

# 뇌경색 환자의 3Tesla CE-TOF-MRA에서 MT 펄스의 유용성

## — Evaluate the Possibility of MT Pulse at 3T CE-TOF-MRA in Patients with Cerebral Infarction —

계명대학교 동산병원 영상의학과

배 성 진

## — 국문초록 —

뇌경색환자들에 있어서 CE-TOF-MRA에서 MT 펄스사용의 유용성을 알아보고자 하였다.

2007년 5월에서 6월까지 뇌경색 증상 발현 후 최소 4시간에서 최대 5일 이내에 환자 10명을 대상으로 3Tesla 자기공명영상기기를 사용하여 조영제 주입 후 offset frequency 0, 600, 1,200, 1,800 Hz의 MT 펄스를 사용한 CE-TOF-MRA를 획득하였다.

TOF-SPGR기법인 CE-TOF-MRA영상에서 정상혈관의 경우 SNR이 감소되었지만 CNR은 증가를 보였다. 좁아진 혈관부위는 MT 펄스 600 Hz, 1,200 Hz에서 최고의 CNR을 보였고, 협착된 혈관에서는 MT 펄스 강도와 비례하여 CNR이 증가 하였다. 혈관이 폐색된 경우에는 폐색범위가 명확하게 나타났고 MT 펄스 1,800 Hz에서 최고의 CNR로 평가되었다. 좁아지거나 보이지 않는 혈관에서는 형태변화가 없었고, 혈관이 폐색되어 평가가 불가능한 혈관에서 MT 펄스 후 혈관과 배후조직 SNR은 다소 감소하였지만 두 조직간 CNR은 증가되었다.

중심 단어 : MT 펄스, 자기공명 혈관조영술, CE-TOF-MRA

## I. 서 론

노령인구의 증가로 뇌경색 환자의 발생빈도가 높아지고 있으며, 기존의 자기공명영상(magnetic resonance image)은 신경계 영역의 병변을 검사하는데 유용하게 이용하고 있지만 초기 뇌경색 진단에 한계가 있었다. 하지만 최근 자기공명영상기법의 발달과 함께 등장한 확산강조영상(diffusion weighted image)은 초기 허혈성 뇌경색 발견에 상당히 민감하다는 것이 입증되었다<sup>1-4)</sup>. 그러나 초급성기 뇌경색의 경우에 혈관의 협착 정도나 폐색

변형의 유무와 같은 형태적인 것을 매우 신속히 확인하는 것이 중요하고, 이것을 알 수 있는 기법을 혈관조영술(angiography)이라 한다<sup>5-7)</sup>. 혈관조영방법에는 X-선과 조영제를 사용하는 고식적인 혈관조영술(digital subtraction angiography, DSA), 컴퓨터단층 혈관조영술(computed tomography, CTA)과 자기공명 혈관조영술(magnetic resonance angiography, MRA)이 있다<sup>8-10)</sup>. 혈관의 특성과 구조를 나타낼 수 있어 뇌경색의 진단에 널리 사용하고 있는 MRA기법 중에는 대뇌동맥에 이용되는 유체속도 강조기법(time-of-flight, TOF)과 경동맥에서 주로 이용하는 조영증강 자기공명 혈관조영술(contrast enhanced magnetic resonance angiography, CE-MRA)기법이 있다<sup>11-15)</sup>. TOF-MRA기법은 초급성 뇌경색의 경우에 어느 혈관이 협착 혹은 폐색이 왔는지 신속하게 알 수 있어 매우 유용한 검사로 알려져 있다. 그러나 혈관의 구조상 부

\* 이 논문은 2007년 7월 23일 접수되어 2007년 8월 29일 채택 됨.  
 책임저자: 배성진, (700-712) 대구광역시 중구 달성로 216  
 계명대학교 동산병원 영상의학과  
 TEL: 053-250-7860, FAX: 053-250-7766  
 E-mail: sjbaert@hanmail.net

본적으로 협착이 되었을 경우, 협착된 부위가 과장되어 보이는 경우가 많이 있다. TOF-MRA 기법은 공간 분해능 (spatial resolution)이 좋지 않아 작은 혈관에서 병변을 찾기 힘들고, 혈류속도에 따라서 혈관의 신호대 잡음비 (signal to noise ratio, SNR)가 변화되며 병적 상태에서 느린 혈류속도를 보이는 혈관에서는 영향이 많다<sup>15)</sup>. 조영제를 이용한 Turbo-FLASH sequence를 이용한 경동맥 혈관조영술에서는 혈관이 왜곡되어 보이는 것을 감소시켜 비교적 세밀한 혈관 영상을 얻을 수 있다<sup>11)</sup>. 이를 이용한 조영증강 유체속도 강조 자기공명 혈관조영술 (contrast enhanced time-of-flight magnetic resonance angiography, CE-TOF-MRA) 영상 기법은 대뇌동맥 혈관과 배후조직의 대조도 잡음비 (contrast to noise ratio, CNR)를 향상시키고 혈관의 협착부위를 왜곡시키는 단점을 극복할 수 있는 방법으로 세밀한 혈관 영상을 얻을 수 있다<sup>16)</sup>.

MRA 영상의 CNR을 높일 수 있는 또 다른 방법은 MT 펄스 (magnetization transfer pulse, MT)를 사용하는 방법인데, 이것은 혈관외 배후조직의 신호를 억제하여 혈관을 관찰하는데 효과적이긴 하지만 자장세기에 비례하여 발생하는 특수흡수율 (specific absorption rate, SAR) 문제 때문에 3.0 T TOF-MRA에서 MT 펄스를 이용하는 것이 제한되었다가 최근에 응용되고 있다<sup>17)</sup>. 본 연구에서는 뇌 경색환자를 대상으로 3.0 T CE-TOF-MRA에서 MT 펄스가 혈관조영영상에 유용성이 있는지를 알아보려고 하였다.

## II. 대상 및 방법

2007년 5월에서 6월까지 뇌경색 증상 발현 후 최소 4시간에서 최대 5일 이내에 뇌혈관 질환이 의심되는 환자들 중에서 TOF-MRA와 CE-TOF-MRA를 모두 시행한 환자 10명 중 남자 4명 여자 6이었으며 연령분포는 37세에서 85세이며 평균연령 61세를 대상으로 하였다.

MRA는 3.0 Tesla 자기공명영상기기 (Signa VHi, GE Medical system, MW, U.S.A.)에서 뇌전용 8채널 표면 코일 (8 channel high resolution brain array)을 사용하였다. TOF-MRA와 CE-TOF-MRA에서 동일한 영상 획득 기법인 TOF-SPGR pulse (TR/TE = 28 ms/2.3 ms, flip angle = 20°, matrix = 320×160, FOV = 250×250, slice/slab = 1.4/22 mm)로 중대뇌 동맥이 잘 관찰되는 위치에서 1분 21초에 걸쳐 영상을 획득하였다. CE-TOF-MRA에서의 조영제 주입속도의 편차를 없애기 위해서 flow rate 3.5 ml/sec로 조영제 Gadovist 1.0 (schering

AG, Germany) 10 cc와 생리식염수 5 cc를 희석한 15 cc를 전주정맥에 20게이지의 정맥관으로 주입한 후 생리식염수 15 cc를 추가적으로 주입하였다. MT 펄스 0, 600, 1,200, 1,800 Hz로 얻은 CE-TOF-MRA의 원천영상인 TOF-SPGR image를 workstation에서 최대강도투사 (maximum intensity projection, MIP) 기법으로 후처리 (post procession) 하였다. 이때 절편의 축 방향으로 19.5°씩 360° 회전시킨 재 투사영상 (reprojection image) 19개를 얻어 원천 영상과 함께 분석 하였다. 분석 방법으로는 TOF-MRA와 CE-TOF-MRA 비교영상에서 협착 전 동맥의 직경과 비교하여 정상부위보다 직경이 50% 정도까지 좁아져 있으면 좁아짐 (narrowing), 50% 이상 좁아져 있으면 협착 (stenosis), 그리고 혈관 막힘이 확실할 때를 폐색 (occlusion), 근위부의 협착이나 폐색으로 인하여 보이지 않아 평가가 불가능할 때를 보이지 않음 (no visualization)으로 분류하였다. CE-TOF-MRA에서는 MT 펄스 전후에 혈관상태 변화가 명확한 신호를 보이며 CNR이 최고일 때 'excellent', 상위등급 (excellent)보다 약간 떨어지지만 판독에 도움을 주며 CNR 향상이 있을 때 'good', 영상의 명확도나 경미한 CNR 변화가 있을 경우 'moderate', 영상신호 강도가 떨어지는 경우나 CNR 변화가 없을 경우 'poor'의 4단계로 나누었다. TOF-MRA에서 협착이나 폐색이 없는 경우를 정상군으로 하였다.

## III. 결 과

TOF-MRA와 CE-TOF-MRA에서 MT 펄스 전후 영상을 같은 위치에 관심영역을 설정하고 SNR를 측정하여 비교하였다. 혈관이 정상인 배후조직의 SNR은 강한 MT 펄스일수록 감소되었고 관심영역의 혈관에서는 배후조직의 SNR의 변화와 같았다 (Table 1, Fig. 1~3).

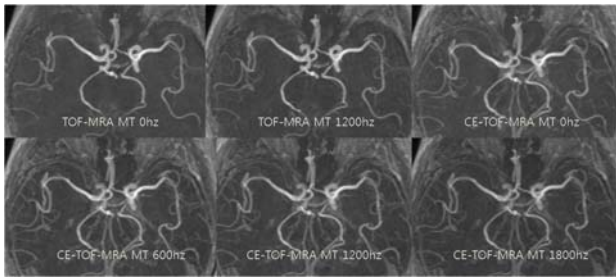
MT 펄스 전후 원천영상인 TOF-SPGR과 영상 후 처리한 MIP영상에서 배후조직과 혈관조직의 SNR을 측정한 결과 두 방법에서 동일한 SNR 변화를 보였다 (Fig. 3). 그러나 정상군의 MT 펄스 전후 TOF-MRA와 CE-TOF-MRA의 비교에서 배후조직과 혈관의 SNR이 다소간의 차이를 보였다 (Fig. 1~3). TOF-MRA와 CE-TOF-MRA에서 MT 펄스가 주어진 전후 혈관상태를 분석해보면 좁아지거나 보이지 않는 혈관에서는 변화가 없었고, 협착혈관은 정상으로 나타났으며 폐색된 혈관은 협착된 것으로 관찰 되었다 (Table 2).

좁아짐이 관찰되는 혈관에서는 MT 펄스 강도 증가에

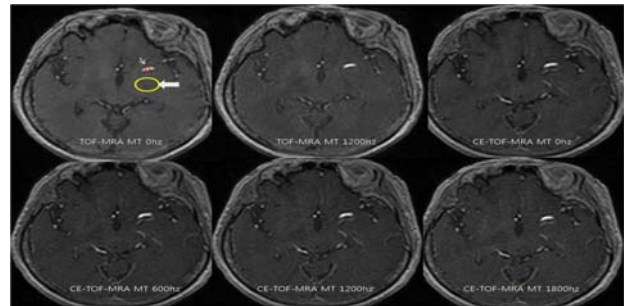
**Table 1.** Image evaluation of TOF-MRA and CE-TOF-MRA

TOF-MRA		CE-TOF-MRA							
		MT 0 Hz		MT 600 Hz		MT 1,200 Hz		MT 1,800 Hz	
Narrowing	(1.2)	moderate	(1.5)	moderate	(1.6)	moderate	(1.6)	moderate	(1.4)
Stenosis	(2.8)	good	(3.3)	excellent	(4.2)	excellent	(4.0)	excellent	(4.3)
Occlusion	(2.5)	poor	(2.6)	good	(2.7)	good	(3.1)	excellent	(3.3)
No visualization	(2.4)	moderate	(2.6)	moderate	(2.4)	moderate	(2.5)	moderate	(2.5)
Normal	(2.4)	good	(2.5)	good	(3.0)	good	(2.9)	poor	(2.3)

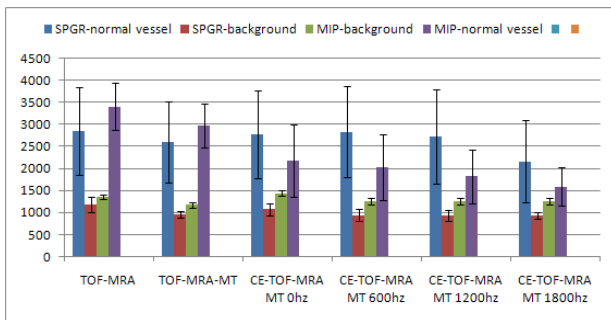
( )vessel / background = CNR



**Fig. 1.** MIP images of TOF-MRA and CE-TOF-MRA at varying offset frequencies in normal vessel



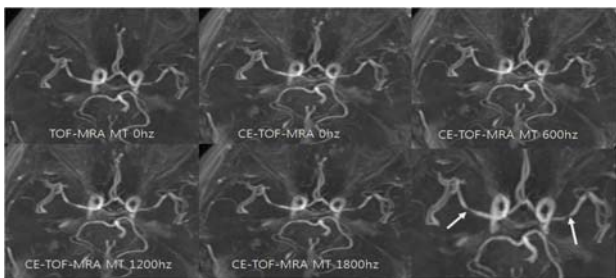
**Fig. 2.** The region of interest at CE-TOF-MRA



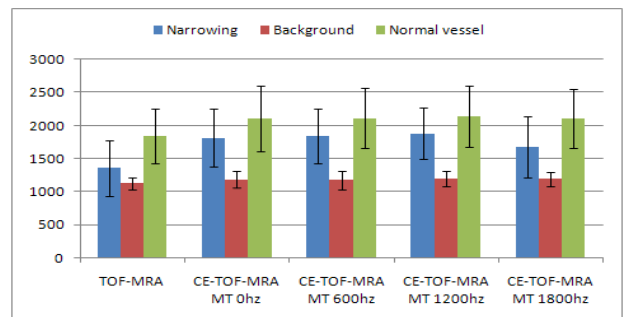
**Fig. 3.** Signal intensity of original images and MIP images of TOF-MRA and CE-TOF-MRA at varying offset frequencies

**Table 2.** The distribution of vascular lesions from TOF-MRA and CE-TOF-MRA

TOF-MRA	CE-TOF-MRA	
	without MT	MT pulse
Narrowing	narrowing	narrowing
Stenosis	normal	normal
Occlusion	stenosis	stenosis
No visualization	no visualization	no visualization



**Fig. 4.** TOF-MRA and CE-TOF-MRA MIP images at varying offset frequencies in narrowing vessel(arrow)



**Fig. 5.** Comparison of signal intensity in background, normal vessel and narrowing vessel

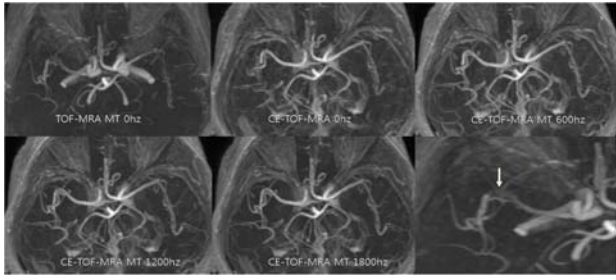


Fig. 6. TOF-MRA and CE-TOF-MRA MIP images at varying offset frequencies in stenosis vessel(arrow)

따른 CE-TOF-MRA 경우에 신호정도의 변화는 거의 없었고, 배후조직의 SNR은 경미한 변화를 보였지만 좁아진 혈관부위의 SNR은 TOF-MRA보다는 증가된 후 감소하는 양상을 보였으며(Fig. 4, 5) MT 펄스 600 Hz와 1,200 Hz에서 최고의 CNR을 보이긴 하였지만 영상 평가는 moderate로 평가 되었다(Table 1).

TOF-MRA에서 협착된 혈관부위가 CE-TOF-MRA에서는 정상으로 평가되었고, TOF-MRA보다 CE-TOF-MRA의 MT 펄스 강도에 비례하여 SNR은 배후조직에서 감소하지만 병소부위에 비례하여 증가하였고(Fig. 6, 7), CE-

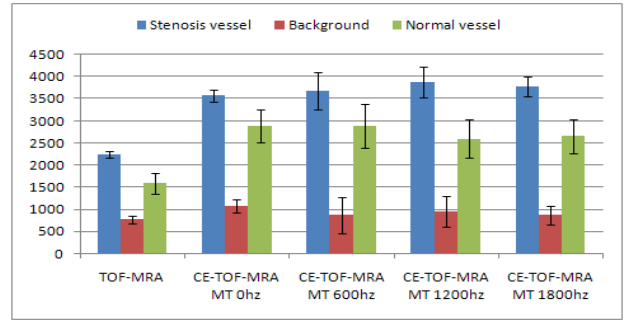


Fig. 7. Comparison of signal intensity in background, normal vessel and stenosis vessel

TOF-MRA에서 영상평가는 good과 excellent였다(Table 1).

폐색군의 경우에는 TOF-MRA에서는 혈관이 보이지 않았지만 CE-TOF-MRA에서는 폐색범위가 명확하게 나타났고 MT 펄스 강도가 증가할수록 혈관의 SNR과 배후조직 SNR은 감소하였으며(Fig. 8, 9) 영상평가는 MT 펄스 1,800 Hz에서 excellent로 평가되었다(Table 1).

평가가 불가능한 혈관은 CE-TOF-MRA에서 MT 펄스가 주어지기 전보다는 혈관과 배후조직 SNR은 다소 감소하였지만 혈관과 배후조직간의 CNR은 향상되었다(Fig. 10, 11).

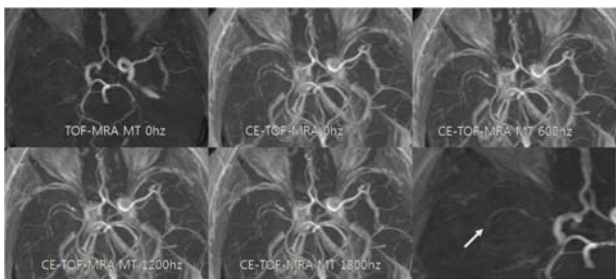


Fig. 8. TOF-MRA and CE-TOF-MRA MIP images at varying offset frequencies in occlusion vessel(arrow)

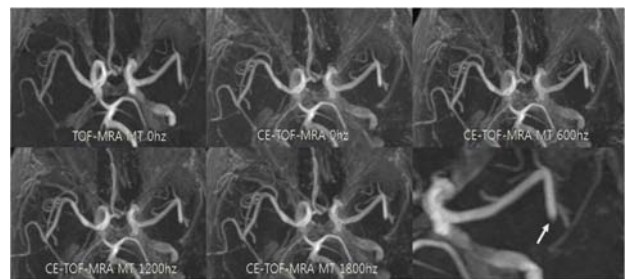


Fig. 10. TOF-MRA and CE-TOF-MRA MIP images at varying offset frequencies in no visualization vessel(arrow)

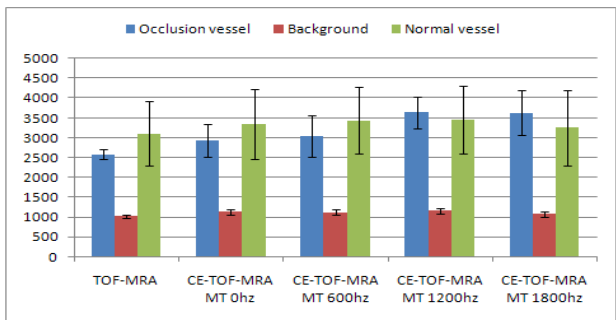


Fig. 9. Comparison of signal intensity in background, normal vessel and occlusion vessel

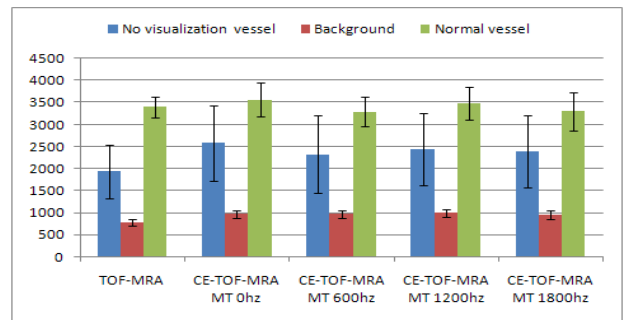


Fig. 11. Comparison of signal intensity in background, normal vessel and no visualization vessel

CE-TOF-MRA에서는 TOF-MRA보다 혈관과 배후조직의 SNR과 CNR이 동일하게 증가되었다(Fig. 11).

#### IV. 고 찰

뇌경색 진단에서는 뇌혈관질환의 특성과 구조를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다<sup>5-7)</sup>. 특히 뇌경색환자의 대부분이 고령으로 혈관의 굴곡이 심하고 동맥경화의 요인이 되는 뇌색전증을 유발할 수 있기 때문에 MRA가 임상에서 널리 이용되고 있다<sup>8-10)</sup>. 특히 TOF-MRA는 초기 뇌경색의 경우 협착이나 폐색정도를 신속하게 알 수 있어 매우 유용한 검사로 알려져 있으나, 부분적인 협착일 때 그 정도가 과장되어 보이는 경우가 많고 협착된 이후의 혈관을 파악하기 힘들다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이를 보완한 방법으로 경동맥에 조영제를 주입함으로 혈관 왜곡이 과장되어 보이는 것을 감소시켜 비교적 세밀한 영상을 얻을 수 있었다<sup>11)</sup>.

TOF-MRA기법은 공간 분해능이 좋지 않아 작은 혈관에서 병변을 찾기 힘들었고, 혈관과 배후조직사이의 대조도는 혈류속도가 느린 혈관에 의해 영향을 받았다<sup>15)</sup>. 대뇌동맥 혈관에서 SNR를 향상시키고 혈관의 협착부위를 왜곡시키는 단점을 극복할 수 있는 방법이 없었지만 최근에 손철호 등<sup>16)</sup>에 의해서 조영 후 TOF-MRA영상으로 더욱 명확한 혈관 상태를 알 수 있었다. MRA영상의 질을 높일 수 있는 또 다른 방법은 MT 펄스를 사용하는 것으로 이것은 배후조직을 억제하여 혈관을 관찰하는데 매우 효과적이었다. 하지만 높은 자장 강도에서는 MT 펄스가 자장세기에 비례하여 SAR이 발생하는 문제가 있어 3Tesla TOF-MRA에서 MT 펄스를 이용하는 것이 지금까지 제한되었다<sup>17)</sup>. 그러나 임상에서는 고자장 자기공명영상기기가 자장 세기에 비례하여 SNR이 향상된다는 장점 때문에 응용되고 있다.

MT 펄스 CE-TOF-MRA에서도 조영 후 TOF-MRA와 같이 협착과 폐색으로 보였던 혈관이 정상과 협착으로 나타났지만 MT 펄스를 사용하므로 배후조직의 SNR이 감소가 되는 반면 혈관이 조영제 영향 때문에 SNR이 증가하므로 조영 후 TOF-MRA보다 혈관과 배후조직간의 CNR 증가를 가져왔다.

조영 전 TOF-MRA에서 MT 펄스를 사용하여 Steven<sup>17)</sup>이 발표한 것과 같이 배후조직의 SNR이 감소되는 결과를 보였지만 일부 MT 펄스 CE-TOF-MRA에서는 조영제 영향으로 다소 SNR이 증가 또는 감소하여 차이가 나는 결

과를 보였다. 그러나 기존의 TOF-MRA와 CE-TOF-MRA보다 MT 펄스를 사용하므로 혈관과 배후조직에서 CNR이 증가되는 것을 알 수 있었다. 이것은 조영제에 의해서 혈관의 T1이완시간이 짧아지고 그 영향으로 SNR이 증가하는 결과를 가져왔기 때문이었다.

폐색이나 협착이 보이는 혈관의 경우 MT 펄스 CE-TOF-MRA에서는 혈류 흐름이 감소됨으로 인해 조영 전보다 조영 후에서 SNR이 증가된 상태로 나타났고, 정상 조직과 정맥에서는 허상(artifact)으로 나타났지만 병변 평가에는 높은 민감도를 보였다.

#### V. 결 론

TOF-MRA는 초기 뇌경색의 경우 협착이나 폐색이 있는지 신속하게 알 수 있어 매우 유용한 검사로 알려져 있으나 변형된 부위의 혈관을 파악하기 힘들다는 단점을 가지고 있었다. 하지만 CE-TOF-MRA기법에서는 MT 펄스를 사용하므로 배후조직의 SNR이 감소가 되는 반면 혈관이 조영제 영향 때문에 SNR이 증가하므로 혈관과 배후조직간의 CNR 증가를 가져와 뇌경색 환자의 혈관상태를 명확히 관찰 할 수 있어 임상에서 많이 활용될 것으로 기대되어 진다.

#### 참 고 문 헌

1. Warach S, Gaa J, Siewert B, Wielopolski P, Edelman RR: Acute human stroke studied by whole brain echo planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Ann Neurol*, 37, 231-241, 1995
2. Marks MP, de Crespingy A, Lentz D, Enzmann DR, Albers GW, Mosley ME: Acute and chronic stroke; navigated spin-echo diffusion weighted MR Imaging. *Radiology*, 19, 403-408, 1996
3. 제환준, 장기현, 송인찬 등: 급성 뇌경색 환자에서 관류 MR 영상; T2강조영상과 확산강조영상과의 비교. *대한방사선의학회지*, 43, 1-8, 2000
4. 송소연, 조우호, 김성희 등: 여러 시기의 뇌경색에서 확산강조영상의 임상적 유용성. *대한방사선의학회지*, 46, 107-113, 2002
5. GA Laub: time of Flight Method of MR Angiography. *MRI clinics of North America*, 3(3), 375-390, 1995
6. DL Parker, C Yuan, DD Blatter: MR Angiography

- by Multiple thin Slab 3D acquisition. MRM, 17, 434, 1991
7. 이 윤: 자기공명 혈관조영기법의 원리. 대한자기공명 의과학회지, 3, 20-27, 1999
  8. Hirai T, Korogi Y, Ono K, *et al.*: Prospective evaluation of suspected stenococluive disease of the intracranial artery: combined MR angiography and CT angiography compared with digital subtraction angiography. AJNR Am J Neuroradiol, 23, 93-101, 2002
  9. Chung TS, Joo JY, Lee SK, *et al.*: Evaluation of cerebral aneurysms with high resolution MR angiography using a section interpolation technique ; correlation with digital subtraction angiography. AJNR Am J Neuroradiol, 20, 229-235, 1999
  10. Leung DA, Makinnon GC, Davis CP, Pfammater T, Krestin GP, Debatin JF: Contrast-Enhanced, three-dimensional MR angiography. Radiology, 200, 569-571, 1996
  11. 박범진, 김명규, 서상일 등: 경동맥 3차원 조영증강 자기공명 혈관조영술에서 시험 조영제 주입법의 유용성. 대한방사선의학회지, 44, 317-323, 2001
  12. 한제희, 서정진, 정태웅 등: 뇌졸중 환자에서 3 Tesla 자기공명 혈관조영술의 유용성. 대한자기공명 의과학회지, 9, 94-100, 2005
  13. 김아영, 최혜영, 정은철, 광현주, 윤희자, 이선화: 뇌경색환자에서의 자기공명영상 및 자기공명 혈관조영술 소견과의 비교. 대한방사선의학회지 34, 345-350, 1996
  14. 문웅재, 김준호, 서정진 등: 뇌경색환자의 예후평가에서의 자기공명 혈관조영술의 유용성. 대한방사선의학회지, 31, 607-613, 1994
  15. 장남규, 서정진, 정태웅 등: 뇌경색환자에서 Enhanced 3D-TOF 자기공명 혈관조영술; 고식적 혈관조영술과의 비교. 대한방사선의학회지, 42, 575-58, 2000
  16. Chul Ho Sohn, sung Il Sohn, Hyuk Won Chang, Andrew M. demchuk: Postcontrast Time-of-Flight MR Angiography Demonstrating Collateral Flow in Acute. Stroke, 38, 1132-1133, 2007
  17. Steven D. Thomas, Osama AI-Kwif, Derek J, Emery, Alan H. Wilman. Applcation of Magnetization transfer at 3.0 T in Three-Dimensions Time-of-flight Magnetic Resonance Angiography of the Intracranial Arteries. J Magn Reson Imaging, 15, 479-483, 2002

#### • Abstract

## Evaluate the Possibility of MT Pulse at 3T CE-TOF-MRA in Patients with Cerebral Infarction

Sung-Jin Bae

*Dept. of Radiology, Dongsan hospital, Keimyung University*

The purpose of this study was to evaluate the possibility of utilizing MT pulse at CE-TOF-MRA in patients with cerebral infarction.

MRA using time-of-flight(TOF) technique with varying offset frequencies (0, 600, 1,200, and 1,800 Hz) magnetization transfer were performed in 10 patients with cerebral infarction at 3.0 T MR scanner.

CE-TOF-MRA and TOF-SPGR in normal vessel shown decreased SNR and increased CNR. The highest CNR in narrowing vessel shown at CE-TOF-MRA using 600 and 1,200 Hz offset frequencies. CNR in stenosis vessel increased dependent on using offset frequencies. The occlusion was clearly shown, and the highest CNR in occlusion shown at CE-TOF-MRA using 1,800 Hz offset frequencies. There was no shape variation in narrowing vessel or no visualizing vessel.

Key Words : Magnetization transfer, Magnetic resonance angiography, CE-TOF-MRA