Hyperacute stroke: Evaluation with combined multisection diffusion-weighted and hemodynamically weighted echo-planar MR imaging" *Radiology*, 199, pp. 391-401, 1996

H.J. Aronen, I.E. Gazit, D.N. Louis, et al. "Cerebral blood volume maps of gliomas: comparison with tumor grade and histologic findings" *Radiology*, 191, pp.41-51, 1994

H.J. Aronen, J. Glass, F.S. Pardo, et al. "Echo planar MR cerebral blood volume mapping of gliomas. Clinical utility" *Acta Radiol*, 36, pp.520-528, 1995

I. Yamada, Y. Murata, I. Umehara, S. Suzuki, Y. Matsushima. "SPECT and MRI evaluation of the posterior circulation in moyamoya disease" *J Nucl Med*, 37, pp. 1613-1617, 1996

I. Yamada, Y. Himeno, T. Nagaoka, H. Akimoto, Y. Matsushima, T. Kuroiwa, H. Shibuya. "Moyamoya disease: evaluation with diffusion-weighted and perfusion echo-planar MR imaging" *Radiology*, 212, pp.340-347, 1999

J.H. Miller, A. Khonsary, C. Raffel. "The scintigraphic appearance of childhood moyamoya disease on cerebral perfusion imaging" *Pediatr Radiol*, 26, pp.833-838,

1996

J. Karasawa, H. Kikuchi, S. Furuse, J. Kawamura, T. Sakaki. "Treatment of moyamoya disease with STA-MCA anastomosis" *J Neurosurg*, 49, pp. 679-688, 1978

J. Kleefield. "Cerebral blood flow :assessment with dynamic contrast-enhanced T2\*-weighted MR imaging at 1.5T." *Radiology*, 176, pp.211-220, 1990

J.M. Mountz, N.L. Foster, R.J. Ackermann, L. Bluemlein, N.A. Petry, D.E. Kuhl. "SPECT imaging of moyamoya disease using 99mTc-HMPAO: Comparison with computed tomography findings" *J Comput Assist Tomogr*, 12, pp.247-250, 1988

J.W. Belliveau, B.R. Rosen, H.L. Kantor, et al. "Functional cerebral imaging by susceptibility-contrast NMR" *Magn Reson Med*, 14, pp. 538-546, 1990

K.A. Rempp, G. Brix, F. Wenz, et al, "Quantification of regional cerebral blood flow and volume with dynamic susceptibility contrast-enhanced MR imaging" *Radiology*, 193, pp.637-641, 1994

K. Ohashi, M. Fernandez-Ulloa, L.C. Hall. "SPECT, magnetic resonance and angiographic features in a moyamoya patients before and after external to internal carotid artery bypass" *J Nucl Med*, 33, pp. 1692-1695, 1992

K. Tsuchiya, S. Inaoka, Y. Mizutani, J. Hachiya, "Echo-planar perfusion MR of moyamoya disease" *AJNR*, 19, pp.211-216, 1998

M. Fukui. "Current state of study on moyamoya disease in Japan" *Surg Neurol*, 47,

pp. 138-143, 1997

P. Adelson, R. Scott. "Pial synangiosis for moyamoya syndrome in children"  
*Pediatr Neurosurg*, 23, pp.26-33, 1995

R.R. Edelman, H.P. Mattle, D.J. Atkins, H. Thomas, J.P. Finn, C. Mayman, M. Ronthal, H.M. Hoogewood. "Cerebral blood flow: assessment with dynamic contrast-enhanced T2\*-weighted MR imaging at 1.5T" *Radiology*, 176, pp 211-220, 1990

S.-K. Lee, D.-I. Kim, et al. "Cerebral blood volume and relative perfusion rate mapping with contrast enhanced gradient echo planar imaging" *J Korean Radiol Soc*, 39, pp. 249-255, 1998

S. Warach, J.F. Dashe, R.R. Edelman. "Clinical outcome in ischemic stroke predicted by early diffusion-weighted and perfusion magnetic resonance imaging: a preliminary analysis" *J Cereb Blood Flow Metab*, 16, pp. 53-59, 1996

S. Warach W. Li, M. Ronthal, R.R. Edelman. "Acute cerebral ischemia: evaluation with dynamic contrast-enhanced MR imaging and MR angiography" *Radiology*, 182, pp. 41-47, 1992

T. Matsushima, S. Fujiwara, S. Nagata, K. Fujii, M. Fukui, K. Kitamura. "Surgical treatment for patients with moyamoya disease by direct revascularization procedures (EDAS,EMS,EMAS)" *Acta Neurochir(wien)*, 98, pp. 135-140, 1989

Y. Kuwabara. "Evaluation of regional cerebral circulation and metabolism in moyamoya disease using positron emission computed tomography" *Jan J Nucl*

*Med*, 23, pp. 1381-1402, 1986

Y. Matsushima, N. Fukai, K. Tanaka, S. Tsuruoka, Y. Inaba, M. Aoyagi, K. Ohno.  
“A new surgical treatment of moyamoya disease in children. A preliminary report”  
*Surg Neurol* 15, pp. 313-320, 1981

W.M. Adams, R.D. Laitt, K.L. Li, A. Jackson, C.R. Sherrington, P. Talbot.  
“Demonstration of cerebral perfusion abnormalities in moyamoya disease using  
susceptibility perfusion- and diffusion- weighted MRI” *Neuroradiology*, 41, pp.86-  
92, 1999

## Usefulness of Perfusion MR Imaging in Comparison with SPECT in Moyamoya Disease

**Purpose:** To evaluate the usefulness of perfusion MR imaging as a comparative study with single photon emission computed tomography (SPECT) in the pre- and postoperative evaluation of moyamoya patients.

**Materials & Methods:** Ten patients with angiographically proven moyamoya disease, 6 patients for the preoperative evaluation and 4 patients for the follow up after bypass surgery (EDAS, STA-MCA anastomosis), were performed with cerebral SPECT and perfusion MR study. We collected fundamental image data by using 1.5T unit (GE signa) with single shot gradient EPI sequence. After a bolus injection of contrast material, 120 GR EPI images per slice were done (TR=1500ms, TE=80ms, 128x128, 4-5 slices). Acquired data were transferred to GE workstation, processed to reconstruct the rCBV maps, and processed by IDL 5.0 in order to acquire average signal intensity of rCBV in Region-of-interest (ASIROI). Visual evaluations of rCBV maps were performed by comparing the perfusion SPECT imaging. Objective evaluations were performed by comparing the perfusion ratio and time ratio. rCBV and rTTP were evaluated and compared with perfusion SPECT.

**Results:** In visual evaluations of rCBV maps, all 10 patients had regions of decreased perfusion in both perfusion MR and SPECT. The perfusion MRI findings are closely correlated with those of SPECT. The perfusion defects seen on perfusion MR and SPECT studies were larger than those seen on T2 weighted images. In objective evaluations, the mean perfusion ratio of affected side to contralateral side is measured upto 0.72 at perfusion MR. But perfusion SPECT is 0.90. It suggested that perfusion MR is more sensitive to detect the perfusion defect

rather than perfusion SPECT.

**Conclusion:** While the rCBV and rTTP of GR EPI images closely reflects tissue perfusion, SPECT is roughly proportional to the CBV. Perfusion MR imaging is superior to SPECT, because of the better spatial resolution, the shorter imaging time and the additional anatomic information. In conclusion, the perfusion MR imaging is very useful for the pre- and postoperative hemodynamic evaluation of moyamoya disease.

**Index words:** Cerebral blood vessels, MR  
Perfusion imaging  
Moyamoya disease  
SPECT