

Tissue Suppression

김 종 기

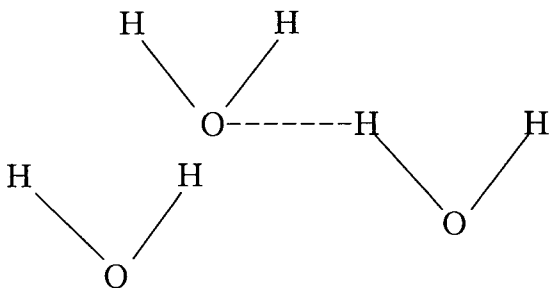
대구효성가톨릭의과대학 방사선과

이 강의의 목적은 fat suppression 과 water suppression에 관계되는 수소자기공명영상법의 기본 원리를 포괄적으로 이해하는데 있다. 임상적으로 이런 Technique의 수행이 필요한 가장 간단한 이유는 다른 병소의 신호와 구별을 하고 불필요한 artifact을 제거하기 위함이다.

1. MRI에서 측정되는 조직의 신호

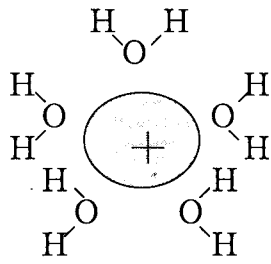
일반적으로 MRI에 나타나는 생체조직은 물과 지방조직의(adipose cell) fat 이 다른 생체분자보다 월등히 농도가 크기 때문에 (10000배 이상) 이들의 MRI신호의 합으로 나타난다. 물은 다시 fluid로 분류되는 bulk water과 생체조직내의 tissue water로 구분되며 조직내의 물도 다시 세포내에서 자유롭게 움직이는 성분 (bulk water)과 생체고분자에 일시적으로 수소결합된 성분 (bound water)으로 나뉘어지며 실제 조직내에서는 이들 간의 상호교환 (chemical exchange)이 빠른 시간내에(10^{-8} s) 이루어 지고 있다. 따라서 우리가 관측하는 MRI의 물 신호는 실제로 이들의 평균신호(averaged chemical exchange)을 NMR time scale에서 평균적으로(time averaged) 보는 것이다. 그러므로 intact biological system에서 물리화학적으로 볼 때 세가지 종류의 MRI 신호를 기대할 수 있다: Fat신호, tissue water 신호, fluid water신호.

◆ Fluid water

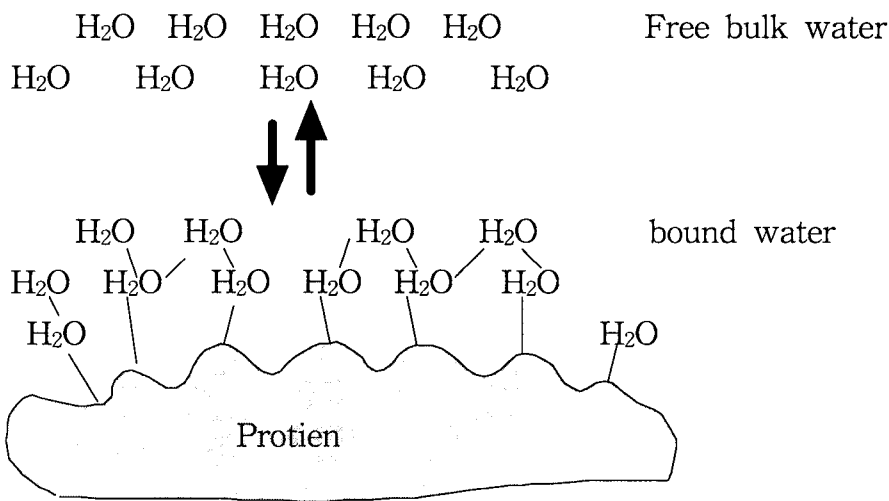


Fluid water 는 다른 생체 분자와 결합하지 않고 free state로 있기 때문에 이들의 T1 relaxation time은 3 sec 이상이다. chemical shift는 63.851500 Mhz(1.5 T에서) 정도이다.

◆ Tissue water



물분자는 극성 분자이므로 조직내 금속이온
이나 이온화된 아미노산 등과 쉽게 배위하여
hydration layer를 형성한다.

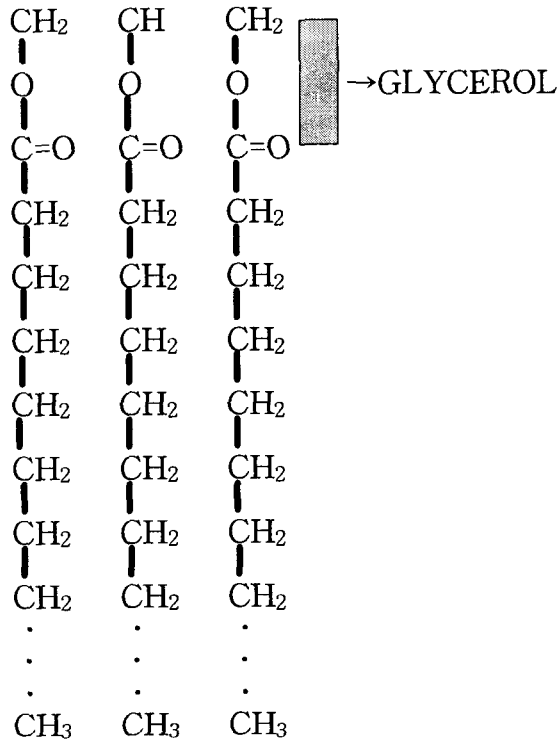


물분자는 조직내에서 생체 고분자와 쉽게 수소결합을 통하여 hydration layer를 형성하면서 bulk water와 빠르게 상호교환 (chemical exchange)을 한다. 평균적으로 bound water상태로 있는 시간은 10^{-6} sec 정도이므로 relaxation time scale 과 signal acquisition time scale에 비해 매우 짧아 조직내 물분자의 T1, T2 relaxation time이나 chemical shift는 bound water성분이 독립적으로 검출되지 않고 free water 성분과 평균값으로 검출된다.

따라서 조직내 물 분자는 fluid water와 달리 이온이나 생체 고분자와 결합되는 화학적 환경에 놓이게 때문에 물의 effective 질량이 커지면서 mobility가 훨씬 감소하고 T1 time도 훨씬 짧아져(1 초 이하) 그 조직의 화학적 환경에 따라 다양한 값으로 분포한다. 그러나 chemical shift는 bulk water의 값과 크게 다르지 않다.

◆ Lipids(Fat)

지방 조직(adipose tissue)이나 fatty degeneration 조직에 있는 mobile lipids 의 지방산 chain의 수소는 생체자기공명 수소 신호의 또 다른 source이다. 이러한 mobile lipid를 보통 Triglycerides, 즉 glycerol에 세개의 지방산 chain이 결합한 형태, 라고 한다.



이 분자의 분자량은 일단 물보다 훨씬 커 proton density와 mobility가 다르며 따라서 물보다 short T1, long T2 time을 보여 MRI 영상에서 밝게 보인다. 더구나 물의 resonance와는 1.5 T에서 220 Hz 정도 upfield shift resonance를 보이며 water proton이 fat proton보다 빠르게 세차운동 한다.

2. Fat 신호와 water 신호를 분리해야되는 이유

지질과 물에 대한 sensitivity에 따라 보통의 MRI 기법에서는 chemical shift misregistration artifact(CSMA)나 suboptimal contrast patterns과 같은 artifact가 발생한다. 인체의 지질은 상대적으로 짧은 relaxation time으로 특징지어 진다. 지질의 T1-time과 T2-time은 1.5 T에서 각각 280 ms, 50 ms 정도로 대부분의 T1 과 T2 spin echo 기법에서 밝게 나타난다. T1-weighted 영상기법에서 지질의 신호는 특히 강하게 나타나 fat plane이 lymphadenopathy을 분석하는데 도움이되는 목부위 영상에서

강한 지질의 신호는 진단하려는 부위의 영상대조를 크게 손상시킨다. 가령 T2-weighted 영상에서 meniscal tear에서 신호의 증강은 부근의 bone marrow의 강한 신호에 대비하여 잘 보이지 않게 된다.

기동성 지질이 많은 body 영상에서는 조영증강자체가 지질과의 영상대조를 약하게 만드는 수가 발생한다. breast, bone marrow, orbit 조직내의 종양에대한 조영증강은 T1-weighted 영상에서 이러한 이유로 검출되지 않을 수 있다.

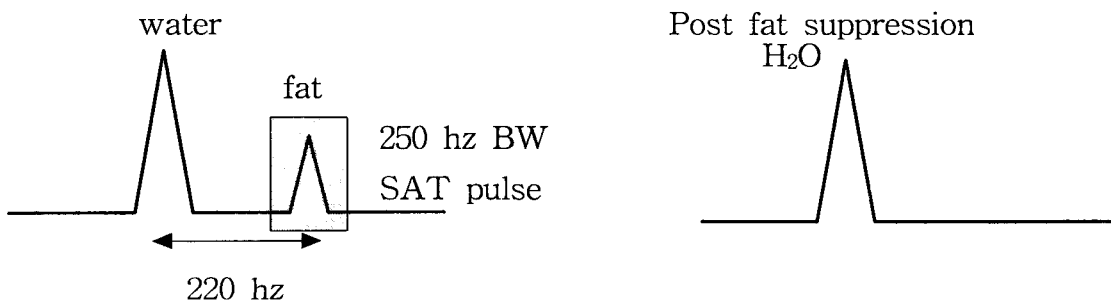
또 지질과 water tissue경계에서 띠모양으로 나타나는 CSMA는 작은 해부학적 부위에서, 예를 들면 optic nerve, Lumbar spine의 dural sac margin, 특히 진단에 문제를 발생시킨다. 복부영상에서 Motion artifact는 주로 복부 벽의 지질 신호가 phase encoding 방향으로 변위됨으로써 발생한다.

3. 물과 지질의 신호를 분리하는 MRI 기법

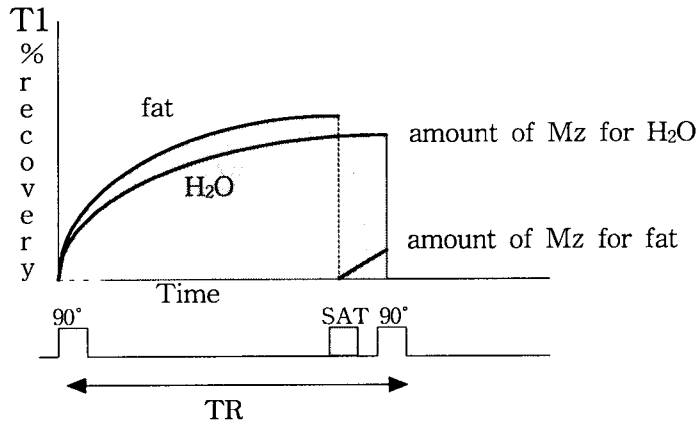
임상적으로 활용되는 방법을 크게 나누어 chemical shift 차이를 이용하는 chemical shift imaging(CSI)법과 T1 relaxation rate의 차이를 이용하는 inversion recovery방법이 있다. Chemical shift imaging 방법은 다시 물이나 지질만을 여기시키는 frequency-selective excitation방법과 Phase-sensitive mechanism이 있다.

A) Frequency selective excitation

이 방법은 MR Imaging sequence에 앞서 frequency selective (물 혹은 지질의 precession 주파수와 같은) RF pulse(CHESS or ChemSAT)를 두어 특정 chemical species, 즉 물이나 지질만을 선택적으로 MR excitation시킨다. 물이나 지질의 자화가 선택적으로 여기되어 x-y 평면에 놓이게 되면 Spoiling gradient가 가해져서, 가령 지질 자화의 x-y 성분을 분산시킴으로써 효과적으로 지질의 자화신호를 없애고 다음의 imaging pulse는 물의 자화 신호에만 작용하므로 영상에서는 물의 자화 신호만 있게 된다.



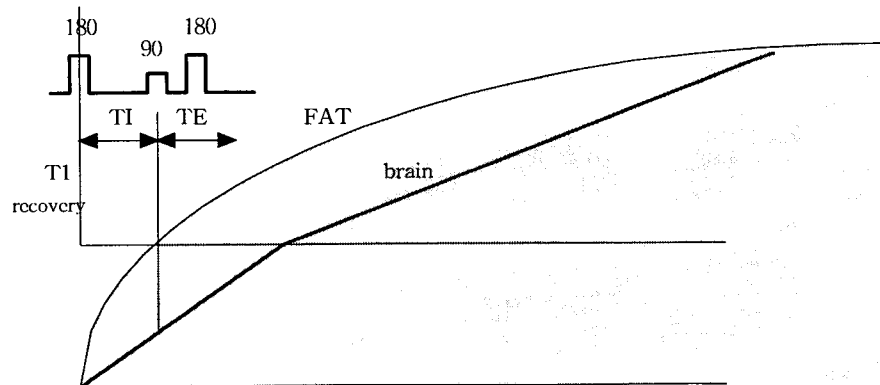
ChemSAT 경우에는 spoil gradient를 따로 두지않고 frequency selective presaturation pulse를 imaging sequence의 excitation pulse바로 전에 두어 longitudinal 자화를 없앴으로써 excitation이 가해질 때는 Pre-SAT pulse에 의해 미리선택된 chemical species는 longitudinal 자화성분이 복원할 시간이 충분하지 못함으로 영상 신호에 나타나지 않는다.



B) Dixon and Chopper method(phase selective reconstruction)

지질과 물의 수소자화는 1.5 T 자장에서 세차운동하는 속도가 달라 2.2 msec마다 위상이 같아지거나 180° 반전된다. 위상이 같아질 때는 영상소자내의 자화크기는 물과 지질 신호의 합으로 나타나고($I_1=W+F$), 위상이 반전될 때는 이들 신호의 차이로($I_2= W-F$) 나타난다. 따라서 두 set의 영상을 얻어 합과 차를 얻으면 각각 물 또는 지질만의 영상을 얻을 수 있다. 이러한 기법은 spin echo sequence(Dixon) 또는 gradient echo sequence(Chopper)에 적용할 수 있으나 요즘엔 임상적으로 거의 사용하지 않는다.

C) STIR 기법

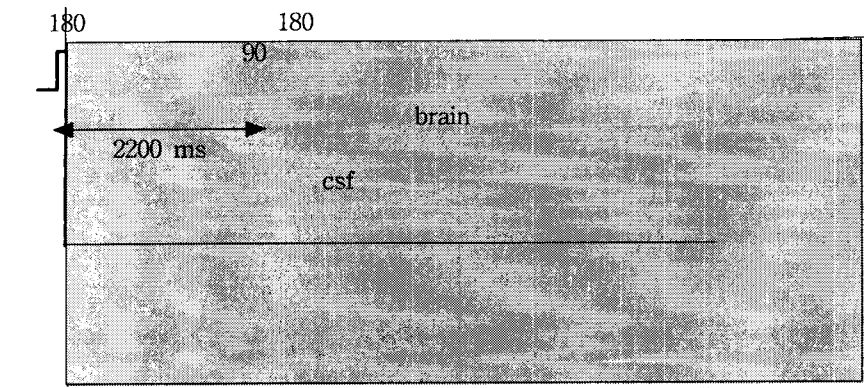


이 기법에서는 180° pulse가 먼저 longitudinal 자화를 반전시켜 TI 시간동안 회복되도록 기다린다. 이때 TI는 FAT 신호가 정확히 0점을 지나는 시간으로 잡으면 이때 imaging sequence의 90° pulse가 가해지므로 tissue water 신호만 영상 신호에 검출된다. 인체의 부위에 따라 TI 값은 다르나 160-180 ms 이다. STIR 기법에서 tissue신호가 검출될 때는 모두 음의 자화성분을 가지고 있으나 magnitude image에서는 이 값이 반전되어 T1값에 비례하여 밝은 영상을 보인다. 따라서 STIR 기법에서는 T1 시간이 긴 조직(CSF, tumor)등이 더 밝게 보여 보통의 T1-weighted spin echo 기법과는 영상대조가 다르다. 임상적으로 이기법은 특히 optic nerve의 병소나 bone marrow 의 metastatic lesion을 영상대조 증강하는데 도움이 된다.

D) FLAIR

FLAIR기법은 뇌척수액의 MR신호를 suppression시킴으로써 ventricle 혹은 cortical sulci에 가까운 병소를 검출하는데 편리한 방법으로 Fluid Attenuated Inversion Recovery라 부른다. STIR에서는 lipid를 nulling 하지만 여기서는 CSF, 즉 free bulk water를 0점에 맞추어야 하므로 TI 시간이 길다 (2000-2600 ms). 따라서 TR도 6-9 sec로 보통의 spin echo 영상법과 결합하여 사용하면 T2-weighted 영상을 얻을 수 있으나 전체 신호기록 시간이 10 분 이상이 걸려 불편하다. 최근에는 fast spin echo나 multi-shot EPI 영상기법과 결합하여 사용함으로써 기록시간을 2분-5분 사이로 단축할 수 있게 되었다. fast-imaging 기법과 결합한 FLAIR영상에서는 CSF의 signal void와 부근의 white matter lesion의 영상대조증강은 heavily-T2 weighted 영상이라 보통의 spin echo T2-weighted영상에서는 매우 밝은 CSF신호와 volume averaging효과로 인해 검출되지 않는 경우가 많다.

EPI-based FLAIR기법에서는 보통 long TR(~ 10000 msec), long TI(~ 2300 msec) 그리고 long TE(100-200 msec) 을 사용한다. 이 경우에는 Fast Spin Echo-FLAIR보다 magnetic susceptibility 효과가 강조되는 점이 다르다.

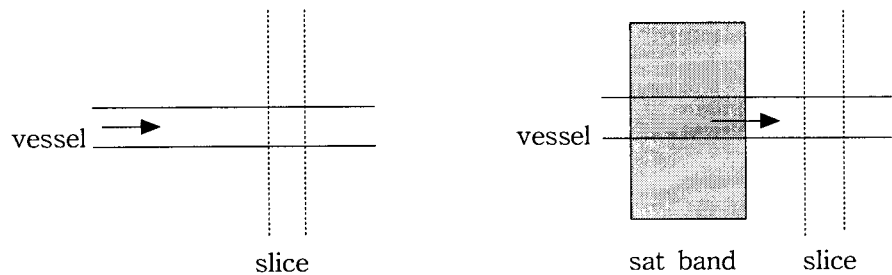


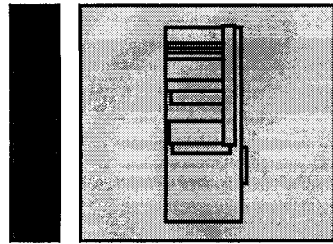
E) Spatial Pre-Saturation

Saturation technique은 slice-selective 90° RF-pulse을 영상 slice selective excitation pulse전에 가하여 그 조직의 신호를 원하는 영상에서 감퇴 혹은 제거하는데 있다.

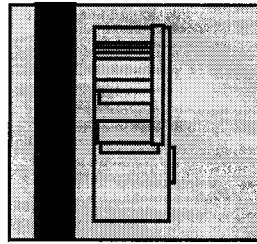
혈류를 saturation하기 위해서는 pre-sat pulse를 혈관이 위치한 평면에 두면 된다. 예를 들면 혈류가 superior쪽에서 오면, superior sat pulse가 혈류 자화수소가 영상 slice에 들어오기 전에 spin을 dephase시킨다.

FOV안에 있는 조직을 saturation 시키려면 단순히 saturation pulse를 원하지 않는 anatomy위에 두면 된다. 예를 들어 cervical spine의 영상에서 swallowing motion artifact 을 제거하기 위해 cervical spine의 anterior쪽에 saturation pulse를 두면 된다. 유동성 조직이나 고정된 조직이나 saturation 하는 방법은 똑같으나 in-flowing spin의 신호를 제거하려면 saturation band가 imaging slice를 따라 변위하는 concatenated sat, walking sat pulse기법을 사용해야 한다.





sat outside FOV



sat inside FOV

Suggested reading

1. Szumowski J, Simon JH Proton Chemical shift Imaging in "Magnetic Resonance Imaging" (D. Stark and WG Bradley Mosby p.479-521 (1992)
2. Mitchell DG, Vinitski S et al. Sampling bandwidth and fat suppression: AJR 153, 419-425, (1989).
3. Poon CS et al Fat/Water quantitation and differential relaxation time measurement using chemical shift imaging technique JMRI 7, 369-382 (1989).
4. Szumowski J, Coshov W et al, Phase unwrapping in the three-point Dixon method for fat suppression MR imaging, Radiology 192, 555-561 (1994)
5. Tien RD Fat suppression MR imaging in neuroradiology: techniques and clinical application AJR 158, 369-379 (1992).
6. Majda M et al Comparison of T2-weighted and Fluid-Attenuated Inversion-Recovery Fast Spin Echo MR sequences in intracerebral AIDS-associated disease, AJNR 18, 1601-1609, (1997)
7. Mewlhem ER et al, usefulness of Optimized Gadolinium-enhanced fast fluid attenuated inversion recovery MR imaging in revealing lesions of the brain, AJR 171, 803-807, (1998).