

관류자기공명영상을 이용한
모야모야병의 뇌혈역학 평가와
병기 결정: 혈관조영술과의
비교연구

연세대학교 대학원

의 학 과

정 현 경

관류자기공명영상을 이용한
모야모야병의 뇌혈역학 평가와
병기 결정: 혈관조영술과의
비교연구

지도교수 김 동 준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2006년 6월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

정 현 경

정현경의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2006년 6월 일

감사의 글

이 논문을 쓰는 동안 세심한 지도와 가르침을 주신 김동준 선생님께 감사드리며 많은 조언과 지적을 아끼지 않으셨던 박해정 선생님과 허용민 선생님께 감사드립니다. 또한 이 논문을 내는데 영감을 주시고 멀리서 각별한 관심과 조언을 주신 이승구 선생님께 감사의 말씀 드립니다. 그리고 이 논문이 있기까지 많은 도움을 주신 김진아 선생님께도 감사의 마음 전합니다.

여러모로 부족한 저에게 배움의 기회를 주시고 열의를 다해 지도해 주시는 영상학과 모든 선생님들과 같이 생활하면서 힘이 되어 주는 의국원에게도 감사드립니다.

언제나 한결같은 사랑과 믿음으로 지켜봐 주시는 부모님과 멀리서 열심히 응원하고 있는 사랑하는 남편에게 고마움과 이 글을 드립니다.

저 자 씀

차 례

| | |
|----------------------|----|
| 그림 및 표 차례 | |
| 국문요약 | 1 |
| I. 서 론 | 3 |
| II. 재료 및 방법 | 5 |
| 1. 실험대상 | 5 |
| 2. 관류자기공명영상 획득과 영상분석 | 5 |
| 3. 뇌혈관조영술 영상분석 | 8 |
| 4. 자료 분석 및 통계 | 13 |
| III. 결 과 | 15 |
| 1. 실험대상 분석 | 15 |
| 2. 영상분석 결과 | 16 |
| IV. 고 찰 | 28 |
| V. 결 론 | 31 |
| 참고문헌 | 32 |
| 영문요약 | 34 |

그림 차례

| | |
|--------------------------------------|----|
| 그림 1. 관류지연 정도 평가 | 6 |
| 그림 2. 상대적 뇌 혈류량 평가 | 7 |
| 그림 3. 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도 평가 | 9 |
| 그림 4. 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 평가 | 11 |
| 그림 5. 경막 측부 혈관 발달 정도 평가 | 12 |

표 차례

| | |
|--|----|
| 표 1. 뇌혈관조영술에서 내경동맥의 협착 및 폐쇄 단계 · · · · · | 10 |
| 표 2. 뇌혈관조영술에서 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 단계 · · · · · | 11 |
| 표 3. 뇌혈관조영술에서 기저 모야모야혈관의 발달단계 · · · · · | 13 |
| 표 4. 뇌혈관조영술에서 경막 측부 혈관 발달 단계 · · · · · · · | 13 |
| 표 5. 대상 환자 요약 정리 · · · · · | 15 |
| 표 6. 관류자기공명영상에서 관류지연영역과 정도 비교 · · · · · | 17 |
| 표 7. 뇌혈관조영술에서 내경동맥과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 단계 비교 · · · · · | 18 |
| 표 8. 뇌혈관조영술에서 내경동맥의 협착 및 폐쇄 단계 와 기저 모야모야혈관 발달 단계 비교 · · · · · | 19 |
| 표 9. 뇌혈관조영술에서 내경동맥의 협착 및 폐쇄 단계 와 경막 측부 혈관 발달 단계 비교 · · · · · | 20 |

표 10. 뇌혈관조영술에서 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 단계와 경막 측부 혈관 발달 단계 비교 21

표 11. 뇌혈관조영술에서 내경동맥의 협착 및 폐쇄 단계와 관류자기공명영상에서 관류지연 영역 비교 . . 22

표 12. 뇌혈관조영술에서 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 단계와 관류자기공명영상에서 관류지연 영역 비교 23

표 13. 뇌혈관조영술에서 내경동맥의 협착 및 폐쇄 단계와 관류자기공명영상에서 관류지연 수 비교 . . . 24

표 14. 뇌혈관조영술에서 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 단계와 관류자기공명영상에서 관류지연 수 비교 . . 24

표 15. 뇌혈관조영술에서 기저 모야모야혈관의 발달 단계와 관류자기공명영상에서 관류지연 수 비교 . . . 25

표 16. 뇌혈관조영술에서 경막 측부 혈관 발달 단계와 관류자기공명영상에서 관류지연 수 비교 25

국문요약

관류자기공명영상을 이용한 모야모야병의 뇌혈역학 평가와 병기
결정: 혈관조영술과의 비교 연구

모야모야병은 원인 불명의 만성적으로 진행되는 뇌혈관 협착을 야기하는 질환으로 내경동맥 상상돌기 상부의 협착 및 폐쇄와 다양한 측부 혈관의 발달을 특징으로 한다. 내경동맥을 포함한 뇌혈관의 협착 및 폐쇄에 따라 다양한 임상 양상을 보이며 여기에는 측부 혈관 발달 정도가 뇌 관류에 중요한 영향을 미치는 요소로 작용한다. 따라서 모야모야병의 혈역학적 상태를 이해하는 것이 중요하며, 이를 평가하는 방법으로 표준 검사법인 single photon emission tomography (SPECT) 외 관류자기공명영상이 유용한 것으로 보고되고 있다.

본 연구는 관류자기공명영상을 이용해 모야모야병의 혈역학적 상태를 평가하고 이를 뇌혈관조영술과 비교하여 관류자기공명영상만으로 모야모야병의 부분적인 협착 및 폐쇄와 측부 혈관 발달을 가늠할 수 있는지에 대해 알아보려고 한다.

뇌혈관조영술에서 모야모야병으로 진단된 24명의 특발성 모야모야병 환자 (남녀 각각 10명, 14명; 평균 나이 8.1세; 연령 분포 2-21세)를 대상으로 하였으며 두 명의 판독의가 서로 합의하여 후향적으로 영상을 분석하였다.

뇌혈관조영술에서 상상돌기 상부 내경동맥을 포함한 대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도를 Suzuki grade에 따라 평가하고 이와 함께 기저 모야모야혈관을 포함한 측부 혈관 발달 정도를 살펴보았다. 관류자기공명영상에서는 관류 및 상대적 뇌 혈류량 상태와 정도를 영역별로 나누어 살펴보았다.

그 결과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 영역별 관류 지연 정도 간에 유의한 상관관계가 관찰되었고 ($p = 0.0027$) 또한 이들 영역에서 상대적 뇌 혈류량 증가 소견이 관찰되어 측부 혈관이 발달되어 있음을 예측할 수 있었으며 실제 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달 간에 유의한 상관관계가 있는 것으로 결과가 나와 (p

= 0.0117) 상대적 뇌 혈류량 증가는 바로 발달된 경막 측부 혈관 때문인 것으로 분석되었다.

결론적으로 모야모야병에서 관류자기공명영상으로 후방 순환의 폐쇄 및 협착 정도와 경막 측부 혈관 발달의 예측이 가능함을 알 수 있었다.

핵심 되는 말 : 관류자기공명영상, 뇌혈관조영술, 모야모야병

관류자기공명영상을 이용한 모야모야병의 뇌혈역학 평가와 병기
결정: 혈관조영술과의 비교 연구

<지도교수 김 동 준>

연세대학교 대학원 의학과

정 현 경

I. 서 론

모야모야병은 원인 불명의 만성적으로 진행되는 뇌혈관 협착을 야기하는 질환으로 내경동맥 상상돌기 상부의 협착 및 폐쇄와 다양한 측부 혈관의 발달을 특징으로 한다¹⁻². 모야모야병은 뇌혈관조영술에서 특징적인 연기가 피어 오르는 듯한 뇌 기저부 또는 연막 측부 혈관들을 확인함으로써 진단할 수 있다³. 측부 혈관의 발달 정도, 나이, 치료 시기 등 여러 요소가 예후에 영향을 미치지만 초기에 모야모야병을 진단하는 것이 중요하며 또한 이의 혈역학적 상태를 이해하는 것이 치료 계획을 수립하는데 있어 중요하다⁴⁻⁵. 모야모야병의 치료는 뇌 관류를 회복시키기 위한 외경동맥과 내경동맥 우회로 수술인 뇌경질막동맥간접문합술이 최선의 치료법으로 널리 이용되고 있다.

한편 모야모야병의 혈역학적 상태를 평가하는데 있어서 single photon emission tomography (SPECT) 가 표준 검사법으로 알려져 있으며⁶⁻⁷ 최근에는 관류자기공명영상이 혈역학적 상태를 평가하는데 있어 효과적인 것으로 보고되고 있다^{5,8-12}.

본 연구는 관류자기공명영상을 이용해 모야모야병의 혈역학적 상태를 평가하고 이를 뇌혈관조영술과 비교하는 것으로, 뇌혈관조영술에서 상상돌기 상부 내경동맥을 포함한 대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도를 Suzuki grade^{5,13}에 따라 평가하고 이와 함께 기저 모야모야혈관을

포함한 측부 혈관 발달 정도를 살펴보았다. 관류자기공명영상에서는 관류 및 상대적 국소 뇌 혈류량 용적 상태와 정도를 영역별로 나누어 살펴보았고 이를 뇌혈관조영술과 비교하여 관류자기공명영상만으로 모야모야병의 부분적인 협착 및 폐쇄 또는 측부 혈관 발달을 가늠할 수 있는지에 대해 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 대상

2003년 6월부터 2005년 5월까지 특발성 모야모야병으로 진단된 24명의 환자를 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 대상환자는 남녀 각각 10명, 14명이며 연령 분포는 2세에서 21세까지로 평균 연령은 8.1세이었다. 초기 임상 소견은 일과성 허혈발작이 21명, 두통이 2명 그리고 발작이 1명에서 관찰되었고 이들은 모두 15세 이전에 증상이 발현하였다. 모든 환자는 뇌혈관조영술로 확진되었고 뇌혈관조영술 시행 전 혹은 시행 후 한 달 이내 관류자기공명영상을 시행하였다.

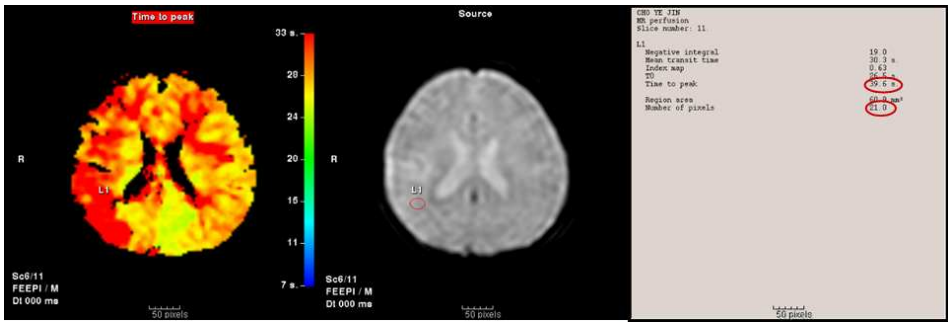
2. 관류자기공명영상 획득과 영상분석

사용한 자기공명영상기기는 1.5 T system (Intera, Philips Medical Systems, Best, The Netherlands) 이며 관류자기공명영상의 영상 변수는 다음과 같다; TR = 15 ms, TE = 22 ms, flip angle 7°, 22 cm field of view, 5 mm slice thickness, 64 x 64 matrix. 조영 증강은 0.2 mmol/kg의 dimeglumine gadopentetate (Magnevist, Schering AG, Germany) 를 이용하였으며 이의 정맥 급속 주입 동안 3차원 multishot gradient echo EPI 펄스열을 이용하여 관류자기공명영상을 획득하였다. 다단면 역동적 관류 영상을 획득하였는데 5번째 역동적 영상 획득 후 조영제를 주입하여 모두 40상 영상을 획득할 때까지 동일한 영상단면에서 반복 촬영하여 조영제가 뇌를 통과하는 전 과정을 영상화하였다. EasyVision software (Philips Medical Systems, Eindhoven, The Netherlands) 를 이용하여 얻어진 일련의 영상으로부터 화소별 시간에 따른 신호강도 변화곡선을 그린 후 시간-영상 신호 곡선을 시간-이완도 곡선으로 변환 시킨 다음 이완도 곡선의 적분으로 상대적 뇌 혈류량 (relative cerebral blood volume, rCBV) 을 구하고 이완도 곡선으로부터 조영제가 최고 농도에 도달할 때까지의 시간 (time interval to peak relaxation, TTP) 을 측정하였다.

대뇌 반구는 전대뇌동맥영역, 전분수계영역, 전중대뇌동맥영역, 후중대뇌동맥영역, 후분수계영역, 후대뇌동맥영역, 기저핵 및 시상 등 8개 영역으로 나누었으며 이들 영역별로 관류 (TTP) 및 상대적 뇌 혈류량 (rCBV) 상태와 정도를 살펴보았다. 먼저 관류 지연 정도는 소뇌 백질을 기준으로 20-25 화소 크기로 관심영역을 그린 후, 영역별 관류 지연이 가장 심한 부위의 동일 크기 관심영역 값과 비교하여 25% 이하의 관류 지연이 관찰될 경우를 경도, 25-50% 관류 지연이 관찰될 경우를 중등도, 그리고 50% 이상의 관류 지연이 관찰될 경우를 중증 이렇게 3 단계로 분류하여 평가하였다 (그림 1). 상대적 뇌 혈류량도 같은 방법으로 평가하였는데, 소뇌 백질을 기준으로 20-25 화소 크기로 관심영역을 그린 후 영역별 뇌 혈류량 용적 변화가 가장 심한 부위의 관심영역과 비교하여 그 비가 7배 미만일 경우를 경도, 7배에서 15배 사이일 경우를 중등도, 그리고 그 이상인 경우를 중증 이렇게 3 단계로 나누어 평가하였다 (그림 2).



(a)

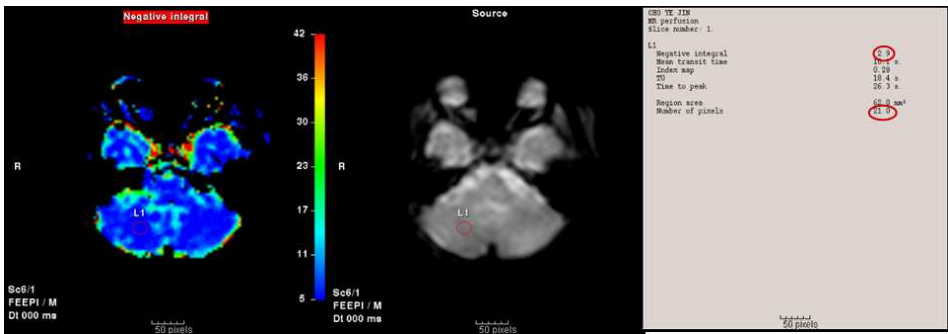


(b)

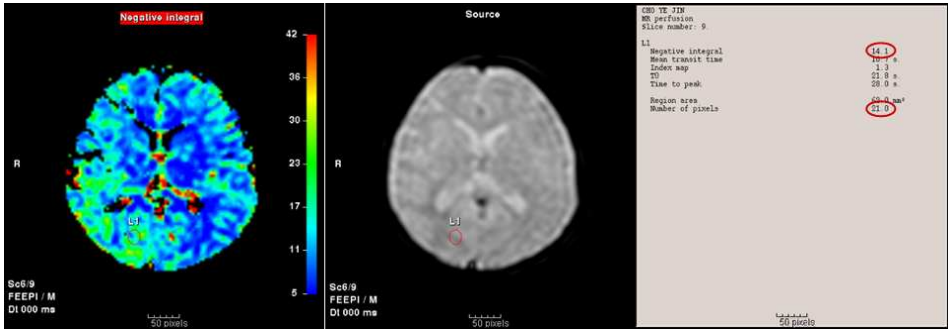
그림 1. 관류지연 정도 평가

(a) 소뇌 백질을 기준으로 21 화소 크기로 관심영역을 그렸으며 이때의 관류지연은 25.9 초로 측정되었다.

(b) 후중대뇌동맥영역 중 관류 지연이 가장 심한 부위 백질에서 동일 크기로 관심영역을 그렸으며 그 값은 39.6초로 측정되어 약 52.9%의 관류지연 (중증) 이 있음을 관찰할 수 있다.



(a)



(b)

그림 2. 상대적 뇌 혈류량 평가

(a) 소뇌 백질을 기준으로 21 화소 크기로 관심영역을 그렸으며 그 값은 2.9로 측정되었다.

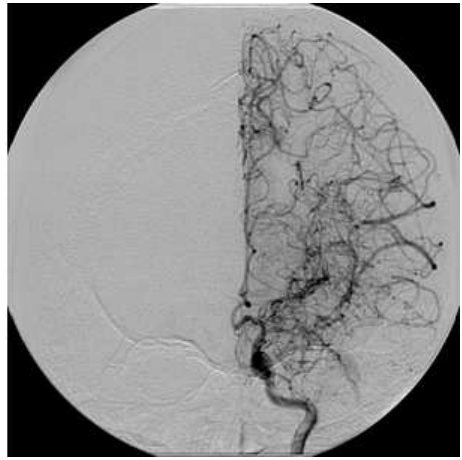
(b) 후대뇌동맥영역 중 뇌 혈류량 용적 변화가 가장 심한 부위 백질에서 동일 크기로 관심영역을 그렸으며 그 값은 14.1로 측정되어 약 4.9배의 용적 증가 (경도) 가 있음을 관찰할 수 있다.

3. 뇌혈관조영술 영상분석

고식적 뇌혈관조영술에서 상상돌기 상부 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도를 Suzuki가 제시한 기준에 따라 평가하였고 (그림 3), 그 내용은 다음과 같다; 단계 1, 두개내 내경동맥 갈림 부위의 협착; 단계 2, 전대뇌동맥과 중대뇌동맥의 확장과 모야모야혈관의 출현; 단계 3, 전대뇌동맥과 중대뇌동맥의 부분 소실과 모야모야혈관의 발달; 단계 4, 진행된 내경동맥의 협착 및 폐쇄 소견과 함께 모야모야혈관의 감소; 단계 5, 전대뇌동맥과 중대뇌동맥의 소실과 현저한 모야모야혈관의 감소; 단계 6, 모야모야 혈관이 소실되고 외경동맥으로만 혈류 공급을 받는 경우 (표 1).



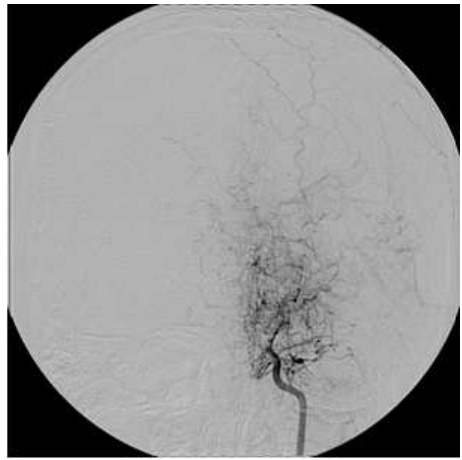
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도 평가

(a) 우내경동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 전대뇌동맥과 중대뇌동맥의 확장과 모야모야혈관의 출현을 관찰할 수 있다 (단계 2).

(b) 좌내경동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 전대뇌동맥과 중대뇌동맥의 부분 소실과 모야모야혈관의 발달 소견을 관찰할 수 있다 (단계 3).

(c) 우내경동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 진행된 내경동맥의 협

착 및 폐쇄 소견과 함께 모야모야혈관의 감소를 관찰할 수 있다 (단계 4).

(d) 좌내경동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 전대뇌동맥과 중대뇌동맥의 소실과 함께 현저한 모야모야혈관의 감소를 관찰할 수 있다 (단계 5).

Table 1. Angiographic ICA staging in a patient with moyamoya disease

| ICA stage | Angiographic Findings |
|-----------|---|
| I | Narrowing of the carotid bifurcation |
| II | Dilatation of the ACA and MCA with appearance of ICA moyamoya |
| III | Partial disappearance of the ACA and MCA with intensification of ICA moyamoya |
| IV | Advanced stenooclusive changes in the ICA with small amount of ICA moyamoya |
| V | Absence of the ACA and MCA with further reduction of ICA moyamoya |
| VI | Blood supply only from the external carotid artery with almost complete disappearance of ICA moyamoya |

전방 순환뿐만 아니라 후방 순환에 대해서도 협착 및 폐쇄 정도를 평가하였는데 (그림 4) 그 기준은 다음과 같다; 단계 1, 정상 후대뇌동맥; 단계 2, 후대뇌동맥의 협착; 단계 3, 후대뇌동맥의 심한 협착 또는 완전 폐색과 후대뇌동맥 모야모야혈관의 발달; 단계 4, 후대뇌동맥의 완전 폐색과 후대뇌동맥 모야모야혈관의 감소 (표 2).



(a)

(b)

(c)

그림 4. 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 평가

(a) 좌후대뇌동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 정상 후대뇌동맥을 관찰할 수 있다 (단계 1).

(b) 좌후대뇌동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 후대뇌동맥의 협착을 관찰할 수 있다 (단계 2).

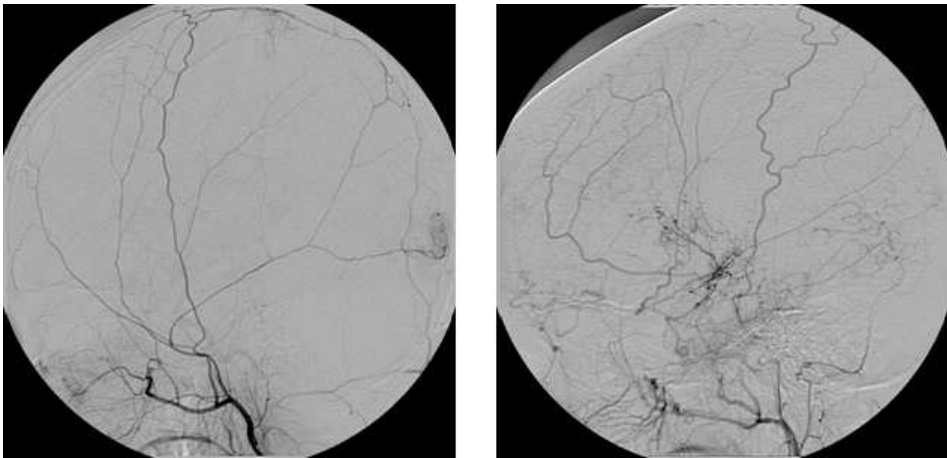
(c) 우후대뇌동맥 혈관조영술 전후 투사영상에서 후대뇌동맥의 완전 폐쇄와 후대뇌동맥 모야모야혈관의 발달을 관찰할 수 있다 (단계 3).

Table 2. Angiographic PCA staging in a patient with moyamoya disease

| PCA stage | Angiographic Findings |
|-----------|--|
| I | No occlusive changes in the posterior cerebral artery |
| II | Stenosis in the PCA with or without slightly developed posterior cerebral artery moyamoya Severe stenosis or virtually complete occlusion of the posterior cerebral artery with well-developed posterior cerebral artery moyamoya |
| III | Occlusion of the PCA with decreased posterior cerebral artery moyamoya |
| IV | |

한편, Suzuki가 제시한 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 별도로 기저 모야모야혈관 발달 정도를 정상 (단계 1), 경도 (단계 2), 중등도 (단계 3), 그리고 광범위 (단계 4) 4단계로 나누어 평가하였다^{5,13} (표

3). 연막 측부 혈관 평가¹⁴ 를 참고로 하여 경막 측부 혈관 발달 정도를 4단계로 나누어 평가하였으며 (그림 5), 그 내용은 다음과 같다; 단계 1, 측부 혈관이 관찰되지 않을 경우; 단계 2, 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽 중 한 엽이 측부 혈관에 의해 혈류 공급을 받는 경우; 단계 3, 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽 중 두 엽이 측부 혈관에 의해 혈류 공급을 받는 경우; 단계 4, 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽 세 엽 또는 모든 엽이 측부 혈관에 의해 혈류 공급을 받는 경우 (표 4).



(a)

(b)

그림 5. 경막 측부 혈관 발달 정도 평가

(a) 우외경동맥 혈관조영술 측면 투사영상에서 두정엽과 후두엽이 측부 혈관에 의해 혈류 공급을 받고 있음을 알 수 있다 (단계 3).

(b) 좌외경동맥 혈관조영술 측면 투사영상에서 전두엽, 측두엽, 후두엽이 측부 혈관에 의해 혈류 공급을 받고 있음을 알 수 있다 (단계 4).

Table 3. Angiographic staging of basal cerebral moyamoya vessel

| Staging | Angiographic Findings |
|---------|--|
| I | No collateral circulation |
| II | Small vascular network localized in the basal ganglia |
| III | Moderate vascular network localized in the basal ganglia |
| IV | Large vascular network that extended above the basal ganglia with appearance of medullary arteries |

Table 4. Angiographic staging of transdural collaterals from the intracranial dural channels or transosseous perforating branches that originate from ECA

| Staging | Angiographic Findings |
|---------|--|
| I | No collateral circulation |
| II | One of four lobes opacified in frontal or parietal or temporal or occipital lobe |
| III | Two of four lobes opacified in frontal or parietal or temporal or occipital lobe |
| IV | All four lobes or three of four lobes opacified in frontal, parietal or temporal or occipital lobe |

4. 자료 분석 및 통계

관류자기공명영상과 뇌혈관조영술 소견은 임상 정보를 알지 못하는 두 명의 판독의가 1주의 시간 간격을 두고 순서를 달리하여 서로 합의하여 분석하였다. 관류자기공명영상에서 영역별 관류 및 상대적 뇌 혈류량 상태와 정도 그리고 뇌혈관조영술에서의 내경동맥과 후대 뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 측부 혈관 발달간의 관련성에 대하여

살펴보았다.

관류자기공명영상과 뇌혈관조영술 결과는 Spearman rank correlation 과 Wilcoxon Two-Sample test 를 이용하여 비교하였다. P 값이 0.05 미만일 때 통계학적 의미가 있는 것으로 판단하였으며 통계처리는 SAS for Windows, version 9.1 을 이용하였다.

III. 결 과

1. 실험 대상 분석

임상 정보와 뇌혈관조영술 소견 그리고 관류자기공명영상 소견을 도표로 정리해 보았다 (표 5). 24명의 환자 중 21명에서 반복적인 일과성 허혈발작 증상을 보였고 그 외 두통과 발작이 각각 2명, 1명에서 관찰되었다. 뜨거운 것이나 매운 것을 먹었을 때 그리고 올 때 증상이 발생한 경우는 각각 6명, 5명이었고 이 중 2명은 두 상황 모두에서 증상이 나타났다. 이들 환자는 새로이 진단된 특발성 모야모야병 환자로 어떤 수술적 치료도 받지 않은 상태였다.

Table 5. Summary of 24 patients with moyamoya disease

| A | S | Clinical Present- ation | Angiographic Findings | | | | Perfusion MRI | | | |
|----|---|-------------------------------|-----------------------|------|-----------|------|---------------|---------|----------|----------|
| | | | ICA stage | | PCA stage | | TTP | | rCBV | |
| | | | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left |
| 3 | M | TIA | IV | I | II | I | D (n=7) | N | I (n= 4) | N |
| 3 | F | TIA | IV | III | II | I | N | D (n=1) | N | N |
| 6 | F | TIA | III | IV | I | I | N | D (n=1) | N | N |
| 21 | M | TIA | V | IV | I | II | N | D (n=1) | N | N |
| 6 | F | TIA | III | IV | I | I | D (n=5) | D(n=5) | I (n= 1) | I (n= 2) |
| 8 | M | TIA | II | IV | I | I | D (n=3) | D(n=4) | I (n= 1) | I (n= 2) |
| 10 | M | Head -ache | IV | II | I | I | D (n=5) | D (n=2) | I (n= 4) | N |
| 5 | M | TIA | III | IV | II | I | D (n=4) | N | I (n=4) | I (n= 1) |
| 8 | M | Head -ache | III | IV | III | III | D (n=2) | D (n=3) | N | I (n= 1) |

| | | | | | | | | | |
|----|-----------|-----|----|-----|----|---------|---------|----------|----------|
| 7 | M TIA | IV | IV | I | I | D (n=1) | D(n=3) | N | I (n= 1) |
| 4 | F TIA | II | IV | II | II | N | D (n=5) | N | I (n=1) |
| 11 | F TIA | V | IV | II | II | D (n=4) | D(n=4) | I (n= 1) | I (n= 2) |
| 9 | F TIA | III | V | I | I | D (n=1) | D(n=1) | I (n= 2) | N |
| 8 | F TIA | III | IV | III | II | D (n=6) | D(n=2) | I (n= 5) | N |
| 7 | F TIA | I | IV | I | I | D (n=1) | D(n=5) | N | I (n= 2) |
| 8 | M TIA | IV | N | I | I | D (n=2) | N | I (n= 2) | N |
| 9 | F TIA | III | N | III | I | D (n=6) | N | I (n= 6) | N |
| 12 | F TIA | IV | IV | III | I | D (n=5) | D(n=2) | I (n= 4) | N |
| 3 | M Seizure | V | II | II | II | D (n=7) | D(n=4) | I (n= 4) | N |
| 5 | F TIA | III | II | I | I | D (n=4) | D(n=1) | I (n= 1) | N |
| 17 | F TIA | V | IV | I | I | D (n=4) | N | N | N |
| 2 | F TIA | IV | IV | II | I | D (n=5) | D(n=1) | I (n= 4) | N |
| 17 | F TIA | V | V | II | II | D (n=4) | D(n=1) | I (n= 2) | I (n= 1) |
| 5 | M TIA | II | II | I | I | D (n=1) | D(n=1) | I (n= 2) | I (n= 1) |

A: age, S: sex, TIA: Transient ischemic attack, N: normal, D: delayed perfusion, I: increased rCBV, n: number of perfusion delay or increased rCBV

2. 영상분석 결과

관류자기공명영상은 대뇌 반구를 전대뇌동맥영역, 전분수계영역, 전중대뇌동맥영역, 후중대뇌동맥영역, 후분수계영역, 후대뇌동맥영역, 기저핵 및 시상 등 8개 영역으로 나누어 관류 상태 및 정도를 분석하였는데 이 중 모든 영역에서 정상 관류 상태를 보였던 경우는 48 대뇌 반구 중 10개의 대뇌반구였다. 이 중 두 명의 환자는 일측성 모야모

야병 환자였고 따라서 관류 지연을 보였던 경우는 46 대뇌 반구 중 38 대뇌 반구로 82.6% 의 빈도를 보였다. 각각의 대뇌 반구에서 관류 지연을 보였던 영역 수는 8개 영역 중 0개에서 7개로 다양하게 관찰되었다. 관류 지연 정도는 소뇌 백질을 기준으로 관심영역을 그린 후 영역별 관류 지연이 가장 심한 부위의 관심영역과 비교하여 25% 미만의 관류 지연 정도를 보이는 경우를 경도, 25%에서 50% 정도의 관류 지연 정도를 보이는 경우를 중등도, 그리고 50% 이상의 관류 지연 정도를 보이는 경우를 중증 이렇게 3 단계로 분류하여 평가하였고 이를 영역별로 정리해보면 다음과 같다 (표 6). 관류 지연 정도는 경도, 중등도, 중증이 각각 68 (35.4%), 43 (22.4%), 13 (6.8%) 영역에서 관찰되었고 경도에서는 전대뇌동맥영역과 전분수계영역이 29 (42.6%), 중등도에서는 중대뇌동맥영역이 18 (41.9%), 중증에서는 전대뇌동맥영역과 전분수계영역이 6 (46.2%) 으로 가장 많은 영향을 받은 것으로 나타났다.

Table 6. Relationship between degree and site of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| degree of perfusion delay | Site of perfusion delay (territory) | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-----|---------|----------|-----|-----|----|----------|
| | ACA | AWS | Ant-MCA | Post-MCA | PWS | PCA | BG | Thalamus |
| None | 27 | 19 | 28 | 26 | 30 | 40 | 42 | 48 |
| Mild | 14 | 15 | 8 | 11 | 10 | 5 | 5 | 0 |
| Moderate | 3 | 12 | 9 | 9 | 6 | 3 | 1 | 0 |
| Severe | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |

ACA: anterior cerebral artery, AWS: anterior watershed zone, Ant-MCA: anterior-middle cerebral artery, Post-MCA: posterior- middle cerebral artery, PWS: posterior watershed zone, PCA: posterior cerebral artery, BG: basal ganglia

한편 뇌혈관조영술 소견을 살펴보면, 모야모야병은 보통 양측 상상

돌기 상부 내경동맥을 포함한 대뇌동맥에 영향을 미치지만 24명의 환자 중 2명의 경우는 일측성 모야모야병인 것으로 확인이 되었다. 이들 정상이었던 2 대뇌 반구를 제외한 나머지 대뇌 반구에서의 상상돌기 상부 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도를 Suzuki grade에 따라 분석해보면 단계 1, 2, 3, 4, 5, 6 가 각각 2, 7, 9, 21, 7 그리고 0 개로 관찰되었다. 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 소견은 단계 1, 2, 3, 4 가 각각 27, 14, 5, 0 이었다. 전방 순환이 후방 순환에 비해 더 많은 영향을 받은 것을 알 수 있었고 내경동맥과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도의 상관관계는 표 7 에 정리하였다. 그 결과를 살펴보면, 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도는 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 유의한 상관 관계가 없는 것으로 나왔다 (Spearman rank correlation, $p = 0.1906$).

Table 7. Relationship between angiographic ICA stage and PCA stage in patients with moyamoya disease (Number of involved hemisphere)

| ICA stage | PCA stage | | | |
|-----------|-----------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| I | 2 | 0 | 0 | 0 |
| II | 5 | 2 | 0 | 0 |
| III | 5 | 1 | 3 | 0 |
| IV | 12 | 7 | 2 | 0 |
| V | 3 | 4 | 0 | 0 |
| VI | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 27 | 14 | 5 | 0 |

내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 기저 모야모야혈관 발달 정도간의 상관관계를 정리해보았다 (표 8). Suzuki에 따르면 내경동맥의 협착

및 폐쇄가 진행될수록 기저 모야모야혈관이 출현, 증가하였다가 다시 감소, 소실되는 소견을 보인다고 하였는데 이번 연구에서는 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 기저 모야모야혈관 발달 사이에 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다 (Spearman rank correlation, $p = 0.0708$).

Table 8. Relationship between angiographic ICA stage and basal moyamoya vessel in patients with moyamoya disease

| ICA stage | Basal moyamoya vessel | | |
|-----------|-----------------------|----|-----|
| | I | II | III |
| I | 1 | 1 | 0 |
| II | 5 | 0 | 1 |
| III | 1 | 1 | 7 |
| IV | 3 | 8 | 9 |
| V | 0 | 4 | 2 |
| VI | 0 | 0 | 0 |
| Total | 10 | 14 | 19 |

또한 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달 정도간의 상관관계를 살펴보았다 (표 9). 그 결과 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달간에는 유의한 상관관계가 없음을 알 수 있었다 (Spearman rank correlation, $p = 0.3262$).

Table 9. Relationship between angiographic ICA stage and transdural collaterals in patients with moyamoya disease

| ICA stage | Transdural Collaterals | | | |
|-----------|------------------------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| I | 1 | 1 | 0 | 0 |
| II | 5 | 2 | 1 | 0 |
| III | 2 | 4 | 3 | 0 |
| IV | 14 | 2 | 2 | 2 |
| V | 2 | 3 | 0 | 2 |
| VI | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 24 | 12 | 6 | 4 |

후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달 사이의 상관관계를 정리해 보면 아래와 같고 (표 10), 그 결과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄가 진행할수록 경막 측부 혈관이 발달함을 알 수 있었다 (Spearman rank correlation, $p = 0.0003$).

Table 10. Relationship between angiographic PCA stage and transdural collaterals in patients with moyamoya disease

| PCA stage | Transdural Collaterals | | | |
|-----------|------------------------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| I | 20 | 8 | 0 | 1 |
| II | 6 | 3 | 3 | 2 |
| III | 0 | 1 | 3 | 1 |
| IV | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 26 | 12 | 6 | 4 |

내경동맥과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 관류 지연을 보이는 영역과의 관계를 정리해 보면 다음과 같다 (표 11-12). 먼저, 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 영역별 관류 지연 정도간에는 유의한 상관관계가 없는 것으로 결과가 나왔다 (Spearman rank correlation, $p = 0.0637$). 다음으로, 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 영역별 관류 지연 정도간에는 통계적 유의성이 있었다 (Spearman rank correlation, $p = 0.0027$). 이를 자세히 살펴보면 전중대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0317$), 후중대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0004$), 후분수계영역 (Spearman rank correlation, $p < 0.0001$) 그리고 후대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0216$) 에서 유의한 상관관계가 관찰되었다.

Table 11. Relationship between angiographic ICA stage and site of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| ICA stage | Site of perfusion delay | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|-----|---------|----------|-----|-----|----|----------|
| | ACA | AWS | Ant-MCA | Post-MCA | PWS | PCA | BG | Thalamus |
| I | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| II | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| III | 4 | 6 | 5 | 6 | 5 | 2 | 1 | 0 |
| IV | 11 | 12 | 11 | 11 | 9 | 3 | 3 | 0 |
| V | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 |
| VI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 21 | 28 | 20 | 22 | 18 | 8 | 6 | 0 |

ACA: anterior cerebral artery, AWS: anterior watershed zone, Ant-MCA: anterior-middle cerebral artery, Post-MCA: posterior- middle cerebral artery, PWS: posterior watershed zone, PCA: posterior cerebral artery, BG: basal ganglia

Table 12. Relationship between angiographic PCA stage and site of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| PCA stage | Site of perfusion delay | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|-----|---------|----------|-----|-----|----|----------|
| | ACA | AWS | Ant-MCA | Post-MCA | PWS | PCA | BG | Thalamus |
| I | 11 | 16 | 9 | 8 | 6 | 3 | 1 | 0 |
| II | 7 | 11 | 7 | 9 | 7 | 4 | 3 | 0 |
| III | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 | 2 | 1 | 0 |
| IV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 21 | 29 | 20 | 22 | 18 | 9 | 5 | 0 |

ACA: anterior cerebral artery, AWS: anterior watershed zone, Ant-MCA: anterior-middle cerebral artery, Post-MCA: posterior- middle cerebral artery, PWS: posterior watershed zone, PCA: posterior cerebral artery, BG: basal ganglia

또한 관류자기공명영상에서의 영역별 관류 지연 수와 혈관조영술에서의 내경동맥과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 그리고 측부 혈관 발달간의 연관성에 대해 살펴 보았다 (표 13-16). 그 결과 관류자기공명영상에서 관류 지연을 보였던 영역 수와 혈관조영술에서의 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 그리고 경막 측부 혈관 사이에 유의한 상관 관계가 있는 것으로 나타났다 (Spearman rank correlation, $p = 0.0027$, $p = 0.0346$).

Table 13. Relationship between angiographic ICA stage and number of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| ICA stage | Number of perfusion delay | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| I | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| II | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| III | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| IV | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 6 | 0 | 1 | 0 |
| V | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| VI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 7 | 11 | 5 | 4 | 9 | 6 | 2 | 2 | 0 |

Table 14. Relationship between angiographic PCA stage and number of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| PCA stage | Number of perfusion delay | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| I | 7 | 10 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| II | 2 | 2 | 1 | 0 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| III | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| IV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 9 | 12 | 5 | 3 | 8 | 7 | 2 | 2 | 0 |

Table 15. Relationship between angiographic degree of basal moyamoya vessel and number of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| MMV | Number of perfusion delay | | | | | | | | |
|----------|---------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| None | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mild | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Moderate | 1 | 5 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 |
| Severe | 4 | 2 | 1 | 2 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| Total | 9 | 12 | 5 | 3 | 8 | 7 | 2 | 2 | 0 |

Table 16. Relationship between angiographic degree of transdural collateral vessel and number of perfusion delay in patients with moyamoya disease

| Transdural collateral | Number of perfusion delay | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| None | 7 | 7 | 2 | 1 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Mild | 2 | 4 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Moderate | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Severe | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 9 | 12 | 5 | 3 | 8 | 7 | 2 | 2 | 0 |

기저 모야모야혈관과 경막 측부 혈관 발달 정도 그리고 관류자기공명영상에서의 영역별 관류 지연 정도와의 관계를 살펴보았는데, 기저 모야모야혈관 발달은 후중대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.031$) 과, 경막 측부 혈관 발달은 후분수계영역 (Spearman rank

correlation, $p = 0.0013$) 과 후대뇌동맥영역(Spearman rank correlation, $p = 0.039$) 에서 유의한 상관관계를 보였다.

관류자기공명영상에서의 영역별 관류 지연 유무와 뇌혈관조영술 소견을 살펴보면, 전중대뇌동맥영역에서의 관류 지연 유무는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 유의한 상관관계가 있었고 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0431$), 후중대뇌동맥영역에서의 관류 지연 유무는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0009$) 그리고 기저 모야모야혈관 발달 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0488$) 와 상관관계가 있었다. 후분수계영역에서의 관류 지연 유무는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0010$), 기저 모야모야혈관 발달 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0486$) 그리고 경막 측부 혈관 발달 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0030$) 와 상관관계가 있었고 후대뇌동맥영역에서의 관류 지연 유무는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0227$), 경막 측부 혈관 발달 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0426$) 와 유의한 상관관계가 있었다.

한편 상대적 뇌 혈류량 (rCBV) 을 살펴보면, 24명의 환자 중 관류자기공명영상에서 상대적 뇌 혈류량 감소 소견을 보였던 경우는 없었고 22 대뇌 반구에서는 모든 영역에서 정상 소견을 보였다. 나머지 대뇌 반구에서는 상대적 뇌 혈류량 증가 소견을 보였고 이를 영역별로 살펴보았을 때 각 대뇌 반구 당 1개에서 6개 영역까지 증가된 소견을 보였다.

영역 별 상대적 뇌 혈류량 (rCBV) 증가 정도와 내경동맥의 협착 및 폐쇄간에는 유의한 상관관계가 관찰되지 않았으나 (Spearman rank correlation, $p = 0.2038$) 후대뇌동맥의 경우에는 유의한 상관관계가 있었고 (Spearman rank correlation, $p = 0.0117$) 이를 자세히 살펴보면, 전대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0084$), 전중대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0087$), 후중대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0257$), 후대뇌동맥영역 (Spearman rank correlation, $p = 0.0014$), 그리고 기저핵 (Spearman

rank correlation, $p = 0.0027$) 이었다.

관류 지연에서와 마찬가지로 관류자기공명영상에서의 영역별 상대적 뇌 혈류량 증가 유무와 뇌혈관조영술 소견을 살펴보면, 전대뇌동맥영역과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0076$), 전중대뇌동맥영역과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0208$), 후중대뇌동맥영역과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0409$) 그리고 후대뇌동맥영역과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 (Wilcoxon Two-Sample Test, $p = 0.0023$) 간에 유의한 상관관계가 있었다.

IV. 고 찰

모야모야병은 양측 내경동맥 상상돌기 상부의 협착 및 폐쇄와 다양한 측부 혈관의 발달을 특징으로 하는 질환이다. 내경동맥을 포함한 뇌혈관의 협착 및 폐쇄에 따른 임상 양상은 경미한 증세에서부터 다발성 경색으로 인한 심각한 뇌 손상에 이르기까지 다양하며 여기에는 측부 혈관 발달 정도가 뇌 관류에 중요한 영향을 미치게 된다¹⁵. 따라서 혈액학적 상태를 이해하는 것이 중요한데, 모야모야병에서 이를 평가하는 방법으로 single photon emission tomography (SPECT) 뿐 아니라 관류자기공명영상도 유용한 것으로 보고되고 있다^{5,8-12}.

이에 소아와 젊은 성인을 포함한 총 24명의 특발성 모야모야병 환자를 대상으로 관류자기공명영상에서의 영역별 관류 및 상대적 뇌 혈류량 상태와 정도를 평가하고 뇌혈관조영술에서는 내경동맥과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 그리고 측부 혈관 발달 정도를 살펴본 뒤 이 두 검사 결과를 비교하여 관류자기공명영상만으로 모야모야병의 부분적인 협착 및 폐쇄와 측부 혈관 발달을 가늠할 수 있는지에 대해 알아보았다.

그 결과를 정리해보면, 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄가 진행될수록 경막 측부 혈관이 발달함을 알 수 있었으나 ($p = 0.0003$), 이전 보고^{14,16}와는 달리 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 진행 정도와 내경동맥의 협착 및 폐쇄 진행 정도간에는 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다 ($p = 0.1906$). 내경동맥의 협착 및 폐쇄 진행 정도는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 진행 정도와 유의한 상관관계가 있다고 알려져 있으나 이번 연구에서는 상반된 결과가 나왔는데, 그 이유는 명확하지 않다. 하지만 소아에서 증상이 발현한 경우 혈관의 협착 및 폐쇄가 점진적으로 진행하고 측부 혈관이 풍부하게 발달하는 것에 비해 성인에서는 혈관의 협착 및 폐쇄 진행 속도가 느려지고 안정화되어 결국 혈관의 협착 및 폐쇄가 이미 진행된 경우가 많다는 보고를 참고해 볼 때¹⁷, 대상 환자군의 평균 연령이 8.1 세 (21세였던 환자의 증상 발현 나이는 7년 전인 14세였다) 로 혈관의 협착 및 폐쇄가 진행 중인 상태이기 때문에 내경동맥과 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 진행 정도간에 유

의한 상관관계가 관찰되지 않았을 가능성을 생각해 볼 수 있겠다.

내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 기저 모야모야혈관 발달 사이에 유의한 상관관계가 관찰되지 않았는데 이는 Suzuki가 제시한 기준을 살펴보았을 때 그에 합당한 소견이었다. 또한 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달 사이에 통계적 유의성이 관찰되지 않았다.

관류자기공명영상과 뇌혈관조영술 소견을 비교해보면, 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 영역별 관류 지연 정도 간에 유의한 상관관계가 관찰되었고 ($p = 0.0027$) 이들 영역은 전중대뇌동맥영역 ($p = 0.0317$), 후중대뇌동맥영역 ($p = 0.0004$), 후분수계영역 ($p < 0.0001$), 후대뇌동맥영역 ($p = 0.0216$) 이었다. 이 결과는 후대뇌동맥의 분포영역과 비교적 일치하는 양상을 보였다. 기저 모야모야혈관은 후중대뇌동맥영역의 관류 지연 정도 ($p = 0.031$) 그리고 경막 측부 혈관은 후분수계영역 ($p = 0.0013$), 후대뇌동맥영역 ($p = 0.039$) 에서의 관류 지연 정도와 상관관계가 있는 것으로 결론이 나왔다. 그러나, 내경동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 영역별 관류 지연 정도간에는 유의한 상관관계가 관찰되지 않았는데 ($p = 0.0637$), 이의 원인은 분명하지 않다.

한편 상대적 뇌 혈류량 증가 정도는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 유의한 상관관계가 있었고 ($p = 0.0117$), 이들 영역은 전대뇌동맥영역 ($p = 0.0084$), 전중대뇌동맥영역 ($p = 0.0087$), 후중대뇌동맥영역 ($p = 0.0257$), 후대뇌동맥영역 ($p = 0.0014$) 그리고 기저핵 ($p = 0.0027$) 이었다. 전대뇌동맥영역과 기저핵 영역을 제외했을 때, 관류 지연 소견을 보였던 전·후중대뇌동맥영역과 후대뇌동맥영역에서 상대적 뇌 혈류량이 증가된 소견을 보여 관류 지연이 발생한 곳에 보상성 혈관 확장이 일어나고 측부 혈관이 발달하여 그 결과 상대적 뇌 혈류량이 증가된 소견이 관찰되었음을 추측할 수 있다.

이상의 결과를 종합해보면, 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 진행 정도는 전·후중대뇌동맥영역, 후분수계영역, 후대뇌동맥영역에서의 관류 지연 정도와 관련이 있었고 또한 이들 영역에서 상대적 뇌 혈류량 증가 소견이 관찰되어 측부 혈관이 발달되어 있음을 예측할 수 있으며 실제 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달간에 유

의한 상관관계가 있는 것으로 결과가 나와 상대적 뇌 혈류량 증가는 바로 발달된 경막 측부 혈관 때문인 것으로 분석되었다.

모야모야병에서 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄는 흔히 관찰되는 소견이지만, 이 병을 진단하는데 있어 핵심 요소는 아니며 더욱이 후방순환에 대한 연구는 적은 편으로 지금까지 일부에서 보고되었다^{18,19}. 이번 연구에서는 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 영역별 관류 지연 그리고 상대적 뇌 혈류량 증가 정도 간에 통계적 유의성이 관찰되었고 또한 후대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도와 경막 측부 혈관 발달간에도 유의한 상관관계가 관찰되었다.

V. 결 론

모야모야병의 혈역학적 상태를 평가하는 방법으로 관류자기공명영상
이 유용한 것으로 알려져 있으며 소아와 젊은 성인을 대상으로 한 이
번 연구에서도 관류자기공명영상에서의 영역별 관류 지연 정도와 후
대뇌동맥의 협착 및 폐쇄 정도 그리고 상대적 뇌 혈류량 증가 정도와
경막 측부 혈관 발달 정도간에 통계적 유의성이 관찰되어 관류자기공
명영상으로 후방 순환의 폐쇄 및 협착 정도와 경막 측부 혈관 발달의
예측이 가능함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Nishimoto A, Takeuchi S. Abnormal cerebrovascular network related to the internal carotid arteries. *J Neurosurg* 1968;29:255-260.
2. Suzuki J, Takaku A. Cerebrovascular "moyamoya" disease. Disease showing abnormal net-like vessels in base of brain. *Arch Neurol* 1969;20:288-299.
3. Suzuki J, Kodama N. Moyamoya disease-A review. *Stroke* 1983;14:104-109.
4. Yonekawa Y, Handa H, Okuno T. Moyamoya disease: Diagnosis, treatment, and recent achievement. In Barnett HJM, Stein BM, Mohr JP, Yatsu FM. *Stroke*. New York: Churchill Livingstone, 1986:805-829.
5. Kim SK, Wang KC, Oh CW, Kim IO, Lee DS, Song IC, Cho BK. Evaluation of cerebral hemodynamics with perfusion MRI in childhood moyamoya disease. *Pediatr Neurosurg* 2003;38:68-75
6. Kuroda S, Houkin K, Kamiyama H, Abe H, Mitsumor K. Regional cerebral hemodynamics in childhood moyamoya disease. *Child's Nerv Syst* 1996;11:584-590.
7. Miller JH, Khonsary A, Raffel C. The scintigraphic appearance of childhood moyamoya disease on cerebral perfusion imaging. *Pediatr Radiol* 1996;26:833-838.
8. Tzika AA, Robertson RL, Barnes PD, et al. Childhood moyamoya disease: hemodynamic MRI. *Pediatr Radiol* 1997;27:727-735.
9. Tsuchiya K, Inaoka S, Mizutani Y, Hachiya J. Echo-planar perfusion MR of moyamoya disease. *AJNR* 1998;19:211-216.
10. Adams WM, Laitt RD, Li KL, Jackson A, Sherrington CR, Talbot P. Demonstration of cerebral perfusion abnormalities in moyamoya disease using susceptibility perfusion- and diffusion-weighted MRI. *Neuroradiology* 1999;41:86-89.
11. Yamada I, Himeno Y, Nagaoka T, et al. Moyamoya disease: evaluation with diffusion-weighted and perfusion echo-planar MR imaging. *Radiology* 1999;212:340-347.
12. Lee SK, Kim DI, Jeong EK, Kim SY, Kim SH, In YK, Kim DS, Choi JU.

- Postoperative evaluation of moyamoya disease with perfusion-weighted MR imaging: initial experience. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003;24:741-747.
13. Yamada I, Nakagawa T, Matsushima Y, Shibuya H. High-resolution turbo magnetic resonance angiography for diagnosis of moyamoya disease. *Stroke* 2001;32:1825-1831.
 14. Mugikura S, Takahashi S, Higano S, Shirane R, Kurihara N, Furuta S, Ezura M, Takahashi A. The relationship between cerebral infarction and angiographic characteristics in childhood moyamoya disease. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20:336-343.
 15. Adams HP Jr. Occlusion of the internal carotid arteries: reopening a closed door?. *JAMA* 1998;280:1093-1094.
 16. Lee EJ, Yu WJ, Jung SL, Chung BG, Song SY, Kim MD, Kang SW. The relationship between cerebral infarction on MR and angiographic findings in moyamoya disease: significance of the posterior circulation. *J Korean Radiol Soc* 2002;46:521-528.
 17. Ezura M, Yoshimoto T, Fujiwara S, Takahashi A, Shirane R, Mizoi K. Clinical and angiographic follow-up of childhood-onset moyamoya disease. *Child Nerv Syst* 1995;11:591-594.

Abstract

Hemodynamic evaluation and staging workup of moyamoya disease with perfusion weighted magnetic resonance imaging: a comparative study with conventional angiography

Hyun Kyung Jeong

*Department of Medicine
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Dong Joon Kim)

Moyamoya disease is a chronic progressive cerebrovascular disease of unknown etiology and characterized by stenooclusive changes of supraclinoid internal carotid arteries with prominent collateral vessel formation. The clinical presentation of moyamoya disease depends on the degree of stenooclusive changes of intracranial artery including supraclinoid internal carotid artery and collateral vessel formation affecting cerebral perfusion. The evaluation of hemodynamics in moyamoya disease is important and perfusion weighted magnetic resonance imaging has been used effectively in assessing hemodynamics in addition to single photon emission tomography (SPECT), the gold standard of imaging in moyamoya disease.

The purpose of this study was to evaluate hemodynamics in moyamoya disease using perfusion weighted magnetic resonance imaging and to compare it with conventional angiography and assess the utility of perfusion weighted magnetic resonance imaging in evaluating the degree of stenooclusive change of intracranial artery and collateral vessel formation.

24 patients with moyamoya disease diagnosed with conventional angiography (10 males, 14 females; mean 8.1 years; aging range from 2 to 21 years) were included in this study and was reviewed by two radiologists retrospectively.

The angiographic findings were graded according to the stenooclusive change

of intracranial artery including supraclinoid internal carotid artery and the degree of collateral vessel formation, using previously proposed angiographic staging system. In perfusion weighted magnetic resonance imaging, areas in the hemispheres were divided into eight regions and the time to peak (TTP) and relative cerebral blood volume (rCBV) were evaluated according to the divided areas.

The degree of stenocclusive changes of PCA significantly correlated with the time to peak (TTP) according to the divided areas in the hemisphere ($p = 0.0027$) and in this area increased relative cerebral blood volume (rCBV) was observed, thus we predicted the possibility of prominent collateral vessel formation in this area. Also the degree of stenocclusive changes of PCA significantly correlated with the transdural collateral formation ($p = 0.0117$) and the increased relative cerebral blood volume (rCBV) was due to the transdural collateral formation.

In conclusion, we can predict the degree of stenocclusive changes of PCA and the transdural collateral formation in patients with moyamoya disease using perfusion weighted magnetic resonance imaging.

Key Words : perfusion weighted magnetic resonance imaging, cerebral angiography, moyamoya disease