

## Time of Flight 원리를 이용한 삼차원 자기공명 혈관조영술의 구현

<sup>0,1</sup>이윤, <sup>1</sup>류택현, <sup>1</sup>김시승, <sup>1</sup>안성혁, <sup>1</sup>이만우, <sup>2</sup>정관진  
<sup>1</sup>고려대학교 전자 및 정보공학부, <sup>2</sup>(주)메디슨 MRI 연구소

## Magnetic Resonance Angiography using 3D Time-Of-Flight Method

<sup>0,1</sup>Y. Yi, <sup>1</sup>T. H. Ryu, <sup>1</sup>S. S. Kim, <sup>1</sup>S. H. Ahn, <sup>1</sup>M. W. Lee, <sup>1</sup>K. J. Jung  
<sup>1</sup>Department of Electronics and Information Engineering, Korea University, <sup>2</sup>Medison Co. Ltd.

### ABSTRACT

3D TOF MR Angiography is able to obtain thinner slice thickness, higher SNR, therefore higher spatial resolution than 2D TOF MR Angiography. Since it uses longer TR than 2D TOF MRA to allow stronger in-flow effect, the background tissue may not be fully saturated. Thus background tissue signal can be further suppressed by MTS(Magnetization Transfer Saturation). Flow-compensation was accomplished by GMN(Gradient Moment Nulling), and tracking saturation was used to suppress vein signal. The different flow signal at the entry of the slab and output of the slab can be compensated by TONE(Tilted Optimized Non-saturating Excitation) RF pulse.

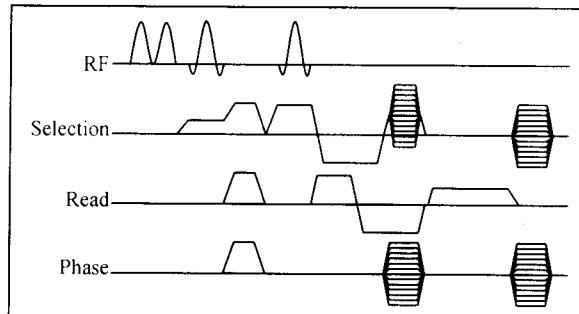
### 서 론

In-flow effect를 이용한 TOF(Time Of Flight)기법은 phase 차이를 이용한 PC(Phase Contrast)기법에 비해 짧은 scan time과 혈류의 pattern에 의한 영향을 덜 받는 등의 장점을 가지고 있다. 3D TOF 기법은 2D의 기법에 비해 긴 scan time을 갖지만, 넓은 영역으로부터 신호를 얻기 때문에 높은 SNR과 spatial resolution을 증진시킬 수 있다. 하지만 3D TOF 자기공명 혈관조영술은 비교적 두꺼운 slab에 RF pulse가 가해지기 때문에 in-flow 효과에 의하여 유입된 혈류가 slab 바깥으로 빠져나가기 까지 여러 번의 RF pulse를 받게 된다. 이 때문에 혈류가 saturate되어 신호를 잃어 버리는 경향이 있다. 따라서 느린 혈류의 경우 신호가 더욱 약해지는 경향이 있다. 본 연구에서는 1.0T MR 장치에서 3D TOF 기법을 이용한 혈관조영술을 개발하였다. 정맥으로부터의 신호를 억제하기 위해 pre-saturation을, encoding의 증가에 따라 혈류신호가 감소하는 것을 보상하기 위해 TONE(Tilted Optimized Non-saturation Excitation) RF pulse를, saturation effect를 줄이기 위해

MOTSA(Multiple Overlapping Thin Slab Acquisition)를, 혈관의 대조도를 높이기 위해서 MTS(Magentization Transfer saturation)를, flow motion artifact를 줄이기 위해 flow compensation을 사용하였다.

### 방 법

Pulse sequence는 3D FLASH를 변형하여 사용하였다. Sequence diagram은 아래의 [그림 1]과 같다.



[그림 1] Pulse sequence diagram

정맥으로부터의 신호를 억제하기 위해 imaging slab의 윗부분에(head first의 경우) pre-saturation band를 형성하였다. Pre-saturation band는 slab의 위치가 바뀌면, slab의 바뀐 위치에 적합한 band가 형성되도록 tracking으로 설계되었다. 연속된 RF pulse로 인하여 발생되는 saturation effect에 의한 혈류의 신호가 줄어드는 것을 방지하기 위해 넓은 slab보다는 여러 개의 얇은 slab을 겹쳐서 영상을 얻어내는 MOTSA를 적용하였으며, selection encoding의 횟수가 늘어남에 따라 신호의 크기가 줄어드는 것을 보상하기 위해 각 slab의 RF pulse를 TONE RF pulse로 하였다. 또한 혈류의 주변조직에 대한 대조도를 높이기 위해 MTS 기법을 사용하였다. Flow compensation은 selection과 frequency encoding 방향에 적용하였다. 사용된 parameter는 TR/TE는 48/11msec, flip angle은 15~45°(TONE RF), slab의 두께는 48mm, slice thickness는 1.5mm, 하나의 slab에서 얻는 slice의 개수는 22장으로 완성된 하나의 projection image

set에는 2~3 slab의 영상을 사용하였다. Projection은 MIP(maximum Intensity Projection) 기법을 사용하였다.

### 결과 및 토의

앞의 방법을 이용하여 intracranial artery의 영상을 얻었다. 그러나 혈류의 신호가 비교적 큰 부분과 그렇지 않은 부분으로부터의 영상에서 혈관 영상의 차이가 있었으며, 이는 영상재구성 기법상의 normalization의 차이에 기인한 것이다. 자원자에 따라 projection 영상에서 지방의 신호로 인해 coronal이나 sagittal 방향의 projection 영상에서 혈관의 구분이 용이치 않은 점이 있었다. 이는 타원형의 ROI(Region Of Interest)를 사용하는 targeted MIP를 사용하여 fat을 배제할 수 있었다. MOSTA 기법과 TONE RF pulse의 적용으로 넓은 slab size에 의해 혈류의 신호가 줄어드는 것은 어느 정도 방지하였다. 2D TOF에 비하여 긴 TR의 사용으로 인한 stationary tissue 신호의 증가를 방지하기 위해 optimal MTS parameter와 optimal flip angle을 찾는 것이 중요하고 생각된다. 결과 영상은 [그림 2, 3, 4]와 같다.

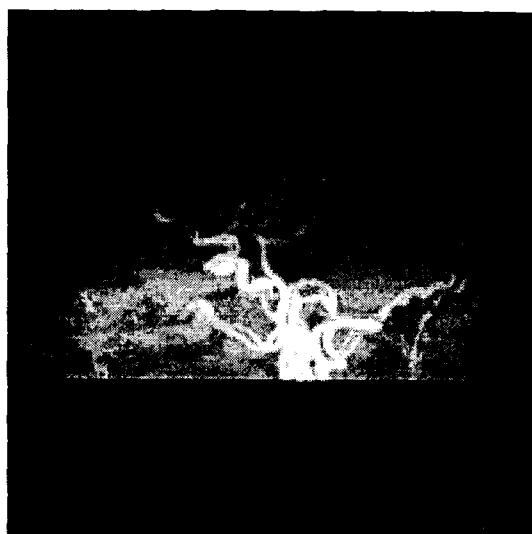
### 참고문헌

1. Jean A. Tkach, Paul M. Ruggieri, Jeffrey S. Ross, Michael T. Modic, John J. Dillinger, Thomas J. Masaryk, "Pulse Sequence Strategies for Vascular Contrast in Time-of-Flight Carotid MR Angiography", JMRI, Vol.3, pp.811-820, 1993
2. Steven Schreiner, Robert L. Galloway, "A Fast Maximum-Intensity Projection Algorithm for Generating Magnetic Resonance Angiograms", IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol.12, No.1, pp.50-57, 1993
3. Dwight G. Nishimura, Albert Macovski, John M. Pauly, "Magnetic Resonance Angiography", IEEE Trans. On Medical Imaging, Vol.MI-5, No.3, pp.140-151, 1986
4. Mark A. Brown, Richard C. Semelka, "MRI : Basic Principles and Application", Wiley-Liss, 1995 M. T. Vlaardingerbroek, J. A. den Voer, "Magnetic Resonance Imaging", pp.282-301, Springer, 1996
5. Gerhard A. Laub, "Time-Of-Flight Method of MR Angiography", MRI Clinics of North America, Vol. 3, No. 3, pp. 391-399, 1995

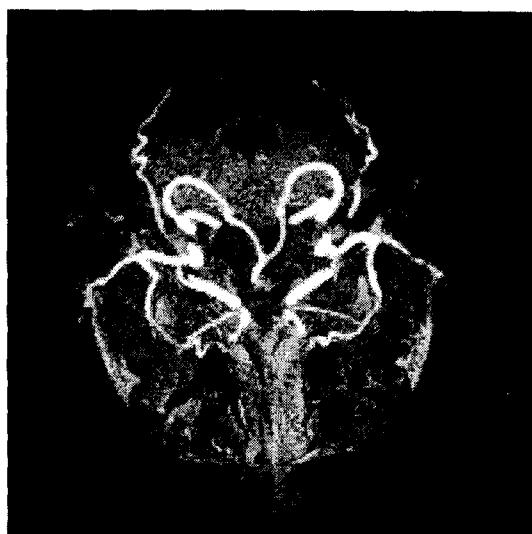
이 논문은 1997년 한국 학술진흥 재단의 공모 과제 연구비에 의하여 연구되었음



[그림 2] Coronal projection image



[그림 3] Sagittal projection image



[그림 4] Axial projection image