

Slice Interpolation 기법의 고해상도 자기공명 촬영술을 이용한 뇌동맥류의 검사: 자기공명 혈관 조영술과 디지털 감산 혈관조영술의 비교

영동세브란스 병원 진단방사선과

황규섭 · 권혁우 · 이재승 · 임동순 · 김영섭 · 권영갑 · 정태섭

I. 서 론

대부분의 지주막하 출혈은 특별한 증상이 없이 갑작스런 두개강내 동맥류의 파열로 생기게 된다. 이러한 뇌동맥류는 인구의 2~5%에서 있으며(1) 이들 중 1~2%에서 연간 파열할 위험성이 있으며 일단 파열되면 파열 때마다 50% 이상의 사망율이 증가하게 된다.²⁾

뇌동맥류의 검사 및 진단을 위해서는 뇌혈관조영술이 많이 이용되고 있다. 그러나 이 자체도 영구 신경학적 합병증이 2.6~5.4% 정도 생길 가능성이 있으므로 실제로 조기 발견을 목적으로 검사하기에는 부적합하며 위험하다.^{3,4)} 따라서 자기공명 혈관 조영술이 비침습적 혈관검사법으로 좋은 검사방법이 될 수 있다.

그러나 자기공명촬영술이 뇌혈관 조영술을 충분히 대체하기 위해서는 동맥류 자체만 확인하는 것이 아니라, 기원혈관, 동맥류 경부의 확인, 인근 작은 혈관과의 연관관계 등을 잘 묘사 할 수 있어야 한다.⁷⁾ 뇌동맥류의 확인을 위해서 고해상도 자기공명 혈관조영술이 반드시 필요하지만 현재까지는 영상 획득 시간이 너무 길기 때문에 실제로 사용하기에 어려움이 많다.⁷⁾ 대부분의 파열된 뇌동맥류에 의한 지주막하 출혈환자는 불안정하므로, 자기공명 혈관 조영술을 통상적으로 이용하기 위해서는 고해상도와 빠른 영상 획득 시간, 그리고 좋은 영상의

화질(quality)이 필수적이다. 이러한 slice interpolation 기법의 새로운 고해상도와 빠른 영상 획득 자기공명 혈관 조영술 기법을 지주막하출혈 환자에게 먼저 시행하고 그후 디지털 감산혈관 조영술을 시행하여서 비교하는 선별검사를 시행함으로써 정확도와 실용도를 확인하였다.

II. 대상 및 방법

19명의 환자에서 총 26개의 두개강내 동맥류를 대상으로 먼저 자기공명 혈관 촬영술을 시행하여 확인한 뒤에 디지털 감산 혈관조영술을 시행하여 비교하는 연구를 하였다. 이들 중 14명은 파열된 뇌동맥류로 인한 지주막하 출혈로, 5명은 선별검사 중 발견된 파열되지 않은 동맥류로 내원하였다. 파열된 뇌동맥류환자 중 호흡곤란 등 불안정한 경우 자기공명 혈관 촬영술에서 제외하였다.

28세에서 65세의 환자를 대상으로 하였으며 남자는 9명, 여자는 10명으로 평균 연령은 53세였다.

사용된 장치는 검사자장의 능력을 가진 1.5T 초전도형기기(Siemens, Vision, Erlangen, Germany)를 이용하였다. 모든 검사는 TR/TE/AC.=30/6.4/1, matrix 512×160, 200×150 mm 관측면의 조건으로 3-D TOF 자기공명 혈관 조영술을 시행하였으며 0.7mm의 138횡단면으로 대공에서부터 A3부위까지의 전체 두개강 내 주요 혈관이 포함 되도록 총

102.2mm의 두께가 포함되도록 하였다.

자기공명 혈관조영술을 Slice Interpolation 기법의 3-D TOF로 7분 42초가 소요되었다.

경동맥 분지 부위와 후뇌 혈류부위를 분리하기 위하여 필요 부위만을 표시하여 얻은 영상을 최대 강도투사(MIP : maximum intensity projection)와 다면 재구성(MPR : multiplanar reconstruction)을 시행하였다. 일단 두개강내 동맥류가 자기공명 혈관조영술에서 확인되면 최대 강도 투사 영상을 2~3배 확대하여 확인하였다.

동맥류의 크기, 모양, 경부와 기원혈관과의 연관 관계를 자기공명 혈관조영술만 시행한 경우 자기공명 혈관조영술과 다면 재구성을 같이 시행한 경우, 디지털 감산 혈관조영술의 결과와 비교하였다.

동맥류의 크기와 모양의 경우 디지털 감산 혈관조영술에서의 크기와 같이 비교하였으며, 경부와 기원 혈관과의 연관 관계의 경우 각각의 조건 별로 신호감도 및 표현정도를 비교하였다.

디지털 감산 뇌동맥 조영술은 자기공명 혈관조영술을 시행한 후 최소한 2시간 이내에 시행하여 동맥류내에 혈전이 생기거나 동맥 수축으로 인한 영상의 차이점을 최소화하고자 하였다. 모든 환자에게 디지털 감산 혈관조영술을 양측 내경동맥과 좌측 척수동맥에서 시행하였다. 필요에 따라 전후, 좌우 및 사면 촬영을 검사 중 획득하였다. 검사전 환자에게 검사의 필요성과 조영제 등의 부작용에 대해 충분히 설명한 후 검사 동의서를 받았다.

III. 결 과

19명의 환자 중 18명에서 자기공명 혈관조영술과 디지털 감산 혈관조영술로 26개의 동맥류 중 내대뇌동맥에 1mm 크기의 부상상 동맥류(para-clinoid aneurysm) 1개를 제외한 25개의 동맥류를 각각 발견할 수 있었다. 이 부상상 동맥류(para-clinoid aneurysm)증례는 초기에 자기공명 혈관 조영술을 먼저 시도했으나 특별히 동맥류를 볼 수 없었다. 2주 후 추적 자기공명 혈관 조영술검사에서 우 부상상 내대뇌동맥에서 3mm 크기의 동맥류를 볼 수 있었으며 디지털 감산 혈관조영술 검사

에서 확인할 수 있었다. 그후 다시 초기의 자기공명 혈관조영술과 디지털 감산 혈관조영술을 재 검토하여 1mm 크기의 동맥류가 각각 있는 것을 확인할 수 있었다(증례 14, fig. 1).

이 증례를 제외하고 나머지 전체를 처음 자기공명 혈관조영술에서 찾을 수 있었으며 디지털 감산 혈관조영술에서 찾을 수 있었으며 디지털 감산 혈관조영술로 확인할 수 있어 96%의 예민도를 보였다. 26개의 두개강내 동맥류 중 파열된 동맥류가 14개이며 파열되지 않은 동맥류가 12개였다. 크기는 2mm 이하가 8개, 3~5mm가 9개, 6~10mm가 7개이며 10mm 이상이 2개 있었다. 최하 1mm 크기에서부터 최고 12mm 크기까지 있었다. 2mm 크기 이하의 동맥류 8개 중 2개가 파열된 동맥류였으며 6개가 파열되지 않은 동맥류였고, 3~5mm 크기에서는 9개 중 6개가 파열된 동맥류이며, 10mm 이상의 2개 중 1개가 파열된 동맥류이며, 1개는 파열되지 않은 동맥류였다(table 1).

특히 2mm 이하의 파열된 동맥류 2개는 1mm 크기의 우중대동맥 분지 동맥류(증례 13, fig. 2)와 2mm 크기의 대뇌전교통동맥 동맥류(anterior communicating artery aneurysm)(증례 3)였다.

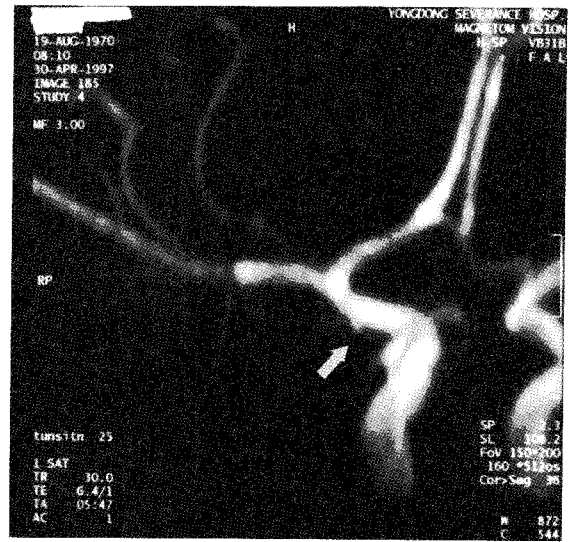
파열된 동맥류와 파열되지 않은 동맥류에 상관없이 1mm 크기 이상 동맥류의 발견율은 자기공명 혈관조영술과 디지털 감산 혈관 조영술에서 같았다.

두 개강 내 동맥류의 크기를 측정하는데 있어서 자기공명 혈관조영술만 시행한 경우 8mm(증례 2), 4mm(증례 15)와 2mm(증례 16)의 동맥류에서는 내부의 와류(turbulent flow)에 의한 저신호(poor signal intensity)로 인해 디지털 감산 혈관조영술보다 작게 표현되었다. 그외 22개(85%)에서는 동맥류의 크기를 측정하는데 있어 자기공명 혈관조영술만으로 판독한 경우, 자기공명 혈관조영술과 동시에 다면재구성을 한 경우와 디지털 감산 혈관 조영술의 소견이 잘 일치 되었다.

동맥류의 모양을 평가하는데 있어 22개(85%)는 서로 일치하는 소견을 보았다(증례 6). 소견이 일치되지 않은 4개 중 3개는 자기공명 혈관조영술에서 매끄러운 모양을 보였으나 다면재구성과 디지털 감산 혈관 조영술에서는 딸낭(daughter sac)이 관찰되었다. 나머지 1개는 자기공명 혈관조영술과



a.



b.



c.



d.

Fig. 1. A case of 28-year-old man with subarachnoid hemorrhage attack.(case 14)

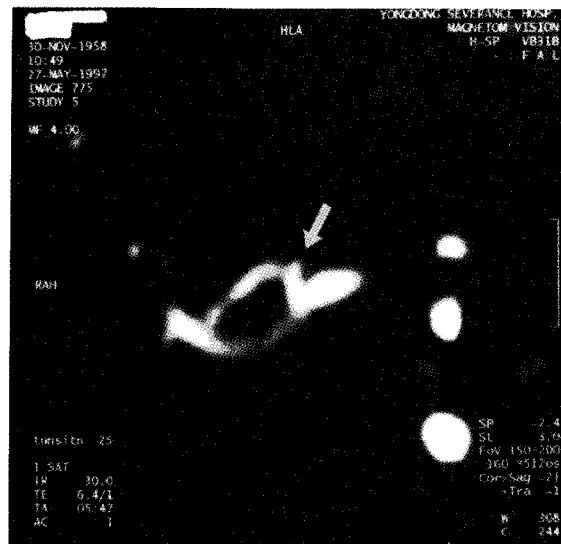
a. b. DSA and MRA immediately following subarachnoid hemorrhage attack revealed 1mm aneurysm(arrow) at the paraclinoid portion of internal cerebral artery, which was missed on that examination, and was found on the review at 2 weeks follow up examination with DSA and MRA.
c. d. Two weeks follow up examination of DSA and MRA revealed 3mm size of aneurysm(arrow) at the same area. The size of aneurysm grew rapidly during those 2 weeks. The aneurysm was confirmed and clipped on operation.



a.



b.



c.

Fig. 2. A case of 39-year-old woman patient with subarachnoid hemorrhage episode.(case 13)
 a. DSA revealed 1mm size of aneurysm sac(arrow) at superior border of right side bifurcation area of middle cerebral artery.
 b. Magnified MP image MRA showed superior direction of small aneurysm sac(arrow) at the same site.
 c. Magnified MPR image showed small projection of vessel lumen at the same site of right bifurcation of middle cerebral artery.

Table 1. Findings of MRA and DSA in aneurysm patients

Pt.No	age(y) /Sex	location of aneurysm	size(mm)		neck(mm)		RA/ UA
			MAR/MRA + MPR /DSA	MRA/MRA + MPR /DSA	MRA/MRA + MPR /DSA	MRA/MRA + MPR /DSA	
1	63/M	A-com artery	5/5/5	S/DS/DS	3/4/NI	RA	
2'	58/F	A-com artery	8(PS)/8/8	S/S/\$	6/6/NI	UA	
2''	58/F	ICA	6/6/6	S/S/S	NI/2/NI	RA	
3	64/F	A-com artery	2/2/2	S/S/S	NI/2/2	RA	
4'	60/F	A-com artery	6/6/6	DS/DS/DS	NI/4/NI	UA	
4''	60/F	ACA	1/1/1	S/S/S	1/1/1	RA	
5	65/M	A-com artery	3/3/3	S/S/S	2/2/2	RA	
6'	69/F	A-com artery	7/7/7	DS/DS/DS	3/3/3	UA	
6''	69/F	P-com artery	2/2/2	S/S/S	2/2/2	UA	
7	53/M	A-com artery	2/2/2	S/S/S	1/1/1	UA	
8	55/M	ACA	4/4/4	S/S/S	3/3/3	RA	
9	60/M	ACA	4/4/4	DS/DS/DS	2/2/2	UA	
10'	60/F	ACA	2/2/2	S/S/S	1/1/1	UA	
10''	60/F	MCA	4/4/4	S/DS/DS	3/3/3	RA	
10'''	60/F	P-com artery	7/7/7	DS/DS/DS	4/4/4	RA	
11	55/M	ACA	2/2/2	S/S/S	2/2/2	UA	
12	30/M	MCA	4/4/4	S/S/S	3/3/3	RA	
13	39/F	MCA	1/1/1	S/S/S	1/1/1	RA	
14	28/M	ICA	3/3/3	S/S/S	NI/3/NI	RA	
15'	58/F	ICA	4(PS)/4/4	S/S/S	NI/3/3	UA	
15''	58/F	ICA	12/12/12	DS/DS/DS	NI/8/NI	RA	
15'''	58/F	Basilar artery	7/7/7	S/S/S	5/5/5	UA	
16	49/M	ICA	2(PS)/2/2	S/S/S	NI/2/2	UA	
17	53/F	P-com artery	4/4/5	S/S/DS	2/2/2	RA	
18	39/F	Basilar artery	12/12/12	S/S/S	4/4/4	UA	
19	64/F	Vertebral artery	6/6/6	S/DS/DS	3/3/3	RA	

MRA : Magnetic resonance angiography DSA : Digital subtraction angiography MPR : Multiplanar reconstruction
 ' ' ' : Multiple aneurysm A-com artery : Anterior communicating artery
 ICA : Internal carotid artery P-com artery : Posterior communicating artery
 ACA : Anterior cerebral artery MCA : Middle cerebral artery
 PS : Poor signal intensity S : Smooth DS : Daughter sac
 NI : Not identified RA : Ruptured aneurysm UA : Unruptured aneurysm



a.



b.



c.



d.

Fig. 3. A case of 58-year-old women with subarachnoid hemorrhage attack(case 2).

- a. DSA revealed an 8mm size of aneurysm sac(arrow) at left anterior communicating artery. The neck of aneurysm and the relationship with parent vessel were not clearly identified on DSA.
- b. Aneurysm sac was not clearly visualized on routine MRA image both internal arteries and anterior cerebral arteries.
- c. Magnified MIP image of MRA showed relationship between aneurysm sac, right A2 portion of anterior cerebral artery(small arrow), left cerebral artery(arrow head) and A1 portion of anterior cerebral artery(large arrow).
- d. Magnified MPR image showed broad neck of aneurysm at anterior communicating artery. Good visualization of right(arrow) and left A2 portion of anterior cerebral arteries. Decreased signal intensity in the aneurysm sac due to turbulent flow is noted on MPR image.

다면재구성 영상에서 매끄럽게 보였으나 디지털 감산 혈관조영술에서는 딸남이 관찰되었다. 디지털 감산 혈관조영술의 소견상 딸남이 보인 9개의 동맥류 중에 8개에서 딸남을 확인하였으나 1개에서는 딸남의 방향과 경부(neck)의 방향이 일치하지 않아 같은 영상에서 관찰할 수 없었다.

동맥류의 경부를 확인하는데 다면재구성을 한 경우 23개 모두에서 확인이 가능하였으나 자기 공명 혈관조영술만 한 경우 17개(73%), 디지털 감산 혈관조영술에서는 20개(77%)에서 확인이 가능하였다. 특히 내대뇌동맥에서 생긴 5개의 동맥류의 경부가 자기공명조영술에서는 5개 전부 디지털 감산 혈관조영술에서는 3개에서 표현되지 않았으며 대뇌 전교통동맥(fig. 3)에 있는 동맥류 7개 중 자기공명 혈관조영술로 2개 디지털 감산 혈관조영술로 3개에서 경부가 정확히 표현되지 않았다. 그러나 이들 모두 다면재구성 영상에서 경부가 정확히 표현되었다.

동맥류의 기원혈관과 근접한 작은 혈관과의 연관관계를 확인하는데 다면재구성을 한 경우 26개 모두에서 확인이 가능하였으나 자기공명혈관조영술만 할 경우 23개(88%), 디지털 감산 혈관 조영술에서는 21개(81%)에서 확인이 가능하였다. 특히 디지털 감산 혈관조영술의 경우 대뇌전 교통동맥에서 생긴 7개의 동맥류 중 크기가 큰 3개(증례 1,

2, 5)에서 동맥류와 기원혈관이 서로 겹쳐 보이며 정확한 구별이 어려웠다.

IV. 고 찰

대부분의 지주막하 출혈은 두개강내 동맥류의 파열로 인해 생기게 되며 출혈후 초기 2주내에 환자의 50%가 사망한다^{2,8,9)}. 환자의 사망율을 낮추기 위해서는 파열되기 전에 두 개강내 동맥류를 발견하여 미리 치료하여 주는 것이 필요하다¹⁰⁾. 지금까지 3mm 이하의 작은 두개강내 동맥류는 자기공명 혈관조영술로 발견하기 어려웠으며 3mm보다 작은 두개강내 동맥류는 실제로 출혈을 동반한 경우가 없다고 보고함으로써^{6,11)} 작은 두개강내 동맥류에 대한 관심이 자연스럽게 축소되었다. 본 연구의 경우 2mm 이하의 아주 작은 8개의 두개강내 동맥류 중 2개가 지주막하 출혈을 유발하여 발견되었으므로 만약 자기공명 혈관 조영술로 선별적 검사를 한다면 가능한 한 작은 크기의 두개강내 동맥류도 검사의 대상이 되어야만 한다. 동맥류를 검사하는데 있어 수술 등의 치료 목적으로 동맥류 자체를 찾는것 뿐만 아니라 혈관의 기원, 동맥류 경부의 정의, 근접한 작은 혈관과의 관계도 잘 묘사되어야 한다⁷⁾. 또한 여러 개의 동맥류가 있는 경우 지주막

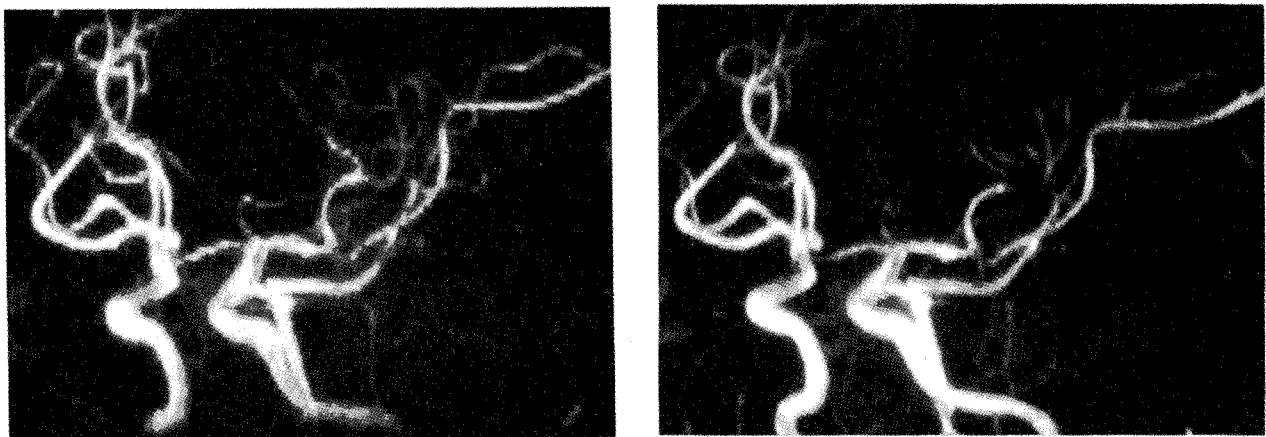


Fig. 4. 기존의 MRA(왼쪽)과 Turbo MRA(오른쪽)

기존 MRA : Time-of-flight, single slab, TR=msec, in-plan resolution=192×512, 64 partitions, scan time 8분
 Turbo MRA : 32 lines(64lines으로 interpolate),scan time 4분

하 출혈을 유발한 동맥류를 확인하기 위해서 동맥류의 모양을 확인할 수 있어야 한다¹³⁾. 이러한 조건을 만족시키기 위해서 고해상기법의 자기공명조영술과 다양한 방향으로 2D 영상을 볼 수 있는 다면재구성이 필수적이다^{7,14,15)}.

대부분의 파열된 동맥류로 인한 지주막하 출혈환자는 과민하거나 상태가 위중하기 때문에, 또 파열되지 아니한 동맥류 환자라도 기계내에서 받는 긴장을 적게하기 위해서 자기공명 혈관조영술의 영상 획득시간을 가급적 짧게하는 것이 바람직하다.

Time-of-flight 자기공명조영술의 영상 획득시간은 비교적 긴데 이것은 좋은 MR angiogram을 만들기 위해 1mm 이하의 isotropic 해상도가 필요하기 때문이다. Slice interpolation 기법은 K-space의 일부에 60% 내외의 적은 자료를 넣고 이용하기 때문에 voxel 크기를 작게 유지하면서도 영상 획득시간을 감소시켰다(fig. 5).

동시에 이 기술로 짧은 영상획득시간에 3D data 상 더 얇은 partition을 사용해 MR angiogram의 질을 더 높여 줄 수 있다. Saturation 효과(wash-out effect)와 sequence parameter들(TR, thickness, MT-pulse, Tone pulse들, slab 수)을 적합하게 선택하는 운용의 묘를 기대할 수 있다.

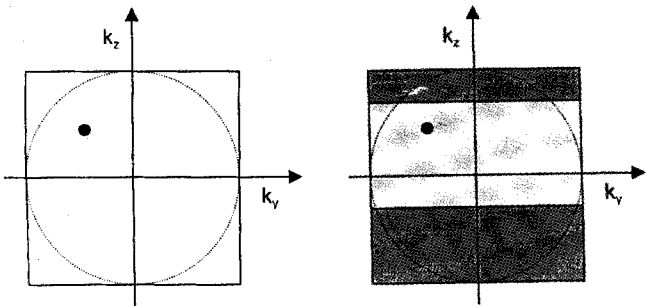


Fig. 5.

왼 쪽 : 기존 MRA sequence, 정사각형으로 k-space를 채워가는 방식

오른쪽 : Turo MRA scan은 부분적으로 k-space를 채운다.

k-space의 어두운 부분은 0으로 채워진다.

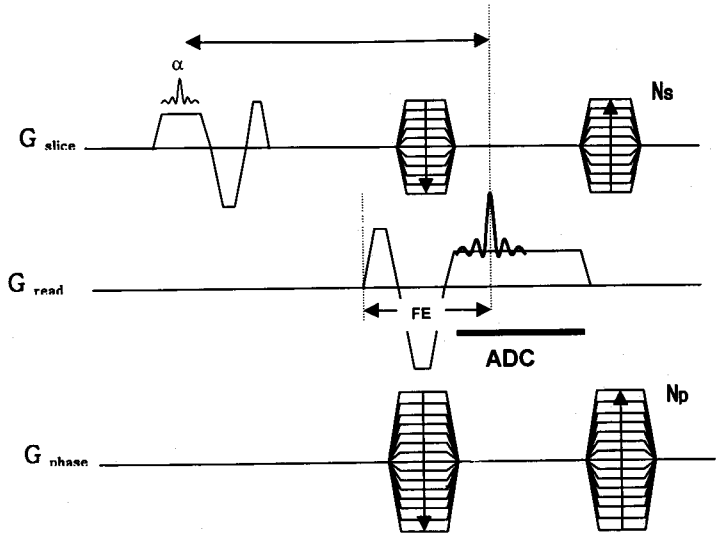


Fig. 6. 3D Turbo MRA pulse digram

TOF 자기공명 혈관조영술에서는 평행 흐름에서의 포화, 와류로 인한 신호 소실과 저속 흐름에서 유입 신호 증강의 감소등이 신호를 나쁘게 하는 원인이 된다. 최대 강도 투사 기법을 쓰는 경우 흐름의 상태에 따라 혈관 직경의 감소, 혈류의 와류나 협착의 과장이나 작은 혈관이나 저속 혈류가 잘 보이지 않는 현상이 나타나게 될 수 있다¹⁶⁾. 이러한 경우 기본절편영상이나 압축영상(collapsed image)을 이용하면 여러 가지 잘못된 영상을 피할 수 있어 많이 이용되고 있다^{6,17)}. 그러나 기본 절편영상이나 압축영상은 촬영 방향에 따라 일정 방향으로만 관찰할 수 있으므로 두경부 동맥류같이 그 방향이 일정하지 않아 촬영방향과 일치하지 않는 경우 흔히 진단이 힘들 수 있다. 다면재구성 영상을 이용하는 경우 최대 강도 투사로는 파악하기가 힘들었던 1) 0.4~6mm 범위내에서 적절한 두께의 절편으로 360도를 돌아가면서 동맥류가 있는 부위를 다양한 방향에서 기원혈관과 근접한 작은 혈관 등의 관계를 자세히 볼 수 있으며, 2) 동맥류 경부와 평행하게 영상을 얻어 경부의 방향, 굵기를 자세히 알 수 있으며, 3) 상대적인 대조도가 높으므로 최대 강도 투사 영상에서 잘 확인되지 않던 딸낭의 모양을 확인 할 수 있었으나 딸낭의 방향이 다양하므로 반드시 다양한 방향의 다면 재구성으로 관찰해야 한다. 4) 내부의 신호강도의 분포를

확인하여 내부의 혈류 동태를 간접적으로 알 수 있으며, 5) 주위 해부학적 구조와의 관계를 알 수 있다. 다면재구성으로 분석한 경우 동맥류의 크기와 모양의 결과는 디지털 감산 혈관 조영술로 분석한 경우와 거의 비슷하였으며 자기공명 혈관조영술 후 최대 강도 투사 영상만으로 분석할 때 보다 월등히 우수하였다. 동맥류 경부와 기원혈관과의 연관관계를 분석하는데 있어 다면재구성으로 분석할 때 자기공명 혈관조영술이나 디지털 감산 혈관조영술단독으로 할 때 보다 월등히 성적이 우수하였다. 내대뇌동맥과 대뇌전교통동맥에서 생긴 동맥류의 경우 크기가 클수록 주위 기원혈관과 접근하여 밀착되고 이로 인해 자기공명 혈관조영술과 디지털 감산 혈관조영술로 근처 경부와의 연관관계의 정확한 표현이 어려웠으나 다면재구성 영상으로 중복되는 영상이 없이 정확히 표현이 가능하였다.

임상적으로 지주막하 출혈로 진단된 한정된 환자와 선별 검사 중 발견된 파열되지 않은 동맥류 환자만 연구 대상으로 한 점이 본 연구의 제한점이 될 수 있다. 이러한 결과는 다른 보고⁶⁾의 100% 특이도와 비교할 때 상대적으로 상당히 특이도가 높을 것을 의미할 수도 있다. 그러나 본 연구에서 두경부 동맥류의 평가에 있어 slice interpolation 기법의 고해상 자기공명 혈관 조영술로 디지털 감산혈관조영술과 같은 96%의 높은 예민도를 보여 선별검사로 알맞은 비침습성 검사가 될 수 있겠다. 또한 다면재구성 영상을 동시에 사용한다면 동맥류의 경부와 기원 혈관과의 연관관계도 충분히 표현 가능하므로 디지털 감산 혈관조영술을 대체할 수 있는 동맥류 수술을 위한 일차 검사로 가능할 것으로 본다.

비록 환자와 동맥류의 숫자가 적고 한정되어 있지만 본 연구의 결과는 자기공명 혈관 조영술을 이용하여 1mm까지의 두경부동맥류를 발견 할 수 있을 것으로 보인다. 앞으로 자기공명 혈관 조영술과 다면재구성을 할 경우 두경부 동맥류의 선별 검사로 또한 동맥류 수술을 위한 일차 검사로도 충분히 유용할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Juvela s, Porra M, Heiskanen O. Natural history of unruptured intracranial aneurysm: a long-term follow-up study. J Neurosurg 1993;79: 174-182
2. Khanna RK, Malik GM, Qureshi N. Predicting outcome following surgical treatment of unruptured intercranial aneurysm: a proposed grading system. J Neurosurg 1996;84:49-54
3. Earnest IV F, Frobes G, Sandok BA, et al. Complications of cerebral angiography prospective assessment of risk. AJR 1984;142: 247-253
4. Faught E, Trader SD, Hanna GR. Cerebral complications of angiography for transient ishchemic and stroke: prediction of risk. Neurology 1979;29:4-15
5. Awad IA, McKenzie R, Magdinec M, Masaryk T. Application of magnetic resonance angiography to neurosurgical practice: a critical review of 150cases. Neurol Res 1992; 14: 360-368
6. Ross JS, Masaryk TJ, Modic MT, Ruggieri PM, Haacke EM, Selman WR. Intracranial aneurysm: Evaluation by MR angiography. Am J Neuroradiol 1990;11:449-456
7. Atlas SW. MR angiography in neurologic disease. Radiology 1994;193:1-16
8. Fogelholm R. Subarachnoid hemorrhage in Middle-Finland: incidence, early prognosis and indications for neurosurgical treatment. Stroke 1981;12:296-01
9. Sarti C, Tuomilehto J, Salomaa V, et al. Epidemiology of subaachoid hemorrhage in Finland from 1983 to 1985. Stroke 1991;22:848-853
10. Ronkainen A, Puranen MI, Hernesniemi JA, et al. Intracranial aneurysms: MR angiographic screening in 400 asymptomatic individuals with increased familial risk. Radiology 1995;195: 35-40

11. McCormick WF, Acosta-Rua GJ. The size of intracranial aneurysms. An autopsy study. *J Neurosurg* 1970; 33: 422-427
12. Wilcock DJ, Jaspan T, Worthington BS. Problems and pitfalls of 3-D TOF magnetic resonance angiography of the intracranial circulation. *Clinical radiology* 1995; 50: 526-532
13. Wood EH. Angiographic identification of the ruptured lesion in patients with multiple cerebral aneurysms. *J Neurosurg* 1964; 21: 182-198
14. Lewin JS, Laub G. Intracranial MR angiography: direct comparison of three time-of-flight techniques. *AJNR* 1991; 12: 1133-1139
15. White RD, Obuchowski NA, Vandyke CW, et al. Thoracic aortic disease: evaluation using a single MRA volume series. *J Comp Assist Tomogr* 1994; 18: 843-854
16. Anderson CM, Salonar D, Tsuruda JS, Shapeero LG, Lee RE. Artifacts in maximum-intensity-projection display of MR angiograms. *AJR* 1990; 154: 623-629
17. Sevick RJ, Tsuruda JS, Schmalbrock P. Three-dimensional time-of-flight MR angiography in the evaluation of cerebral aneurysm. *J Comp Assist Tomogr* 1990; 14: 874-881