

화학적이동이 자기공명영상에 미치는 영향

김경민, 김영진
한양대학교 자연과학대학 물리학과

초 록

정상조직과 지방조직의 화학적 결합의 차이는 화학적 이동 artifact를 발생시킨다. 이러한 화학적 이동으로 생긴 결과는 주로 공명신호 위치의 부정확으로 나타나지만 횡적완화시간의 변화도 일으키게 된다. 물분자 수소원자핵의 횡적완화시간 T_2 과 지방분자 수소원자핵의 횡적완화시간 T_2^* 를 신호대 잡음비, 신호응답도, 그리고 영상시간에 각각 넣어 비교해 보았다. 그 결과 신호대 잡음비와 신호응답도는 각각 약 5%와 8%가 감소하였고, 영상시간은 약 10%가량 증가하였다. 따라서, 화학적 이동은 영상의 왜곡 외에도 영상과정의 효율을 저하시킴을 알았다.

서 론

핵자기공명¹⁾을 이용한 자기공명영상은 다른 여러 진단방법들과 마찬가지로 다양한 원인에 의한 artifact들을 갖는다. 이 원인들 중에서 주자기장, 경사장 코일등과 같은 하드웨어적인 원인들에 의한 artifact들은 최근의 기술적인 진보에 힘입어 많이 개선되었으나, 정상적인 인체조직에 포함된 신장과 척추 및 골반부 등과 같은 정상조직과 지방조직과의 경계면에서 나타나는 화학적 이동 artifact는 여전히 흔히 나타난다. 화학적 이동^{2,3)}은 물분자의 수소원자핵과 지방분자의 수소원자핵들간의 공명진동수의 차이에 의해 발생하는데, 이러한 화학적 이동 artifact의 양상은 주로 공명신호위치의 부정확에 의한 영상정보의 왜곡으로 나타난다. 이러한 영상정보의 왜곡을 줄이고 보다 정확한 영상정보를 얻기 위한 다양한 펄스방법들⁴⁾이 개발되었다. 그러나 물분자의 수소원자핵과 지방분자의 수소원자핵의 화학적 결합의 차이는 각각의 원자핵이 받는 자기장의 차이에 의한 공명진동수의 차이 뿐만 아니라 각각의 원자핵이 갖는 횡적 완화시간에도 영향을 준다. 따라서 지방조직과 수소조직간의 횡적완화시간의 차이가 자기공명 영상과정에 어떠한 영향을 줄 것인가에 대해 알아보려고 하였다. 이를 위해 물분자의 수소원자핵과 지방분자의 수소원자핵의 신호대 잡음비^{5,6)}, 신호응답도⁷⁾, 그리고 영상시간의 값들을 비교해 보았다.

이 론

일정한 외부자기장에 놓인 원자핵은 고유의 공명진동수를 갖는다. 그러나 실제로 원자핵은 분자상태에서 갖는 전자구름에 의해 자기장의 차폐효과를 갖는다. 외부의 일정한 자기장 H_0 에 놓인 원자핵의 공명진동수는

$$\omega = \gamma(1-\sigma)H_0 \quad (1)$$

화학적이동이 자기공명영상에 미치는 영향

으로 쓸 수 있다. 여기서 σ 는 차폐상수, γ 는 수소원자핵의 자기회전비 그리고 H_0 는 일정한 외부자기장이다. 같은 종류의 수소 원자핵들이라도 물분자와 지방분자가 갖는 화학적 결합의 차이에 의해 물분자의 수소원자핵과 지방분자의 수소원자핵이 받는 자기장의 세기가 달라지기 때문에 물분자의 수소원자핵의 공명진동수 ω_{water} 와 지방분자의 수소원자핵의 공명진동수 ω_{fat} 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\omega_{water} = \gamma(1 - \sigma_{water})H_0 \quad (2)$$

$$\omega_{fat} = \gamma(1 - \sigma_{fat})H_0 \quad (3)$$

일반적으로 자기공명영상은 인체내의 물분자 수소원자핵의 공명진동수를 기준으로 하기 때문에 물분자의 수소원자핵이 받는 자기장의 세기와 지방분자의 수소원자핵이 받는 자기장의 세기의 차이를 ΔH 라 한다면 지방분자의 원자핵의 횡적완화시간 T_2^* 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \gamma\Delta H \quad (4)$$

여기서 T_2 는 물분자의 수소원자핵의 횡적완화시간이다. 따라서 지방분자의 횡적완화시간과 물분자의 횡적완화시간을 비교하면 $T_2^* < T_2$ 임을 알 수 있다.

계 산

자기공명 영상화과정에서 횡적 완화시간은 신호 응답도, 신호대 잡음비, 그리고 영상 시간의 주요 변수가 된다. 종적완화시간 T_1 과 반복주기 T_R 이 $T_2 < T_R < T_1$ 을 만족하는 조건 하에서 신호응답도(F)는 동적 평형상태에서의 핵자화값 M_{DE} 과 핵자화의 최대값 M_0 의 비로 나타낸다.

$$M_{DE} = MF \quad (5)$$

따라서 CP(Car-Purcell) 펄스방법과 SSFP(Steady State Free Precession) 펄스방법에서의 신호응답도는 각각 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_{CP} = \overline{G}(\tau) \left(\frac{2}{3} \right) \left[\frac{T_2}{T_1 + 3T_2} \right] \quad (6)$$

$$F_{SSFP} = \overline{G}(\tau) \left[\frac{T_2}{T_1 + 3T_2} \right] \quad (7)$$

여기서 $\overline{G}(\tau)$ 는 영상획득시간 τ 동안에 걸친 표준화된 자유유도붕괴신호의 평균값이다. 실험적으로 최적화된 신호대 잡음비(SNR)를

$$SNR \approx 213 \sqrt{T_2} \quad (8)$$

으로 쓴다면, 한변이 Δx 인 정입방체의 특정 신호대 잡음비를 얻기위한 영상시간을 T_{in} 라

김경민, 김영진

하고, 한변이 Δx 이고 Δz 인 단면의 특정 신호대 잡음비를 얻기위한 영상시간을 T_{slice} 라고 한다면 이들 각각의 영상시간들은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$T_{rot} \approx (SNR)^2 a^2 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \frac{2.836 \times 10^{-15}}{\omega^{7/2}} \left(\frac{1}{\Delta x} \right)^6 \quad (9)$$

$$T_{slice} \approx (SNR)^2 a^2 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \frac{2.836 \times 10^{-15}}{\omega^{7/2}} \left(\frac{1}{\Delta z} \right)^2 \left(\frac{1}{\Delta x} \right)^4 \quad (10)$$

여기서 a 는 코일의 반경이고 ω 는 MHz단위의 고주파 진동수이다.

위의 식들은 정상조직의 물분자 수소원자핵에 대한 표현식이므로 지방분자 수소원자핵의 횡적 완화시간의 변화에 따른 영향은 위의 식들에 T_2 대신 지방분자 수소원자핵의 횡적 완화시간 T_2^* 을 대입함으로써 표현할 수 있다. 따라서 지방조직의 CP 펄스방법과 SSFP 펄스방법에서의 신호응답도(F^*)는

$$F_{CP}^* = \overline{G}(\tau) \left(\frac{2}{3} \right) \left[\frac{T_2^*}{T_1 + 3T_2^*} \right] \quad (11)$$

$$F_{SSFP}^* = \overline{G}(\tau) \left[\frac{T_2}{T_1 + T_2^*} \right] \quad (12)$$

이 된다. 그리고 지방분자 수소원자핵의 신호대 잡음비와 영상시간들은 각각 다음과 같다.

$$SNR \approx 213 \sqrt{T_2^*} \quad (13)$$

$$T_{rot}^* \approx (SNR)^2 a^2 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \frac{2.836 \times 10^{-15}}{\omega^{7/2}} \left(\frac{1}{\Delta x} \right)^6 \quad (14)$$

$$T_{slice}^* \approx (SNR)^2 a^2 \left(\frac{T_1}{T_2^*} \right) \frac{2.836 \times 10^{-15}}{\omega^{7/2}} \left(\frac{1}{\Delta z} \right)^2 \left(\frac{1}{\Delta x} \right)^4 \quad (15)$$

결 과

지방분자의 횡적완화시간 T_2^* 는 물분자의 횡적완화시간 T_2 보다 작기 때문에 CP펄스방법과 SSFP 펄스방법에서의 지방분자의 신호응답도는 물분자의 신호응답보다 작다.

$$F_{CP}^* < F_{CP}$$

$$F_{SSFP}^* < F_{SSFP}$$

그리고 $T_1 = 3T_2$, $T_2^* = 0.9T_2$ 의 조건하에서 지방분자 수소원자핵의 신호대 잡음비와 영상시간들의 표현식들을 계산한 결과는 다음과 같다.

$$(S/N)^* = 0.95(S/N)$$

$$T_{rot}^* \approx 1.1T_{rot}$$

$$T_{slice}^* \approx 1.1T_{slice}$$

이 결과는 신호대 잡음비가 약 5%정도 감소하고, 영상시간들은 각각 약 10%가 증가함을 나타낸다.

결 론

동일한 외부자기장에 놓인 같은 원자핵일지라도 화학적 결합의 차이에 화학적 이동이 발생한다. 이러한 화학적 이동은 공명신호의 위치를 부정확하게 함으로써 영상정보를 왜곡시키게 되고, 횡적완화시간의 변화도 유발시켜 물분자에 비해 고분자인 지방분자의 횡적완화시간을 변화시킨다. 이러한 횡적완화시간의 변화로 인한 물분자에 비해 지방분자의 신호응답도와 신호대 잡음비는 감소하고 영상시간은 증가한다. 이와 같은 결과는 정해진 시간에 좋은 영상을 얻기 위한 영상화 과정의 전반적인 효율성을 저하시킴을 알 수 있다.

참고문헌

1. F. Bloch : Nuclear Induction : Phys. Rev., B70, 460-474(1946)
2. N. Bloembergen, E. M. Purcell, and R. V. Pound : Relaxation Effects in Nuclear Magnetic Resonance Absorption : Phys. Rev., B73, 679-712(1948)
3. A. Abragam : *The Principles of Nuclear Magnetism* : Oxford University Press, Oxford(1961)
4. Z. H. Cho and H. W. Park : *Advances in Magnetic Resonance Imaging* : Ablex Publishing Co., New Jersey (1989)
5. D. L. Hoult and Paul C. Lauterbur : The Sensitivity of the Zeugmatographic Experiment Involving Human Samples : J. Magn. Reson. B34, 425-433 (1979)
6. D. I. Hoult and R. E. Richards : The Signal-to Noise Ratio of the Nuclear Magnetic Resonance Experiment : J. Magn. Reson. B24, 71-85(1976)
7. P. Mansfield and P. G. Morris : *NMR Imaging in Biomedicine* : Academic Press, New York (1982)

김경민, 김영진

The Effect of Chemical Shift on MR Imaging

Kyeong Min Kim, Yong Jin Kim

Department of Physics, Hanyang University, Seoul 133-791

Abstract

The chemical bond differences between a normal tissue and a fat tissue make a chemical shift artifact which is caused by a primary inaccuracy of resonance signal location. The chemical shift also makes a variation of the transverse time T_2 . An attempt is made to compare the values of SNR(Signal-to-Noise Ratio), the signal response, and the imaging time computed by applying T_2^* for a fat-proton with ones of those computed by applying T_2 for a water-proton under the conditions of $T_1/T_2=3$ and $T_1^*/T_2=0.9$. The results of the attempt show that the first two reduce to 5% and 8% out of 100%, respectively, and the last rather increases up to 10%. This shows that the chemical shift contributes to the deterioration of an MR imaging efficiency in addition to the image distortion.