

대상회 피질, 편도체, 해마체, 도피질의 T2 이완시간: 1.5테슬러와 3.0테슬러 자기공명영상장치의 비교

이 호 준 · 김 응 엽

목적 : 1.5T와 3.0T MRI에서 대상회 피질, 편도체, 해마체, 도피질의 T2 이완시간 (T2)을 비교하고자 하였다.

대상 및 방법 : 건강한 12명의 자원자를 대상으로 1.5T와 3.0T에서 해마에 대해 수직으로 FLAIR와 CPMG 펄스열 영상을 같은 조건으로 획득하였다. 대상회 피질, 편도체, 해마체, 도피질에서 T2를 측정하였고, 해마와 나머지 부위의 T2 비를 1.5T와 3.0T 사이에서 비교하였다.

결과 : 1.5T에서 측정한 평균 T2는 대상회 피질, 편도체, 해마체, 도피질에서 각각 109.5 ± 3.1 , 117.0 ± 7.1 , 114.7 ± 2.4 , 111.3 ± 2.4 , 3.0T에서 측정한 값은 각각 99.7 ± 3.8 , 100.7 ± 4.3 , 97.9 ± 3.4 , 96.2 ± 2.0 이었다. 1.5T와 3.0T 사이의 T2 변화 백분율은 각각 -8.9%, -13.5%, -14.6%, -13.5% 이었다. 1.5T와 3.0T 사이에서 해마체에 대한 대상회 피질, 편도체, 도피질의 T2 비는 각각 0.96 과 1.02 ($p=0.003$), 1.02 과 1.03 ($p > 0.05$), 0.97 과 0.98 ($p > 0.05$)이었다.

결론 : 3.0T에서 대상회 피질의 T2 감소는 편도체, 도피질, 해마체와 비교해서 상대적으로 적었고, 대상회 피질과 해마체의 T2 이완시간비는 1.5T와 3.0T에서 의미 있는 차이를 보였다.

서 론

3.0테슬러 자기공명영상 (MRI)은 1.5테슬러 자기공명영상에 비해 신호대잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)와 대조잡음비 (contrast-to-noise ratio, CNR)가 상대적으로 높은 장점을 갖고 있어, 점점 더 많은 병원에서 이를 활용하고 있어 3.0테슬러 자기공명영상의 정상 소견을 제대로 인지하는 것이 중요하다(1-3).

1.5테슬러 자기공명영상장치와 비교하여 T1 이완시간 (relaxation time)은 3.0테슬러 자기공명영상장치에서 획득한 영상에서 길어지고, T2 이완시간은 짧아진다. Lu 등은 동일한 대상군에서 3.0테슬러 자기공명 뇌영상과 1.5테슬러 자기공명

뇌영상을 동시에 시행하여 비교한 결과, 신피질 (neocortex)의 T1 이완시간이 3.0테슬러 자기공명영상에서 14-30% 길어지고 T2 이완시간이 12-19% 짧아진다고 주장하였다 (3). 이 들의 연구에서는 전두엽 (frontal lobe)과 후두엽 (occipital lobe) 피질에서만 T1, T2 이완시간을 측정하였고, 변연계 (limbic system)에 해당하는 해마 (hippocampus), 대상회 (cingulate gyrus), 편도 (amygdala)에 대해서는 비교하지 않았다. 이 부위는 1.5테슬러 액체감약반전회복 (fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)영상에서 다른 신 피질에 비해 밝게 보인다고 알려져 있다 (4). 저자들은 최근 동일한 간질 환자에서 1.5테슬러 영상장치와 3.0테슬러 영상장치로 영상을 획득한 경우, 3.0테슬러 액체감약반전회복 영상에서 대상회 피질과 주변 전두엽 피질의 신호강도비가 1.5테슬러 영

대한자기공명의과학회지 15:67-71(2011)

연세대학교 의과대학 영상의학과

*이 연구는 교육과학기술부 한국연구재단(2008-0061553), 연세대학교 의과대학 교내연구비(6-2007-0101) 지원에 의해 이루어진 것임
접 수 : 2011년 1월 19일, 수 정 : 2011년 3월 3일, 채 택 : 2011년 3월 7일

통신저자 : 김응엽, (120-752) 서울특별시 서대문구 성산로 250, 연세대학교 의과대학 세브란스병원 영상의학과
Tel. (02) 2228-7400 Fax. (02) 393-3035 E-mail: eungykim@yuhs.ac

상에 비해 상대적으로 높게 나타남을 알게 되었다. 이런 소견이 일관된 소견인지, 장비의 특성에 의한 것인지 혹은 인공음영 등에 의한 가상 소견(pseudo finding)인지 구분하기 위해, 이 부위의 T2 이완시간을 1.5테슬러와 3.0테슬러 영상장치에서 각각 정량화할 필요성을 인지하게 되었다. T2 이완시간을 측정하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 이를 측정함으로써 신호강도에 영향을 미칠 수 있는 다른 변수를 배제할 수 있다. 둘째, 상대적으로 긴 이완시간 (relaxation time, TR)과 에코시간 (echo time, TE)으로 액체감약반전회복 영상을 시행하는 경우 신호강도는 주로 T2 이완시간에 의해 결정되기 때문이다. 이 연구의 목적은 동일한 대상에서 해마, 대상회 피질, 편도, 도피질 (insular cortex)의 T2 이완시간을 1.5테슬러와 3.0테슬러 장치에서 각각 측정한 뒤 변화 정도를 비교하는 데 있다.

대상 및 방법

25-35세 사이의 남, 여 각 6명, 총 12명의 건강한 자원자 (평균 연령, 30.9세)를 대상으로 하였으며, 기관 연구윤리위원회의 허락 하에 모든 자원자로부터 동의서를 받았다.

1.5테슬러, 3.0테슬러 자기공명영상장치 (Philips, Achieva,

Best, The Netherlands)에서 4 채널 SENSE (Sensitivity encoding) 머리 코일을 이용하여 각 자원자들로부터 뇌영상을 획득하였다. 해마의 장축 (longitudinal axis)을 T1강조 시상 (sagittal) 영상에서 먼저 확인하고, 이 축에 수직으로 경사 관상 (oblique coronal) 액체감약반전회복 영상과 Carl-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) 펄스열을 이용한 T2 강조영상을 획득하였다 (Fig. 1). 동일한 방법으로 같은 위치에서 동일한 영상 조건으로 각각 1.5테슬러와 3.0테슬러 영상장치에서 영상을 얻었다. 기존에 알려진 최적화된 액체감약반전회복 영상 획득 방법을 이용하였으며 (3), 이는 다음과 같다: (1.5테슬러: 행렬 (matrix), 352×282 [재건 (reconstruction), 512×512]; 두께, 3 mm (절편간격 없음); TR, 9000 ms; TE, 90 ms; 역전시간 (inversion time), 2500 ms; 영상영역 (field of view, FOV, 23 cm), 1 NEX) (3.0 테슬러: 행렬 352×272 [재건, 512×512]; thickness, 두께, 3 mm (절편간격 없음); TR, 9000 ms; TE, 80 ms; 역전시간, 2500 ms; 영상영역, 23 cm; 1 NEX). CPMG 펄스열은 SENSE 인자 2를 이용하여 8개의 에코시간으로 액체감약반전회복 영상과 동일한 부위에서 영상을 시행하였고 조건은 다음과 같다: (1.5 T: 행렬, 352×281 [재건, 512×512]; 두께, 3 mm (절편간격 없

Table 1. T2 Relaxation Time Measured at 1.5 T and 3.0 T

	Cingulate Cortex	Insular Cortex	Amygdaloid Body	Hippocampal Body
1.5 T	109.5±3.1	111.3±2.4	117.0±7.1	114.7±2.4
3.0 T	99.7±3.8	96.2±2.0	100.7±4.3	97.9±3.4
% change	-8.9%*	-13.5%	-13.5%	-14.6%

*p=0.006

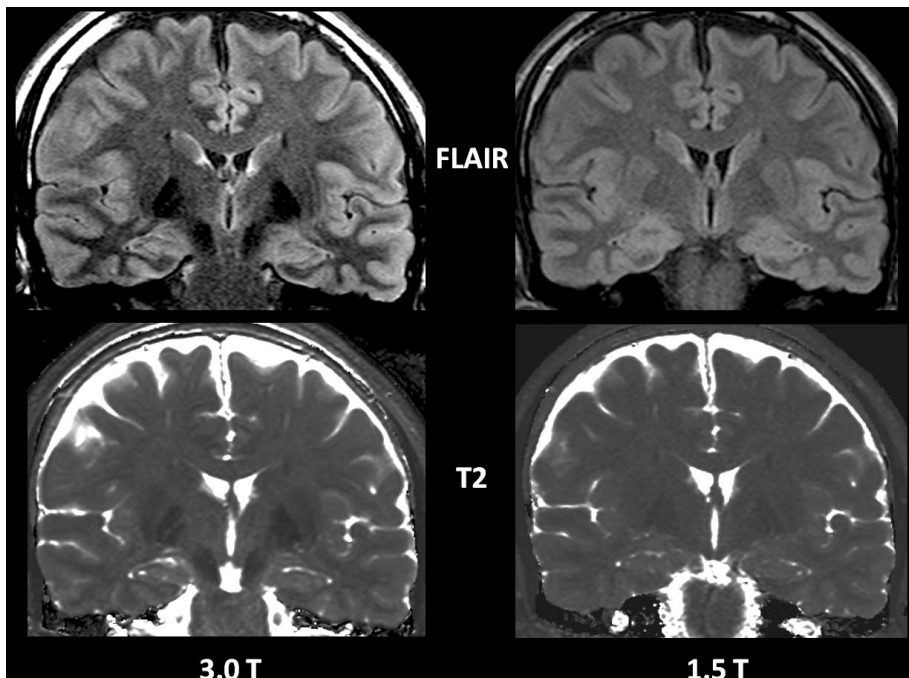


Fig. 1. Representative Images of FLAIR and T2 Relaxation Time Maps at 1.5T and 3.0T (FLAIR, fluid-attenuated inversion recovery; T2, T2 relaxation time maps).

음); TR, 3071 ms; TE, 20-160 ms (20 ms 간격); 영상영역, 23 cm; 1 NEX) (3.0 T: 행렬, 352×281 [재건, 512×512]; thickness, 두께, 3 mm (절편간격 없음); TR, 3071 ms; TE, 20-160 ms (20 ms 간격); 영상영역, 23 cm; 1 NEX).

획득한 영상의 DICOM 영상을 개인 컴퓨터로 전송한 뒤, MRicro (version 1.40 build 1)를 이용하여 액제감약반전회복 영상에서 양측 대상회 피질의 중간 부위 (면적 > 0.05 cm²), 편도체 중심 부위 (면적 > 0.3 cm²), 해마체 (hippocampal body)의 중간 부위 (면적 > 0.15 cm²), 도피질의 중간 부위 (면적 > 0.05 cm²)에 각각 관심영역을 그렸다 (Fig. 2). 이를 복사하여 T2 이완시간 지도에 덮어 씌워 각 부위의 T2 이완시간을 기록하였고, 양측 T2 이완시간의 평균 값을 계산하였다. 1.5테슬러와 3.0테슬러 장치에서 얻은 각 부위의 T2 이완시간 백분율 변화를 계산하였고, 해마와 다른 부위의 T2 이완시간비를 구하였다. Kruskal-Wallis 테스트와 Wilcoxon signed ranks 테스트를 사용하여 각 부위의 T2 이완시간 백분율 변화와 1.5테슬러와 3.0테슬러 장치에서의 T2 이완시간비를 비교하였다. P 값이 0.05 이하인 경우 통계적으로 의미 있는 차이가 있는 것으로 간주하였고, SPSS (version 12, Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계분석을 시행하였다.

결 과

1.5테슬러 영상장치에서 측정된 대상회 피질, 편도체, 해마체, 도피질의 평균 T2 이완시간은 각각 109.5 ms ± 3.1, 117.0 ms ± 7.1, 114.7 ms ± 2.4, 111.3 ms ± 2.4이었다. 3.0테슬러 영상장치에서 측정된 동일한 부위의 평균 T2 이완시간은 각각 99.7 ms ± 3.8, 100.7 ms ± 4.3, 97.9 ms ± 3.4, 96.2 ms ± 2.0 이었다. 1.5테슬러 영상장치에서 측정된 T2 이완시간과 3.0테슬러 영상장치에서 측정된 T2 이완시간의 변화 백분율은 대상회, 편도체, 해마체, 도피질에서 각각 -8.9%, -13.5%, -14.6%, -13.5%이었다 (Table 1). 대상회에서의 T2 이완시간 변화 백분율은 다른 부위와 비교해서 통계적으로 의미 있게 낮았다 (p = 0.006). 1.5테슬러 영상 장치와 3.0테슬러 영상장치에서 측정된 해마체와 대상회의 평균 T2 이완시간비 0.96 과 1.02 로 서로 의미 있는 차이를 보였으나 (p = 0.003), 해마체와 편도체, 해마체와 도피질의 평균 T2 이완시간비는 각각 1.02 와 1.03, 0.97 과 0.98로 서로 의미 있는 차이를 보이지 않았다 (p > 0.05) (Table 2).

고 찰

3.0테슬러 자기공명영상 장치는 점점 더 많이 사용되고 있으므로 일반적으로 활용되는 영상 기법상 1.5테슬러 장치와의 차이를 인지하는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 저자장 영상장치에 비해 고자장 영상장치에서 획득한 영상은 T1 이완시간이 길어지고, T2 이완시간은 짧아짐이 알려져 있고, Lu 등은 일부 뇌피질에서 이를 보고한 바 있다 (3). 하지만, 본 연구에서 측정한 바와 같이 변연계에서의 변화는 보고된 바 없다. Hirai 등은 1.5테슬러 액제감약반전회복 영상에서 편도체, 해마, 대상회, 뇌랑밑 부위 (subcallosal area)가 나이와 상관 없이 등피질 (isocortex)보다 신호강도가 높음을 보고하였다 (4). 이런 고신호강도의 원인은 명확하지 않지만, 다음과 같이 설명하고 있다. 첫째, 대상회와 도피질은 다른 등피질에 비해 더 많은 물을 포함하고 있다 (5). 둘째, 해마의 암몬각 (horn of Ammon)과 치상회 (dentate gyrus)는 이종 피질 (allocortex)로서 등피질과 세포구조 (cytoarchitecture)상 다르다 (6). 셋째, 해마는 다른 등피질과 달리 모세혈관의 밀도가 더 높고, 더 긴 탄젠트 방향을 갖는다 (7). 또한 피질의 T2 이완시간은 철성분의 양에도 영향을 받는다고 알려져 있다 (8).

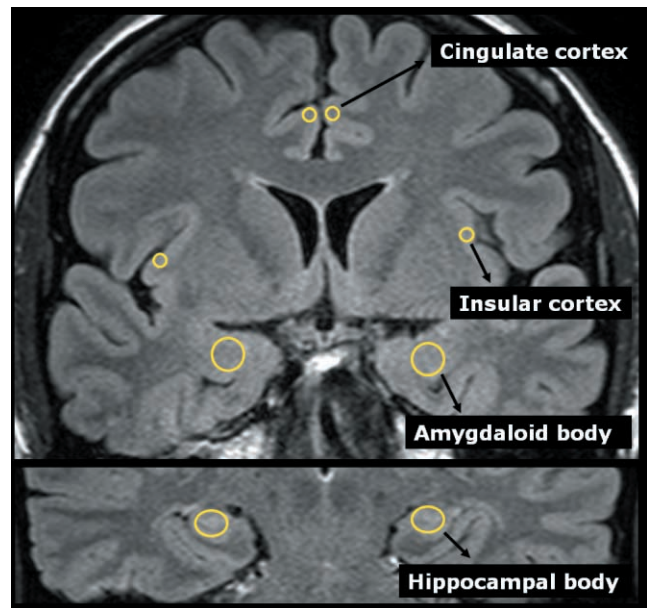


Fig. 2. Regions of Interests

Table 2. T2 Relaxation Time Ratios of the Cingulate Cortex, Insular Cortex and Amygdaloid Body to the Hippocampal Body

	Cingulate Cortex	Insular Cortex	Amygdaloid Body
1.5 T	0.96*	0.97	1.02
3.0 T	1.02*	0.98	1.03

*p=0.003

이런 여러 가지 인자가 복합적으로 작용하여 신호강도의 차이를 보이는 것으로 추정할 수 있으며, 어떤 인자가 더 우월한지 알기 위해서는 더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각한다.

물 성분이 많은 특정 뇌실질의 T2 이완 시간은 자장의 크기에 상대적으로 덜 영향을 받는다고 알려져 있다 (5, 9). 따라서, 본 연구에서 대상회 피질의 T2 이완시간 변화백분율이 상대적으로 낮은 이유는 이 부위가 다른 부위보다 물 성분이 원인일 수 있다. 하지만, 물 성분이 많다고 알려진 도피질은 대상회 피질과 달리 다른 부위와 비슷한 T2 이완시간의 변화를 보였다. 도피질은 등피질이나, 대상회 피질은 이종피질이 등피질로 이행 (transition)되는 중간피질 (mesocortex)로서 서로 다른 세포구조를 갖고 있다. 이로 인해 도피질과 다른 T2 이완시간 변화를 보였을 것으로 추정된다. 하지만, 뇌의 피질마다 철성분 함유량이 다르다고 알려져 있으므로 (10, 11), 정확한 원인을 파악하기 위해서는 추가 연구가 필요할 것으로 생각한다. 또 다른 가능성으로, 대상회 피질과 달리 해마 등은 보다 두개기저 (skull base)에 보다 가까이 있어 T2 이완시간 감소가 보다 빠르게 진행되었을 수 있다. 이를 검증하기 위해서는 자장 지도 (field map)를 구하는 추가 연구가 도움이 될 수 있다.

액체감약반전회복 영상에서 대상회의 고신호강도는 바이러스 뇌염, 고암모니아 뇌병 (hyperammonemic encephalopathy), 전뇌혈관 영역 경색 (anterior cerebral artery territory infarct)과 같이 여러 질환에서 보일 수 있다. 본 연구에서 3.0테슬라 영상장치에서 획득한 정상인의 액체감약반전회복 영상에서 보이는 대상회의 고신호강도는 상대적으로 T2 이완시간의 감소가 다른 부위에 비해 덜한 결과로 일부 설명할 수 있었다. 따라서, 이런 소견을 인지하는 것이 질환을 감별할 때 의미가 있을 것으로 생각한다.

해마 경색 (hippocampal sclerosis)은 복합부분발작 (complex partial seizure)의 흔한 원인이다. 이 질환은 액체감약반전회복 혹은 T2강조 영상에서 편도체, 해마, 해마옆 회 (parahippocampal gyrus)의 신호강도 증가와 체적 감소로 진단한다. 이 부위의 T2 이완시간 측정이나 체적을 측정함으로써 진단의 정확성을 높이기도 하지만 (12-14), 시간이 많이 걸리는 단점이 있어 일반적으로 사용되지는 않는다. 1.5테슬라 액체감약반전회복 영상에서 해마의 신호강도는 대상회나 도 피질보다 높다고 알려져 있다 (4). 따라서, 해마와 대상회 혹은 도 피질과의 신호강도비는 해마 경색의 진단에 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서 측정된 해마와 각 부위의 T2 이완시간비는 액체감약반전회복 영상의 신호강도비와 비례 관계를 보일 것으로 추정할 수 있으므로, 3.0테슬라 장치에서 얻은 T2 이완시간비와 1.5테슬라에서 얻은 이완시간비의 차이를 아는 것이 의미가 있다. 본 연구에서 대상회 피질의 T2 이완시간은 3.0테슬라에서 해마와 거의 같은 값을 보여, 해마의 신호강도 변화를 판단할 때 이를 활용할 수 있을 것으로 생각한다. 하지만, 두 부위의 신호강도비를 해마 경색 진단에 사용할 수 있는지 여부를 알기 위해서는, 주변 다른 피질과의 신호강도비를 더 많은 자원자에서

측정하고 이를 바탕으로 환자군과 비교한 뒤 정상과 비정상을 구분할 수 있는 신호강도비를 얻는 과정이 필요하다.

본 연구에서는 피질의 특정 부위에서만 T2 이완시간을 측정하였다. 피질 전체를 대상으로 관심영역을 그려 측정하는 것이 더 이상적이나, 각 부위의 명확한 경계를 판단하기 어려운 점이 있어 중간 부위에서만 측정하였다.

결 론

1.5테슬라 영상과 비교하여 3.0테슬라 영상에서 대상회 피질의 T2 이완시간은 도피질, 해마체, 편도체의 T2 이완시간보다 덜 감소하였고, 대상회 피질과 해마체 사이의 T2 이완시간비는 의미 있는 차이를 보였다.

참 고 문 헌

1. Frayne R, Goodyear BG, Dickhoff P, Lauzon ML, Sevick RJ. Magnetic resonance imaging at 3.0 Tesla: challenges and advantages in clinical neurological imaging. *Investigative radiology* 2003;38(7):385-402
2. Trattinig S, Ba-Ssalamah A, Noebauer-Huhmann IM, et al. MR contrast agent at high-field MRI (3 Tesla). *Top Magn Reson Imaging* 2003;14(5):365-375
3. Lu H, Nagae-Poetscher LM, Golay X, Lin D, Pomper M, van Zijl PC. Routine clinical brain MRI sequences for use at 3.0 Tesla. *J Magn Reson Imaging* 2005;22(1):13-22
4. Hirai T, Korogi Y, Yoshizumi K, Shigematsu Y, Sugahara T, Takahashi M. Limbic lobe of the human brain: evaluation with turbo fluid-attenuated inversion-recovery MR imaging. *Radiology* 2000;215(2):470-475
5. Whittall KP, MacKay AL, Graeb DA, Nugent RA, Li DK, Paty DW. In vivo measurement of T2 distributions and water contents in normal human brain. *Magn Reson Med* 1997;37(1):34-43
6. Schwerdtfeger WK. Structure and fiber connections of the hippocampus. A comparative study. *Adv Anat Embryol Cell Biol* 1984;83:1-74
7. Duvernoy HM, Delon S, Vannson JL. Cortical blood vessels of the human brain. *Brain Res Bull* 1981;7(5):519-79
8. Vymazal J, Brooks RA, Baumgarner C, et al. The relation between brain iron and NMR relaxation times: an in vitro study. *Magn Reson Med* 1996;35(1):56-61
9. Michaeli S, Garwood M, Zhu XH, et al. Proton T2 relaxation study of water, N-acetylaspartate, and creatine in human brain using Hahn and Carr-Purcell spin echoes at 4T and 7T. *Magn Reson Med* 2002;47(4):629-633
10. Hirai T, Korogi Y, Sakamoto Y, Hamatake S, Ikushima I, Takahashi M. T2 shortening in the motor cortex: effect of aging and cerebrovascular diseases. *Radiology* 1996;199(3):799-803
11. Georgiades CS, Itoh R, Golay X, van Zijl PC, Melhem ER. MR imaging of the human brain at 1.5 T: regional variations in

- transverse relaxation rates in the cerebral cortex. AJNR Am J Neuroradiol 2001;22(9):1732-1737
12. Briellmann RS, Syngieniotis A, Jackson GD. Comparison of hippocampal volumetry at 1.5 tesla and at 3 tesla. Epilepsia 2001;42(8):1021-1024
13. Briellmann RS, Syngieniotis A, Fleming S, Kalnins RM, Abbott DF, Jackson GD. Increased anterior temporal lobe T2 times in cases of hippocampal sclerosis: a multi-echo T2 relaxometry study at 3 T. AJNR Am J Neuroradiol 2004;25(3):389-394
14. Pell GS, Briellmann RS, Waites AB, Abbott DF, Jackson GD. Voxel-based relaxometry: a new approach for analysis of T2 relaxometry changes in epilepsy. Neuroimage 2004;21(2):707-713

J. Korean Soc. Magn. Reson. Med. 15:67-71(2011)

T2 Relaxation Times of the Cingulate Cortex, Amygdaloid Body, Hippocampal Body, and Insular Cortex: Comparison of 1.5 T and 3.0 T

Ho-Joon Lee, Eung Yeop Kim

Department of Radiology, Research Institute of Radiologic Science, Yonsei University College of Medicine

Purpose : To compare T2 relaxation times (T2) in the cingulate cortex, amygdaloid body, hippocampal body, and insular cortex between 1.5T and 3.0T MR imagers.

Materials and Methods : Twelve healthy volunteers underwent FLAIR and CPMG imaging perpendicular to the hippocampal body at both 3.0T and 1.5T. T2 was measured in the cingulate cortex, amygdaloid body, hippocampal body, and insular cortex. The T2 relaxation time ratios of the cingulate cortex, insular cortex, and amygdaloid body to the hippocampal body were compared between 1.5T and 3.0T.

Results : The mean T2 of the cingulate cortex, amygdaloid body, hippocampal body, and insular cortex at 1.5T were 109.5 ± 3.1 , 117.0 ± 7.1 , 114.7 ± 2.4 , and 111.3 ± 2.4 , respectively; 99.7 ± 3.8 , 100.7 ± 4.3 , 97.9 ± 3.4 , and 96.2 ± 2.0 , respectively, at 3.0T. Percentage changes of T2 in the cingulate cortex, insular cortex, amygdaloid body, and hippocampal body at 3.0T with respect to those at 1.5T were -8.9%, -13.5%, -14.6%, and -13.5%, respectively. The mean T2 ratios of the cingulate gyrus, insular cortex, and amygdaloid body to the hippocampal body at 1.5T and 3.0T were 0.96 and 1.02 ($p = 0.003$); 1.02 and 1.03 ($p > 0.05$); 0.97 and 0.98 ($p > 0.05$), respectively.

Conclusion : T2 decrease in the cingulate cortex was less than the amygdaloid body, insular cortex, and hippocampal body at 3.0T. The mean T2 ratio of the cingulate gyrus to the hippocampal body was significantly different between 1.5T and 3.0T.

Index words : Magnetic resonance imaging (MRI)

Brain

T2 time

Amygdaloid body

Hippocampus

Address reprint requests to : Eung Yeop Kim, M.D., Department of Radiology, Research Institute of Radiological Science, Yonsei University College of Medicine, 250, Seongsan-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.
Tel. 82-2-2228-7400 Fax. 82-2-393-3035 E-mail: eungkim@yuhs.ac