대한영상의학회지 2011 ; 64 : 203-211

뇌동맥 경화증 진단에서 삼차원 비약시간기법을 이용한 자기공명혈관조영술과 조영증강 자기공명혈관촬영술의 비교 연구[1]

최 진 하 · 임 수 미 · 김 유 경

목적: 뇌혈관 협착 및 폐색 질환 진단에 삼차원 비약시간 자기공명혈관촬영술(3D Time of flight Magnetic Resonance Angiograhpy, 이하 3D TOF MRA) 과 조영증강 자기공명혈관촬영술(Contrast enhanced MRA, 이하 CE MRA)의 진단적 가치를 비교하고자 하였다.
대상과 방법: 2007년 4월부터 2009년 12월까지 뇌혈관 협착 증상이 있거나 의심되어 뇌자기공명혈관촬영술을 시행하고 고식적 혈관조영술을 함께 시행한 95명 환자를 대상으로 하였다. 영상분석은 두 명의 영상의학과 의사가 최대강도투사기법으로 재구성한 3D TOF MRA와 CE MRA 영상을 분석하였다. 두개강 내 혈관은 원위부 내경동맥, 중대뇌동맥, 척추바닥뇌동맥으로 나누어 혈관 직경이 50%까지 좁아져 있으면 저등급 협착, 50% 이상 99%까지 고등급 협착 그리고 폐색 3단계로 기록하였다. 이후 혈관조영술을 표준지표로 설정하고 McNemar test를 이용하여 50% 이상의 고등급 및 폐색 진단에서 3D TOF MRA와 CE MRA의 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 비교하였다.
결과: 50% 이상의 고등급 및 폐색 진단에서 CE MRA의 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도는 94.2%, 88.1%, 51%, 99.1%, 88.8%이며, 3D TOF MRA는 94.2%, 91.6%, 59.8%, 99.1%, 91.9%였다. CE MRA와 3DTOF MRA의 민감도와 특이도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).
결론: 뇌혈관 협착이나 폐색의 진단에서 3D TOF MRA는 CE MRA와 대등할 만한 진단적 성취를 제시하였다.

허혈성 뇌졸중은 한국인의 사망원인 중 가장 흔한 질환 중의 하나로 높은 사망률과 더불어 심각한 신체적, 정신적 장애를 일으키는 질병이다. 큰 동맥 죽상경화증은 허혈성 뇌졸중의 주요 원인으로, 동맥내막에 지방과 염증세포 축적으로 죽상판을 형성하여 뇌혈관 내경이 좁아지고 손상된 혈관 벽에 혈전이 생기면서 혈관 폐색이 발생한다(1). 시기적절한 항혈전요법과 혈관 내 치료는 허혈성 뇌졸중의 치료에 필수적이다(2-4). 따라서 증상이 있는 허혈성 뇌졸중 환자에서 뇌혈관 협착 또는 폐색의 신속하고 정확한 진단은 매우 중요하다.

자기공명혈관촬영술(MRA)은 허혈성 뇌졸중을 진단하는 가장 중요한 영상기법 중의 하나이다. 자기공명영상(MRI)과 함께 시행하기 때문에 한 번의 검사로 뇌실질에 대한 평가와 더불어 뇌혈관에 대한 평가도 가능한 비침습적인 검사이다. 다양한 MRA 기법 중에서 3차원 비약시간 자기공명혈관조영술(3D Time of flight MRA, 이하 3D TOF MRA)과 조영증강 자기공명혈관조영술(Contrast enhanced MRA, 이하 CE MRA)이 선별검사로 널리 이용되고 있다. TOF MRA는 불포화 스핀을 포함한 혈류가 영상 단면 진입 시 경사 에코 연쇄를 걸어주면 부동스핀에 비해 고신호강도를 형성함으로써 영상을 얻는 기법이다(5). 반면 CE MRA는 상자성 조영제를 사용하여 혈액 내의 T1을 단축시켜 혈관을 조영시키는 기법이다(6). CE MRA와 3D TOF MRA에서 더 나은 영상의 질을 얻기 위한 다양한 MRA 기법이 연구되고 있으며 임상에서 적용되고 있다. 지금까지는 3D TOF MRA가 협착 혈관분절에서 신호강도소실 인공물로 인해 협착 정도를 과대평가하는 경향이 있어 CE MRA가 더 정확한 것으로 알려져 있었다. 그러나 최근의 연구논문에서는 총내경동맥이나 빗장밑동맥과 같은 큰 직경의 혈관이 아닌 두개 내 혈관과 같은 작은 혈관의 협착 평가에서 CE MRA가 3D TOF MRA 보다 진단적 우위에 있다는 기존의 학설에 상반된 결과가 나오고 있다. 따라서 본 연구에

[1]이화여자대학교 의학전문대학원 영상의학과
이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임(No. 2010-0003447).
이 논문은 2010년 11월 14일 접수하여 2010년 12월 15일에 채택되었음.

서는 뇌혈관 질환의 진단에서 3D TOF MRA가 CE MR에 비하여 진단적 열위에 있지 않다고 가정하고 3D TOF MRA와 CE MRA를 비교하고자 하였다.

대상과 방법

환자군

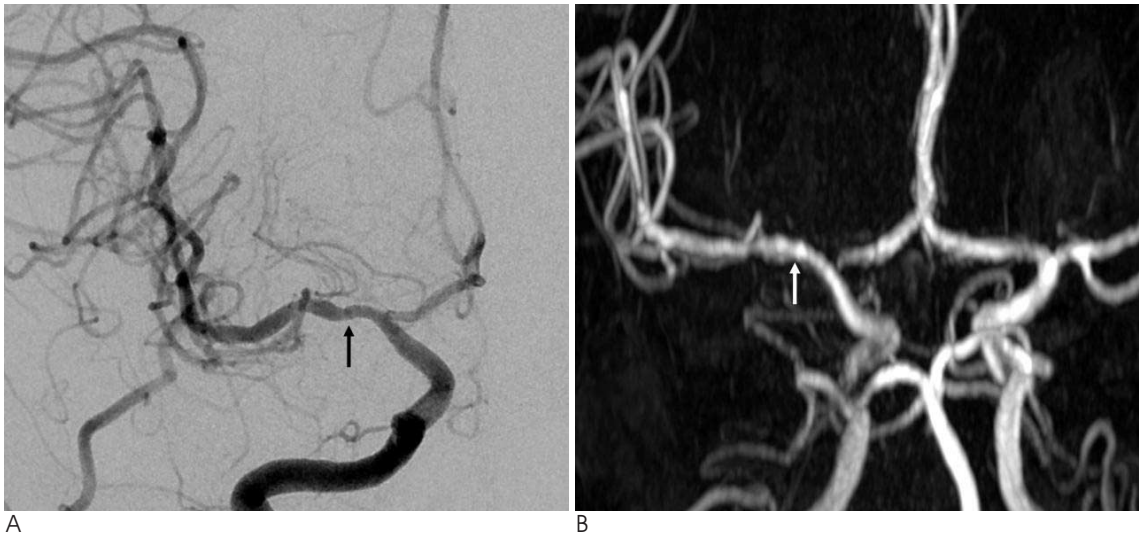
2007년 4월에서 2009년 12월까지 뇌혈관 협착 증상이 있거나 의심되는 환자 중에서 MRA와 고식적 혈관조영술(Digital Subtraction Angiography, 이하 DSA)를 모두 시행한 환자 95명을 대상으로 하였다. 모든 환자에서 3D TOF MRA와 CE MRA를 시행하였고 MRA와 DSA의 시간차는 1시간에서 27일까지였고 평균 5.6일이었다. 95명중 28명은 3T, 67명은 1.5T 자기공명영상기기를 이용하였다. 여자는 38명, 남자는 57명이었으며, 연령분포는 55세에서 85세였고 평균나이는 65세였다.

영상기법

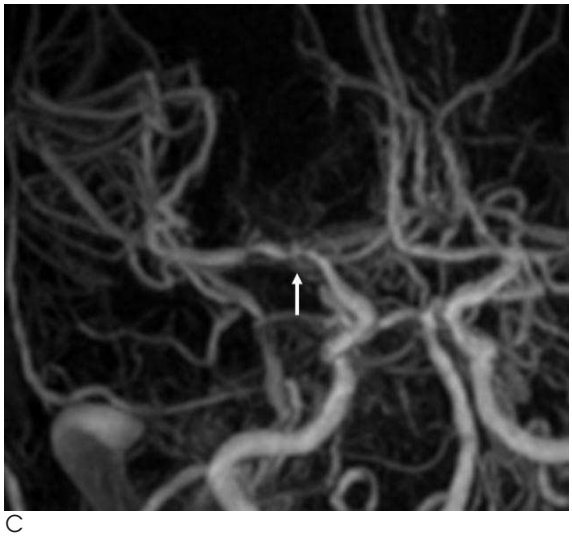
3D TOF MRA와 CE MRA는 3T 자기공명영상기(Achieva, Philips Medical systems, Eindhoven, Netherlands)와 1.5T 자기공명영상기(Avanto, Siemens Medial system, Erlangen, Germany)를 이용하여 얻었다. 이때 사용된 지표는 3D TOF MRA 3T에서 TR/TE = 24/3 msec, flip angle 20, scan thickness 0.6 mm, slice/slab 32, 1.5T에서 TR/TE = 24/7 msec, flip angle 23, scan thickness 0.6 mm, slice/slab 40이였고 CE MRA 3T에서 TR/TE = 5.3/1.2 msec, flip angle 30, scan thickness 1 mm, slice/slab 32, 1.5T MRI에서 TR/TE= 3.31/1.13 msec, flip angle 30, scan thickness 0.8 mm, slice/slab 96 이었다.

3D TOF MRA는 윌리스환(circle of Willis)을 중심으로 축상면 방향 슬랩을 얻었다. 슬랩은 50 mm두께로 3차원용적으로 얻었다.

이후 목위상정렬배열 코일을 이용하여 환자에게 Magnevist (Bayer-shering Parma, Berlin, German)을 0.2 mg/kg,



A B



C

Fig. 1. A 71-year-old male patient with dizziness.
A, B. DSA and 3D TOF MRA show a low grade stenosis (arrow) at right MCA.
C. In contrast, this lesion is misdiagnosed as a high grade stenosis (arrow) on CE MRA.

3.0 mL/s의 속도로 강력주사기(power injector)로 정맥 내 투여 하여 CE MRA를 관상면 방향으로 영상을 얻었다.

이렇게 얻은 3D TOF MRA 축상면 방향 원천영상과 CE MRA 관상면 방향 원천영상은 별도의 워크스테이션(workstation)으로 옮겨져 최대강도투사기법(Maximal intensity projection, 이하 MIP)으로 재처리하였다. 판독자는 MIP로 재구성한 영상만을 분석하였다.

DSA는 디지털 감산 조영기(Axiom-ARTIS, Siemens Medial system, Erlangen, Germany)를 이용하였고 대퇴동맥을 경피적으로 천자하고 카테터를 삽입시켜 영상증강장치 조절 하에 양측 총경 또는 내경동맥과 일측 혹은 양측 척추동맥영상을 얻었다.

영상분석 및 통계

두개강 내 혈관은 원위부 내경동맥, 중대뇌동맥, 척추바닥뇌동맥으로 나누어 평가하였다. 원위부 내경동맥은 petrocavernous에서 supraclinoidal 분절까지, 중대뇌동맥은 수평분절까지, 척추바닥뇌동맥은 척추동맥의 경막 내 부분과 바닥뇌동맥만을 포함하도록 정의하였다. 만약, 한쪽 척추동맥에 형성부전이 있다면 반대편 척추동맥을 평가하였다.

DSA가 일부 혈관에서 시행되지 않았거나 불충분한 경우 평가대상에서 제외하여 1쌍의 원위부 내경동맥, 11쌍의 중대뇌동맥, 5쌍의 척추바닥뇌동맥이 제외되었다. 총 원위부 내경동맥 188개, 중대뇌동맥 168개 그리고 척추바닥뇌동맥 180개에서 CE MRA, 3D TOF MRA 그리고 DSA를 각각 평가하였다.

혈관의 좁아진 정도는 시각적으로 3단계로 나누어 평가하였다. 정상 뇌혈관 직경은 협착부위 원위부를 기준으로 하였다. 혈관 직경이 50%까지 좁아져 있으면 저등급 협착(Fig. 1), 50% 이상 99%까지 좁아져 있으면 고등급 협착(Fig. 2), 그리고 완전 폐색으로 분류하였다.

3D TOF MRA와 CE MRA의 MIP기법으로 재처리한 영상은 2명의 영상의학과 의사가 나누어 임상적인 정보 없이 후향적으로 평가하였다. 이후 판독자간의 일치율을 알아보기 위해서 전체 536개의 뇌혈관 중에서 무작위로 저등급 혈관으로 분류된 50예와 고등급 협착 및 폐색으로 분류된 50예의 혈관을

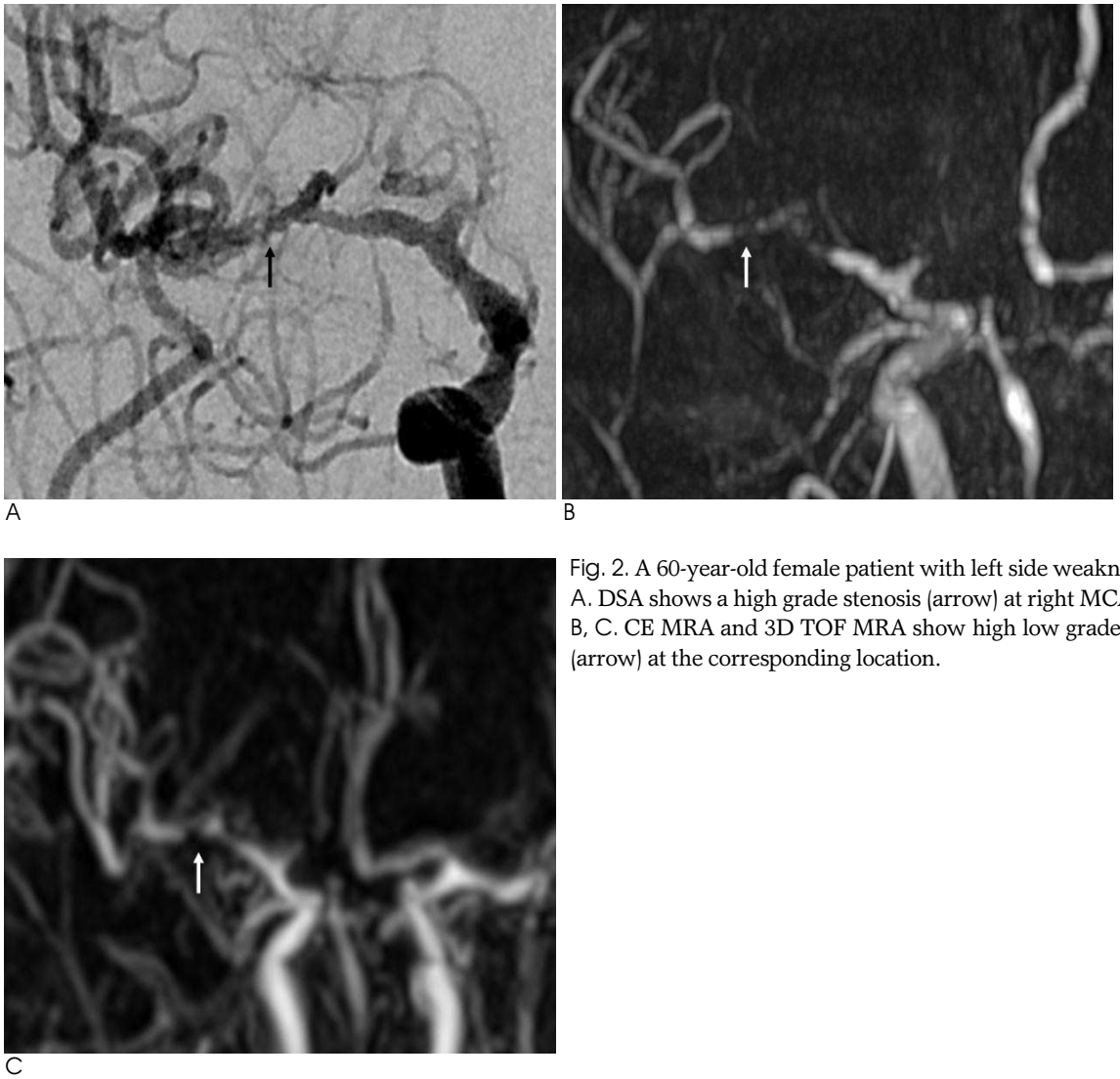


Fig. 2. A 60-year-old female patient with left side weakness.
A. DSA shows a high grade stenosis (arrow) at right MCA.
B, C. CE MRA and 3D TOF MRA show high low grade stenosis (arrow) at the corresponding location.

추출하여 A와 B가 동시에 평가하여 판독자간의 일치율을 알아보았다.

또한, North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial와 European Carotid Surgery Trial의 제시 및 최근 증상이 있는 환자에서 두개 내 혈관 스텐트 삽입 대상이 70% 이상의 협착에서 50% 이상으로 넓어지고 있는 것을(7) 고려하여 50% 이상의 뇌혈관 협착이 있는 경우를 치료의 대상이 될 수 있다고 판단하여 고등급 협착과 폐색의 발견율에 대한 CE MRA와 3D TOF MRA, 1.5 MRI와 3.0T MRI의 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도를 평가하였다. 추가로 McNemar test를 이용하여 CE MRA와 3D TOF MRA 두 기법 간에 민감도와 특이도가 통계적으로 의미 있게 차이가 있는지 알아보았다.

결 과

DSA에서 완전폐색 30예(원위부 내경동맥 14예, 중대뇌동맥 10예, 척추바닥뇌동맥 6예), 고등급 협착 22예(원위부 내경동맥 13예, 중대뇌동맥 6예, 척추바닥뇌동맥 3예), 저등급 협착 394예였다(원위부 내경동맥 161예, 중대뇌동맥 152예, 척추바닥뇌동맥 81예).

폐색 30예 중 CE MRA는 폐색 30예 모두 정확히 평가하였다. 3D TOF MRA는 폐색 29예는 정확히 평가하였고 1예는 고등급 협착으로 평가하였다. 고등급 협착 22예 중 CE MRA는 14예는 정확히 평가하였고 5예는 폐색으로 3예는 저등급 협착으로 평가하였다. 3D TOF MRA는 15예는 정확히 평가하였고 4예는 폐색으로 3예는 저등급 협착으로 평가하였다.

Table 1. Comparison Between CE MRA and DSA

CE MRA		DSA			
		Low Grade	High Grade	Occlusion	Total
Distal internal carotid artery	Low grade	140	1	0	141
	High grade	21	9	0	30
	Occlusion	0	3	14	17
	Total	161	13	14	188
Middle cerebral artery	Low grade	139	2	0	141
	High grade	10	2	0	12
	Occlusion	3	2	10	15
	Total	152	6	10	168
Vertebrobasillar atery	Low grade	68	0	0	68
	High grade	12	3	0	15
	Occlusion	1	0	6	7
	Total	81	3	6	90

Note.— CE MRA = Contrast enhancement MRA
DSA = Digital subtraction angiography

Table 2. Comparison Between 3D TOF MRA and DSA

3D TOF MRA		DSA			
		Low Grade	High Grade	Occlusion	Total
Distal internal carotid artery	Low grade	145	2	0	147
	High grade	15	9	1	25
	Occlusion	1	2	13	16
	Total	161	13	14	168
Middle cerebral artery	Low grade	140	0	0	140
	High grade	8	4	0	12
	Occlusion	4	2	10	16
	Total	152	6	10	168
Vertebrobasillar atery	Low grade	76	1	0	77
	High grade	5	2	0	17
	Occlusion	0	0	6	6
	Total	81	3	6	90

Note.— 3D TOF MRA = 3 dimensional time of flight MRA
DSA = Digital subtraction angiography

저등급 394예 중 CE MRA는 347예는 정확히 평가하였고 43예는 고등급 협착으로 4예는 폐색으로 평가하였다. 3D TOF MRA는 361예는 정확히 평가하였고 28예는 고등급 협착으로 5예는 폐색으로 평가하였다(Tables 1, 2).

50% 이상의 고등급 및 폐색 진단에서 CE MRA의 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도는 94.2%, 88.1%, 51%, 99.1%, 88.8%였고, 3D TOF MRA는 94.2%, 91.6%, 59.8%, 99.1%, 91.9%였다(Tables 3, 4).

50% 이상의 고등급 및 폐색을 진단에서 CE MRA와 3D TOF MRA의 민감도와 특이도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

1.5T CE MRA에서 폐색은 21예 모두 정확히 평가하였으며 고등급 협착은 18예 중 10예는 정확히 평가하였고 5예는 폐색으로, 3예는 저등급 협착으로 평가하였다. 3.0T CE MRA를 시행한 13예 중, 폐색은 9예, 고등급 협착은 4예였고 모두 정확히 평가하였다. 1.5T 3D TOF MRA에서 폐색은 21예, 고등급 협착은 17예였다. 폐색은 21예 모두 정확히 평가하였고, 고등급 협착은 17예 중 12예는 정확히 평가하였고 3예는 폐색으로, 2예는 저등급 협착으로 평가하였다. 3.0T 3D TOF MRA에서 완전폐색은 9예, 고등급 협착은 5예였다. 폐색 9예는 모두 정확히 평가하였고 고등급 협착 5예 중 3예는 정확히 평가하였고, 1예는 폐색으로 1예는 저등급 협착으로 평가하였다.

50% 이상의 고등급 및 폐색 진단에서 1.5T CE MRA의 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도는 92.3%, 89.4%, 55.4%, 98.9%, 89.7%였고, 3.0T CE MRA에서는 100%, 85.1%, 41.9%, 100%, 86.6%였다(Table 5). 50% 이상의 고등급 및 폐색 진단에서 1.5T 3D TOF MRA의 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도는 92.3%, 91.6%, 61%, 99.2%, 92%였고 3.0T 3D TOF MRA는 92.9%, 91.7%, 56.5%, 99.1 %, 91.6%였다(Table 6).

무작위로 추출된 저등급 협착 혈관 50예 중에서 판독자 A와 B는 97혈관에서 CE MRA와 TOF MRA에서 저등급 협착으로 평가하였고 2혈관은 CE MRA에서 고등급 협착으로, 1혈

Table 3. Diagnostic index of CE MRA

	Sensitivity(%)	Specificity(%)	PPV(%)	NPV(%)	Accuracy(%)
High grade	63.6	88.9	24.6	96.9	87.7
Occlusion	100	97.8	76.9	100	97.8
High grade or occlusion	94.2	88.1	51	99.1	88.8

Note.— CE MRA = Contrast enhancement MRA
PPV = Positive predictive value
NPV = Negative predictive value

Table 4. Diagnostic Index of 3D TOF MRA

	Sensitivity(%)	Specificity(%)	PPV(%)	NPV(%)	Accuracy(%)
High grade	68.2	92	34.1	97	90.8
Occlusion	96.7	97.8	76.4	99.8	97.8
High grade or occlusion	94.2	91.6	59.8	99.1	91.9

Note.— 3D TOF MRA = 3 dimensional time of flight MRA
PPV = Positive predictive value
NPV = Negative predictive value

Table 5. Diagnostic Index at 1.5T vs. 3.0T CE MRA

	Sensitivity(%)	Specificity(%)	PPV(%) (1.5T/3.0T)	NPV(%)	Accuracy(%)
High grade	55.6/100	90.1/86.2	27.8/19	96/99.1	88.1/86.6
Occlusion	100/100	97.3/96.8	72.4/90	100/97.6	97.4/97
High grade or occlusion	92.3/100	89.4/85.1	55.4/41.9	98.9/100	89.7/86.6

Note.— CE MRA = Contrast enhancement MRA

Table 6. Diagnostic Index at 1.5T vs. 3.0T 3D TOF MRA

	Sensitivity(%)	Specificity(%)	PPV(%) (1.5T/3.0T)	NPV(%)	Accuracy(%)
High grade	70.6/60	92.2/92.3	37.5/27.3	97.1/96.8	91/91.1
Occlusion	100/100	97.9/97.6	77.8/75	100/100	98.1/97.8
High grade or occlusion	92.3/92.9	91.6/91.7	61/56.5	99.2/99.1	92/91.6

Note.— 3D TOF MRA = 3 dimensional time of flight MRA

관은 TOF MRA에서 고등급 협착으로 평가하였다. 고등급 협착 및 폐색 50예 중에서는 판독자 A와 B가 98혈관에서 CE MRA와 TOF MRA에서 고등급 협착으로 평가하였고 1혈관은 CE MRA에서 저등급 협착으로, 1혈관은 TOF MRA에서 저등급 협착으로 평가하였다.

고 찰

CE MRA는 조영제를 사용하여 영상을 얻기 때문에 혈류 연관 조영 효과를 이용하는 3D TOF MRA 보다 유동관련인공물에서 자유로우며 3D TOF MRA에 비해 영상을 얻는 시간이 짧아서 운동인공물의 영향을 덜 받는 것으로 알려져 있다(8). 이러한 이유로 지금까지는 CE MRA가 3D TOF MRA보다 뇌혈관 질환을 평가함에 더 정확한 영상기법으로 생각되어 왔다. 그러나 최근에는 3D TOF MRA가 CE MRA와 비교적 대등한 결과를 보여주는 연구가(9) 나오고 있으며 본 논문에서도 비슷한 경향을 보였다.

이번 연구에서 50% 이상의 고등급 뇌혈관 협착과 폐색의 진단에서 3D TOF MRA와 CE-MRA의 민감도는 94.2%, 음성예측도 99.1%로 동일한 결과를 보였고 특이도와 양성예측도는 3D TOF MRA에서 91.6%, 59.8%이며 CE-MRA는 88.1%, 51%를 제시하였다. 50% 이상의 고등급 뇌혈관 협착과 폐색의 진단에서 CE MRA와 3D TOF MRA의 민감도와 특이도는 Mcnemar test에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 이는 뇌혈관 평가에 CE-MRA가 3D TOF MRA 보다 더 정확하다는 기존의 연구와는 상반되는 결과이며 L.S Barbiaz 등(9)의 연구에서도 CE-MRA와 2D TOF MRA가 70% 이상의 뇌혈관 협착 진단에 비슷한 민감도와 특이도를 제시한 것과 비슷한 결과이다.

TOF MRA는 기본적으로 영상단면에 진입하는 혈류에 의존해 신호를 생성한다(5). 따라서 혈류의 흐름에 영향을 주는 요인은 MRI 인공물로 이어진다. TOF MRA의 가장 큰 한계로 지적되는 신호강도소실 인공물도 이와 연관되어 있다. 신호강도소실 인공물은 우선 혈관의 분지부에서 혈류가 갈라지면서 와류 형성 시 발생할 수 있다(7, 10, 11, 12). 와류 내에는 다양한 위상의 다양한 속도를 가진 신호강도들이 존재하는데 이들이 서로의 신호를 상쇄함으로써 신호소실을 일으킨다. 다음으로 혈류가 좁아진 혈관 분절을 지날 때 속도가 빨라지면서 혈류 내 신호강도의 탈위상으로 인한 신호소실이 있을 수 있다(7, 10). 또한, TOF MRA는 병적 상태로 혈류 속도가 느린 영상단면에서 혈류의 스핀포화가 일어나 신호 감소가 발생할 수 있다(7, 10, 11). 이로 인하여 실제로는 개통된 혈관임에도 불구하고 TOF MRA에서는 폐색으로 진단하는 예가 흔하다. 그러나 CE MRA는 혈류 연관 조영효과가 아닌 조영제 사용으로 혈관 내 신호가 주변 조직보다 높은 효과를 이용하므로 따라서 TOF MRA 보다 혈류속도에 의한 신호감소에 덜 민감하기 때문에 TOF MRA의 혈관협착 과평가 경향을 보완한다고 생각되었다(12).

그러나 최근의 다양한 TOF MRA sequence 개발은 TOF MRA 영상의 질을 높이고 인공물을 줄이는 데 기여해 왔다. Tilted optimized nonsaturating excitation (TONE), magnetization transfer suppression (MTS) 그리고 multiple overlapping thin slap acquisition (MOSTA)는 대표적인 TOF MRA sequence이다. TONE은 도입부에서는 낮은 flip angle을 적용하고 슬랩의 원위부에서는 높은 flip angle을 사용하여 원위부 혈관의 신호를 증강하는 기법이다. 이 기법은 정상적으로는 스핀이 포화하여 신호를 소실하는 원위부에서도 혈관과 뇌조직 간의 대조도를 유지할 수 있다(13, 14). MTS는 뇌조직의 신호강도를 억제하는 기법으로 뇌조직의 부동 스핀에 두 번째로 고주파를 가해주면 부동스핀은 포화한다. 포화한 뇌조직의 부동 스핀과 혈류내의 유동 스핀이 자기화를 교환함으로써 뇌조직의 신호는 감소하고 혈류내의 유동 스핀은 최소 포화 상태를 유지한다. 이는 혈관과 뇌조직의 대조도 향상으로 이어진다(13, 14). 마지막으로 MOSTA는 얇은 판 두께를 사용하여 혈류포화를 감소시키고 큰 숙임각을 이용하여 고해상도의 영상을 얻는 기법으로(5) 본 연구에서도 MOSTA기법을 이용하여 영상을 얻었다. 이와 같은 다양한 TOF MRA sequence 개발과 더불어 CE-MRA에 비하여 TOF MRA의 작은 복셀 사이즈도 TOF MRA의 해상도를 증가시켜 두개강 내 뇌혈관과 같은 작은 크기의 혈관 평가에서 TOF MRA가 CE-MRA보다 더 나은 결과를 보인 요인으로 생각된다.

본 연구에서 뇌혈관 협착 평가에 CE MRA는 TOF MRA에 비해 더 나은 diagnostic index를 제시하지 못하였다. 더욱이 신기능이 저하된 고령인구에서 가돌리늄(gadolinium) 조영제 투여 시 발생하는 nephrogenic systemic fibrosis 등의 부작용은 CE MRA에 대한 경각심을 높이고 있다(15). 그러나 CE MRA는 두개 내 혈관뿐 아니라 대동맥활 이상의 대혈관과 경동맥에 대한 영상제시가 가능하며(9, 16), 이는 뇌경색이 발생한 환자에서 스텐트 삽입이나 색전제거술 등의 중재적 치료 전 치료계획 수립에 필수적인 정보를 제공한다. 또한, 뇌경색 범위와 정도에 영향을 주는 윌리스환을 통한 연수막 측부순환에 대한 정보제시도 가능하다는 장점이 있다(Fig. 3).

민감도는 질병을 가진 대상자를 양성으로 구분하는 능력이며, 양성 예측도는 어떠한 검사 결과가 양성으로 판정된 환자 중에 실제로 질병을 가진 사람을 식별하는 능력이다. 뇌졸중과 같이 golden time 내에 적절한 치료가 이루어져 하는 질환에서 MRI가 추가적인 검사 없이 초기 진단 영상기법으로 인정받기 위해서 높은 민감도는 필수적이다. 본 연구에서 50%이상의 고등급 협착과 폐색 진단에 CE MRA와 3D TOF MRA 모두 80-90%의 민감도를 보였고 50%의 낮은 양성 예측도를 제시하였다. 이전의 MRI 연구에서 임상적으로 상당한 뇌혈관 협착이 있는 환자군에서 80-90%의 민감도를 제시한 결과(5, 9, 11, 17)와 비교하여 대등하거나 우월한 결과이다. 일반적으로 원천 영상에서 MIP 재구성 영상보다 혈관 내 신호강도를 인지하기 쉽고 혈관이 더 넓게 보이기 때문에 MIP 재구성 영상과 원천 영상을 함께 평가할 때 민감도와 특이도가 증가한다고 알려져 있다(18, 19). 본 연구에서는 MIP 재구성 영상만을

평가하였음에도 대등한 성적을 제시하였다. 그러나 이번 연구에서 양성 예측도는 민감도, 특이도와 다르게 비교적 낮은 예측도를 보였다. 이는 양성 예측도가 집단의 유병률에 영향을 받는다고 알려져 있는데, 본 연구에서는 50% 이상의 고등급 협착과 폐색 환자의 비율이 전체 대상 환에 10% 미만을 차지하였기 때문에, 대상 모집단에서의 낮은 유병률에 기인한 것으로 생각한다.

현재 임상에서 널리 상용되고 있는 3T MRI는 자기장 세기의 증가에 따른 신호잡음비율을 증가시켜 영상의 질을 높일 것으로 기대되었다(15). 그러나 본 연구에서는 3.0T CE MRA와 TOF MRA가 1.5T CE MRA와 TOF MRA와 비슷한 민감도와 특이도를 제시하였다. 일반적으로 3.0T MRI는 1.5T MRI보다 자화감수성인공물에 민감하다고 알려져 있으며(11), 서로 다른 자화감수성을 가진 물질의 경계면에서 자장에 불균형이 생겨 영상의 왜곡이 생기는 것으로(15), 자장의 불균형은 스핀의 위상분산과 주변 조직의 주파수 변동을 일으키고 이는 공간왜곡과 신호소실을 가져온다. 본 연구에서는 자화감수성인공물을 줄이기 위하여 3차원용적 영상을 사용하여 단점을 보완하였음에도 불구하고 자화감수성인공물에 가장 큰 영향을 받는 내경동맥의 petrocavernous 분절을 평가대상에 포함하였기 때문에 3.0T MRI가 1.5T MRI보다 더 나은 결과는 제시하지 못했을 가능성이 있다. 그럼에도 불구하고 전반적인 영상의 질은 특히, TOF MRA에서 3.0T MRI가 1.5T MRI보다 높은 경향을 보였다. 자기장 세기의 증가에 따라 자기공명영상의 질에 영향을 주는 공간해상도가 좋아지고 신호대잡음비가 높아졌기 때문으로 생각된다. 뇌혈관과 같이 매우 직경이 가늘고 작은 구조물에서는 얼마나 작은 부위까지 판별할 수 있는지를 나타내는 요소인 공간해상도가 더욱 중요할 것이다. 본 연구에서 뇌혈관 협착 정도를 저등급, 고등급, 폐색의 3등급보다 더 세분화하여 평가하였다면, 3.0T MRI가 1.5T MRI에 비해서 통계적으로 유의하게 높은 결과를 제시할 수도 있었을 것이다. 3.0T MRI의 진단적 유용성에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

본 연구의 제한점으로는 혈관 협착 분석을 주관적 시각적 평가를 토대로 하였고, 영상기법간의 비교가 후향적으로 이루어져 선택바이어스 개입 가능성이 있다. 그러나 두 판독자간의

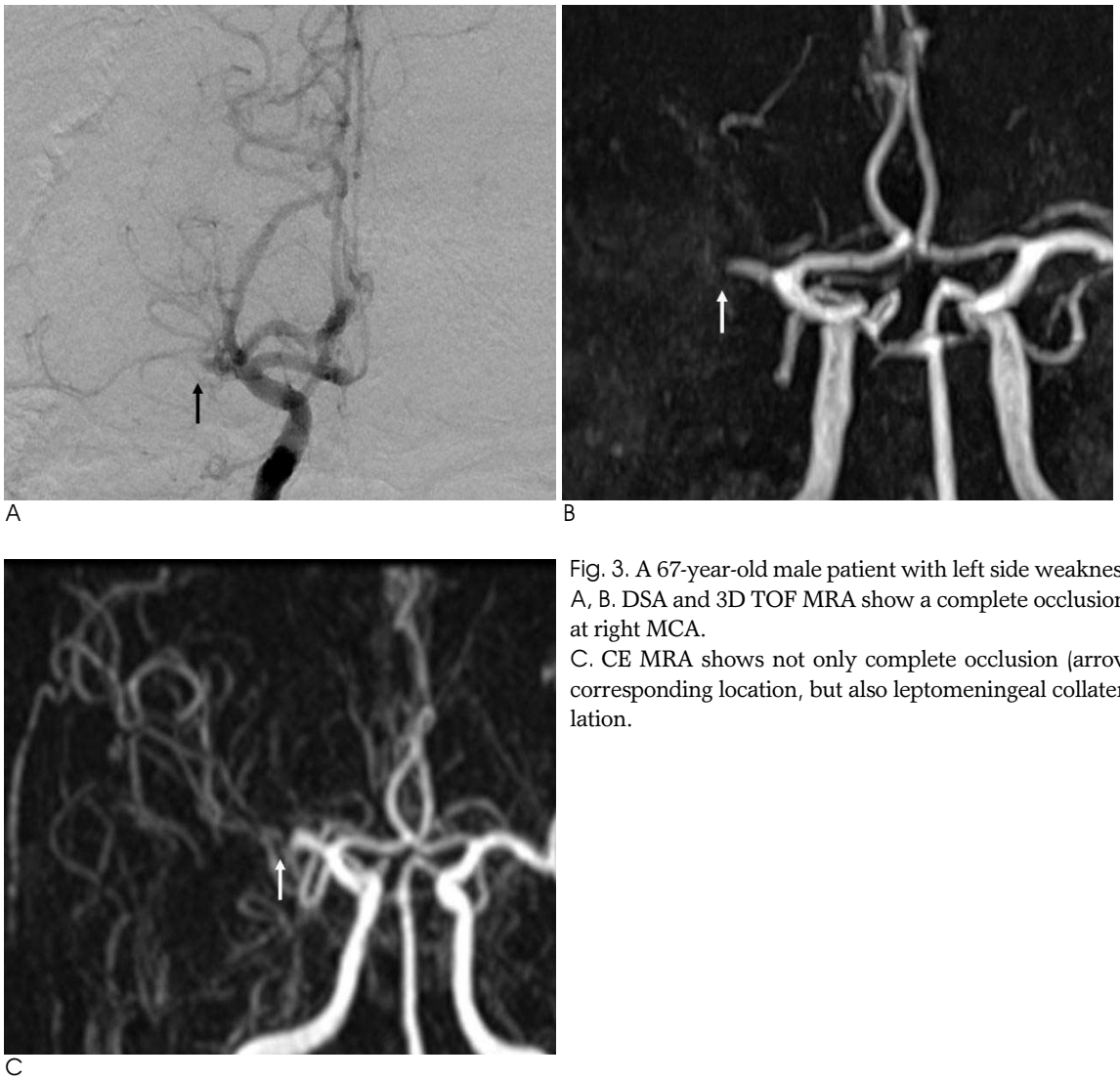


Fig. 3. A 67-year-old male patient with left side weakness.
A, B. DSA and 3D TOF MRA show a complete occlusion (arrow) at right MCA.
C. CE MRA shows not only complete occlusion (arrow) at the corresponding location, but also leptomeningeal collateral circulation.

일치율이 비교적 높은 수준이었기 때문에 시각적 평가를 기본으로 한 본 연구에는 큰 문제는 없을 것으로 생각한다. 마지막으로 MRA 시행 후 DSA 시행 전까지의 시간 간격이 환자마다 다르므로 DSA 시행 전에 환자의 뇌혈관 상태가 달라질 수 있다는 가능성이다. 그러나 시간의 경과에 따라 뇌혈관 상태가 달라질 수 있는 고등급 협착과 폐색 환자는 대부분 MRA 시행 후 몇 시간 내에 DSA를 시행하였고, 고등급 협착과 폐색 환자의 비율이 전체 MRA를 시행한 환자의 10% 가량으로 높지 않았기 때문에 큰 영향은 없었을 것으로 생각한다.

결론적으로 50% 이상의 뇌혈관 협착이나 폐색의 진단에서 TOF MRA는 CE MRA와 대등할 만한 진단적 성취를 제시하였다. 그러나 CE MRA는 두개 내 혈관뿐 아니라 대동맥활 이상의 대혈관과 연수막 측부순환 평가를 할 수 있으므 TOF MRA와 CE MRA를 상호보완적으로 이용한다면 뇌혈관 협착을 정확히 평가하는 데 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Sacco RL, Kargman DE, Gu Q, Zamanillo MC. Race-ethnicity and determinants of intracranial atherosclerotic cerebral infarction. The northen manhattan stroke study. *Stroke* 1995;26:14-20
2. Chimowitz MI, Kokkinos J, Strong J, Brown MB, Levine SR, Silliman S, et al. The warfarin-aspirin symptomatic intracranial disease study. *Neurology* 1995;45:1488-1493
3. Yoon W, Seo JJ, Cho KH, Kim MK, Kim BC, Park MS. Symptomatic middle cerebral artery stenosis treated with intracranial angioplasty: experience in 32 patients. *Radiology* 2005;237:620-626
4. Suh DC, Kim SJ, Lee DH, Kim W, Choi CG, Lee JH, et al. Outcome of endovascular treatment in symptomatic intracranial vascular stenosis. *Korean J Radiol* 2005;6:1-7
5. 장남규, 서정진, 정태웅, 정광우, 김재규, 강형근, 등. 뇌경색환자에서 Enhanced 3D-TOF 자기공명혈관조영술: 고식적 혈관조영술과의 비교. *대한방사선의학회지* 2000;42:575-583
6. Anzalone N, Scotti R, Iadanza A. MR angiography of the carotid arteries and intracranial circulation: advantage of a high relaxivity contrast agent. *Neuroradiology* 2006;48:9-17
7. Sadikin C, Teng MM, Chen TY, Luo CB, Chang FC, Lirng JF, et al. The current role of 1.5T non-contrast 3D time-of-flight magnetic resonance angiography to detect intracranial steno-occlusive disease. *J Formos Med Assoc* 2007;106:691-699
8. Choi HS, Kim DI, Kim DJ, Kim J, Kim ES, Lee SK. Accuracy of 3T MR angiography in vertebral artery stenosis and coincidence with other cerebrovascular stenoses. *Neuororadiology* 2010;52:893-898
9. Babiarz LS, Romero JM, Murphy EK, Brobeck B, Schaefer PW, González RG, et al. Contrast-enhanced MR angiography is not more accurate than unenhanced 2D time-of-flight MR angiography for determining > or = 70% internal carotid artery stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:761-768
10. Oelerich M, Lentschig MG, Zunker P, Reimer P, Rummeny EJ, Schuierer G. Intracranial vascular stenosis and occlusion: comparison of 3D time-of-flight and 3D phase-contrast MR angiography. *Neuroradiology* 1998;40:567-573
11. Choi CG, Lee DH, Lee JH, Pyun HW, Kang DW, Kwon SU, et al. Detection of intracranial atherosclerotic steno-occlusive disease with 3D time-of-flight magnetic resonance angiography with sensitivity encoding at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28:439-446
12. Bash S, Villablanca JP, Jahan R, Duckwiler G, Tillis M, Kidwell C, et al. Intracranial vascular stenosis and occlusive disease: evaluation with CT angiography, MR angiography, and digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005;26:1012-1021
13. Stock KW, Radue EW, Jacob AL, Bao XS, Steinbrich W. Intracranial arteries: prospective blinded comparative study of MR angiography and DSA in 50 patients. *Radiology* 1995;195:451-456
14. Atkinson D, Brant-Zawadzki M, Gillan G, Purdy D, Laub G. Improved MR angiography: magnetization transfer suppression with variable flip angle excitation and increased resolution. *Radiology* 1994;190:890-894
15. 대한자기공명의과학회. *자기공명영상학*. 서울: 일조각, 2008:194-210, 316-326
16. Villablanca JP, Nael K, Habibi R, Nael A, Laub G, Finn JP. 3T contrast-enhanced magnetic resonance angiography for evaluation of the intracranial arteries: comparison with time-of-flight magnetic resonance angiography and multislice computed tomography angiography. *Invest Radiology* 2006;41:799-805
17. Fürst G, Hofer M, Steinmetz H, Kambergs J, Paselk C, Liebsch D, et al. Intracranial stenoocclusive disease: MR angiography with magnetization transfer and variable flip angle. *AJNR Am J Neuroradiol* 1996;17:1749-1757
18. Korogi Y, Takahashi M, Nakagawa T, Mabuchi N, Watabe T, Shiokawa Y, et al. Intracranial vascular stenosis and occlusion: MR angiographic findings. *AJNR Am J Neuroradiol* 1997;18:135-143
19. Heiserman JE, Drayer BP, Keller PJ, Fram EK. Intracranial vascular stenosis and occlusion: evaluation with three-dimensional time-of-flight MR angiography. *Radiology* 1992;185:667-673

J Korean Soc Radiol 2011 ; 64 : 203-211

Comparison of 3D TOF MRA with Contrast Enhanced MRA in Intracranial Atherosclerotic Occlusive Disease[1]

Jinha Choi, M.D., Soo Mee Lim, M.D., Yookyung Kim, M.D.

[1]*Department of Radiology and Medical Research Institute, School of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea*

Purpose: We compared diagnostic performance of 3D Time of flight MRA with contrast-enhanced MRA to detect and quantify intracranial atherosclerotic occlusive disease.

Materials and Methods: From April 2007 to December 2009, we enrolled 95 patients with clinically suspected intracranial atherosclerotic steno-occlusive disease who had undergone 3D TOF-MRA and CE MRA at 1.5T or 3T with DSA. Two radiologists analyzed the post-processed images using a maximum intensity projection. Intracranial vessels were categorized as distal internal carotid artery, middle cerebral artery or vertebrobasillar artery. We graded the degree of stenosis and assigned subjects to one of three groups: low grade occlusion (<50%), high grade occlusion (50–99%) and complete occlusion. Using the McNemar test, we compared the results of CE MRA with those of 3D TOF for detecting >50% stenosis using DSA as a reference standard.

Results: CE MRA had 94.2% sensitivity, 88.1% specificity, 51% positive predictive value, 99.1% negative predictive value and 88.8% diagnostic accuracy for detecting >50% stenosis; In contrast, 3D TOF-MRA showed 94.2% sensitivity, 91.6.1% specificity, 59.8% positive predictive value, 99.1% negative predictive value and 91.9% diagnostic accuracy. Sensitivity and specificity of CE MRA were not significantly different than sensitivity and specificity of 3D TOF MRA (p >0.05).

Conclusion: 3D TOF-MRA provides comparable diagnostic performance with CE-MRA for diagnosis intracranial atherosclerotic disease.

Index words : Intracranial Arteriosclerosis
Cerebral Angiography
Magnetic Resonance Angiography

Address reprint requests to : Soo Mee Lim, M.D., Department of Radiology and Medical Research Institute, School of Medicine, Ewha Womans University, 911-1 Mok-dong, Yangcheon-gu, Seoul 158-710, Korea.
Tel. 82-2-2650-5173 Fax. 82-2-2650-5302 E-mail: soomee@ewha.ac.kr