

뇌피질 질환에서 뇌백질 신호 억제를 위한 중간시간 반전회복 영상 기법

정 경 호 · 이 정 민 · 김 종 수

목적 : 뇌백질 신호억제를 위한 중간시간 반전회복(Medium Tau Inversion Recovery, MTIR)영상에서 뇌회질과 뇌백질의 대조도를 다른 기법의 MR영상과 비교해 보고 뇌피질에 이상이 있는 환자에서 MTIR영상의 유용성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법 : 2명의 정상 지원자와 뇌피질 이형성증을 포함한 뇌피질 질환이 있는 21명을 대상으로 뇌회질과 뇌백질의 신호의 차이를 관심영역에서 대조도 백분율과 대조도 잡음비로 측정하여 MTIR영상과 여러 가지 다른 MR영상을 비교하였다. 또한 시각적으로 병변의 뚜렷함, 새로운 병변의 발견여부를 시각적으로 비교 평가하였다.

결과 : MTIR영상은 다른 MR영상에 비해 대조도 백분율, 대조도 잡음비가 높아 뇌회질과 뇌백질의 신호의 차이가 가장 뚜렷하였다. 신경이주이상을 포함한 21명의 뇌피질 환자에서는 MTIR영상에서 다른 영상보다 병변이 뚜렷하고 병변의 묘사(delineation)를 증가시켰으나 새로운 병변은 발견하지 못했다.

결론 : MTIR영상은 뇌회질과 뇌백질의 대조도를 증가시키는 영상 기법이며 뇌피질을 침범한 질환을 특히 뇌피질 이형성증의 병변을 매우 잘 나타냈다. 기존의 T1강조영상 또는 3D-MPRAGE에서 뇌피질-백질의 구별이 어려운 경우에는 보완적으로 이용가치가 있는 영상기법으로 생각된다.

서 론

반전회복(inversion recovery, IR) 영상 기법은 스핀에코(spin echo, SE) 영상 기법에서 90° 고주파펄스를 주기 전에 180° 고주파펄스를 가하는 방법이다. 180° 고주파펄스를 주고 T1-회복 곡선 상에서 각 조직의 영점(null point)을 알고 반전시간(inversion time, TI)을 조절하면 각 조직에서 나오는 신호를 억제할 수 있다(1-3). 짧은 반전시간 IR인 단시간 반전회복(short tau inversion recovery, STIR)은 지방조직의 신호가 억제되고 T1과 T2값이 증가된 일반적인 병변은 높은 신호강도로 나오게 된다(1,4-6). 긴 반전시간 IR인 액체감쇠 반전회복(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)은 뇌척수액의 신호가 억제되고 뇌실 주위나 뇌척수액 주위의 병변 발견율을 높인다(4,7-11). 이러한 반전시간 IR은 병변이 기대되는

주위조직의 신호를 억제하여 대조도를 증가시킴으로써 병변을 진단하는 데 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 뇌백질의 신호를 억제하는 중간시간 반전회복(Medium Tau Inversion Recovery, MTIR)영상기법과 다른 영상 기법을 비교하여 뇌회질과 뇌백질의 대조도, 그리고 뇌피질을 침범하는 질환에 있어 MTIR영상의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

모든 영상은 1.5-T MR장치(Vision, Siemens, Erlangen, Germany)로 촬영하였고, 정상 지원자 2명과 신경이주이상을 보인 13명을 포함한 뇌피질에 병변이 있는 21명의 환자들을 대상으로 하였다. 지원자 2명은 SE T1강조영상, 3차원 자화준비 고속경사에코획득(magnetization prepared rapid acquisition gradient echo, MPRAGE) T1강조영상, 터보스핀에

대한자기공명과학회지 3:60-65(1998)

전북대학교 의과대학 진단방사선과

*이 논문은 1998년도 전북대학교병원 임상연구비에 의해서 연구되었음.

접수 : 1998년 5월 11일, 채택 : 98년 10월 27일

통신저자 : 정경호 전라북도 전주시 덕진구 금암동 634-18

Tel. 82-652-250-1177 Fax. 82-652-272-0481

코(turbo spin echo, TSE) T2강조영상, STIR, FLAIR, MTIR영상을 시행하였고, 병변이 있는 21명의 환자는 TSE T2강조영상, FLAIR 및 MTIR영상을 모두 시행하였고 5명에서는 SE T1강조영상을, 간질을 호소한 16명에서는 3D-MPRAGE T1강조영상을 시행하였다. 간질환자 16명중 5명에서는 STIR영상을 추가로 시행하였다. SE T1강조영상은 TR : 520 ms, TE : 12 ms, 2 여기수(number-of-excitation, NEX), 142 × 256 행렬(matrix), 165x220mm 영상영역(field of view, FOV), 5mm 두께(scan time : 2min 31sec)로 얻었다. 3D-MPRAGE T1강조영상은 TR : 9.7 ms, TE : 4.0 ms, 숙입각 : 120, 223x256 행렬, 193×220mm FOV, 3mm 두께(scan time : 5min 46sec)로 얻었다. TSE T2강조영상은 TR : 4600 ms, TE : 99 ms, 에코열 길이(echo train length) : 11, 2 NEX, 286×512 행렬, 165×220mm FOV, 5mm 두께(scan time : 4min 03sec)로 얻었다. STIR영상은 TR : 5600 ms, TE : 60 ms, TI : 180 ms, 1 NEX, 154×256 행렬, 173×230mm FOV, 5mm 두께(scan time : 1min 24sec)로 얻었다. FLAIR영상은 TR : 9000 ms, TE : 119 ms, TI : 2200 ms, 140×256 행렬, 165×220mm FOV, 5mm 두께(scan time : 3min 09sec)로 얻었다. MTIR영상은 TR : 5600 ms, TE : 60 ms, TI : 250 ms, 1 NEX, 154 × 256 행렬, 173×230mm FOV, 5mm 두께(scan time : 1min 24sec)로 촬영하였다.

신호강도는 지원자 2명에서 측뇌실이 보이는 서로 다른 두개의 영상면을 선택하여 전두부, 측두부, 그리고 두정부의 뇌회질, 뇌백질에 관심영역(regions of interest)의 표식자(cursor)를 두고 측정하였다. 잡음(Noise)은 환자의 영상밖에 표식자를 위

치하여 측정하였다. 각 영상기법에서 대조도 백분율, 대조도대 잡음비(contrast-to-noise ratio, CNR)를 측정하였다. 대조도 백분율은 뇌회질과 뇌백질 사이의 신호강도 차이를 뇌백질(T1강조영상은 뇌회질)의 신호강도로 나누고 100을 곱하여 산출하였다. CNR은 뇌회질과 뇌백질의 신호강도의 차이를 잡음으로 나누어 산출하였다(1,3,8,11,15). MTIR영상과 STIR영상에서는 뇌회질과 뇌척수액 사이의 대조도 백분율과 CNR도 측정하였다. 병변이 있는 21명은 방사선과 전문의 2인이 비의존적으로 MTIR이 3D MPRAGE, SE T1강조영상 또는 FSE T2강조영상에 비하여 병변의 대조도가 좋음, 같음, 나쁨으로 분류하였고, 3D MPRAGE, SE T1강조영상 또는 FSE T2강조와 비교하여 MTIR에서 병변의 발견율을 시각적으로 비교하였다.

결 과

뇌회질과 뇌백질의 대조도 백분율은 MTIR : 290, T1 SE : 19, T1-MPRAGE : 36, T2 TSE : 49, STIR : 155, FLAIR : 36으로 측정되어 MTIR영상이 다른 영상보다 2-15 배정도 높았다. 뇌회질과 뇌백질의 CNR은 MTIR : 13.98, T1 SE : 7.05, T1-MPRAGE : 3.62, T2 TSE : 5.08, STIR : 14.6, FLAIR : 6.75로 MTIR영상의 CNR은 STIR영상과는 비슷했지만 그 외의 다른 영상보다 2-3배 높았다. 뇌회질과 주위의 뇌척수액에서는 MTIR영상의 대조도 백분율이 250, CNR이 46.4로 측정되었고 STIR영상의 대조도 백분율은 156, CNR이 37.4로 측정되었다. 시각적으로 21명 모두에서 T2 강조 영상보다 MTIR영상이 병변의 대조도가 좋았고, SE T1 영상을

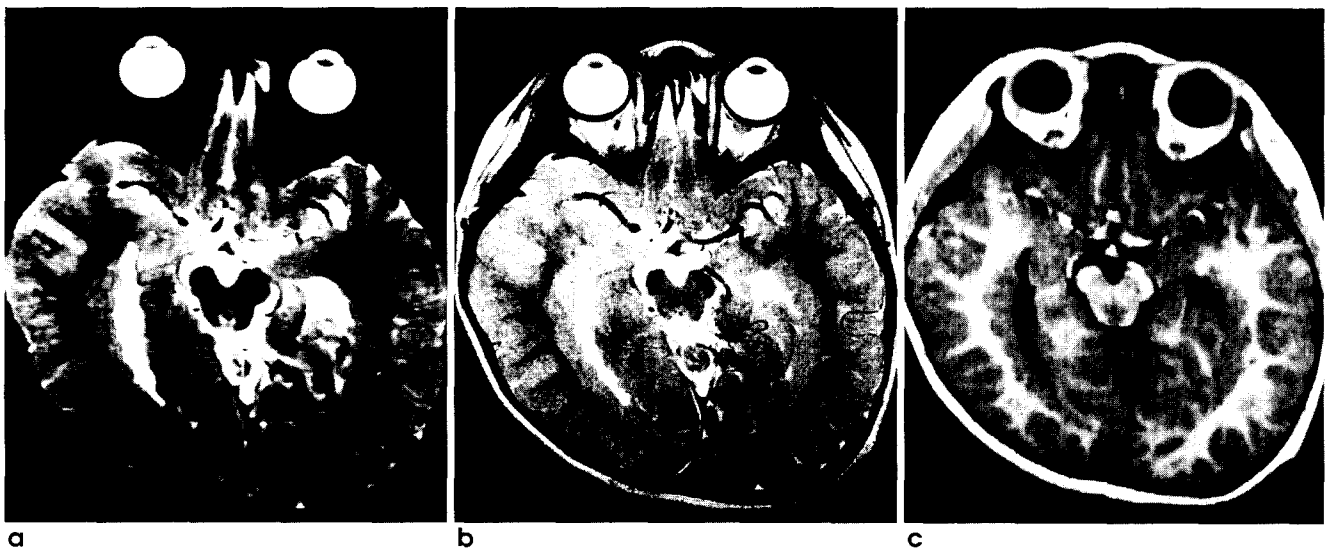


Fig. 1. A 3-year-old boy with heterotopic gray matter : MTIR(a), TSE T2-weighted(b), and 3D-MPRAGE T1-weighted(c) images. The areas of subependymal heterotopic gray matter are highlighted lining temporal horns of the both lateral ventricles in MTIR(a). The contrast between gray matter and white matter on (a) appears better than that on (b), and similar to that of (c).

정경호 외

촬영한 5명에서는 MTIR영상이 대조도가 좋았고 3D M-PRAGE를 찍은 16명중 13명에서는 MTIR영상의 대조도가 좋았고 3명에서는 같았다. 병변의 발견율은 T2와 T1 강조영상에서 보이는 병변은 MTIR에서 모두 발견이 되었지만 새로운 병변은 발견하지 못했다 (Fig. 1-4).

고 찰

IR영상은 시간이 많이 걸린다는 단점이 있어 흔히 이용되지 않았지만 이완증강급속획득(rapid acquisition with relaxation enhancement, RARE)에 기초를 둔 고속스핀에코(fast spin echo, FSE)가 출현한 후 이용빈도가 높아지고 있다(8,12). FSE의 시작전에 180° RF펄스를 더한 고속 IR기법은 기존의 IR보다 짧은 시간에 비슷한 영상 대조도를 가진 영상을 나타낸다(5,6,8).

기존의 IR과 다르게, 고속 IR은 특별한 조직의 신호를 억제하는데 사용 할 수 있다. 종축 자화가 음에서 양으로 회복되면서, 종축 자화는 영점(null point, TInull)을 지나게 된다. 이런 TInull에서 90° RF 펄스가 가해지면 TInull의 조직에서 나오는 횡축 자화가 없기 때문에 신호가 나오지 않게 된다(4). 원하는 조직에서 나오는 신호를 억제하기 위한 TInull은 T1의 0.56-0.69 또는 $TI = \ln 2 \times T1$ 로 계산할 수 있다(1,4,13,14).

IR 영상기법을 이용한 펄스시퀀스에는 STIR 기법, FLAIR 기법이 잘 알려져 있다.

STIR영상은 지방조직의 T1이 1.5 T 영상 기기에서 약 250 ms이므로 TInull 은 약 165 ms 주위의 값을 사용한다(1,4). 이런 영상 기법은 골격내의 골수, 경부, 안구주위, 뇌신경계에서 지방의 신호를 억제하여 병변의 뚜렷함을 증가시킬 수 있다(2,6,7,13-16). FLAIR영상은 1.5 T 영상 기기에서 뇌척수액의 T1이 1900-4300 ms이므로 뇌척수액의 TInull은 1700-

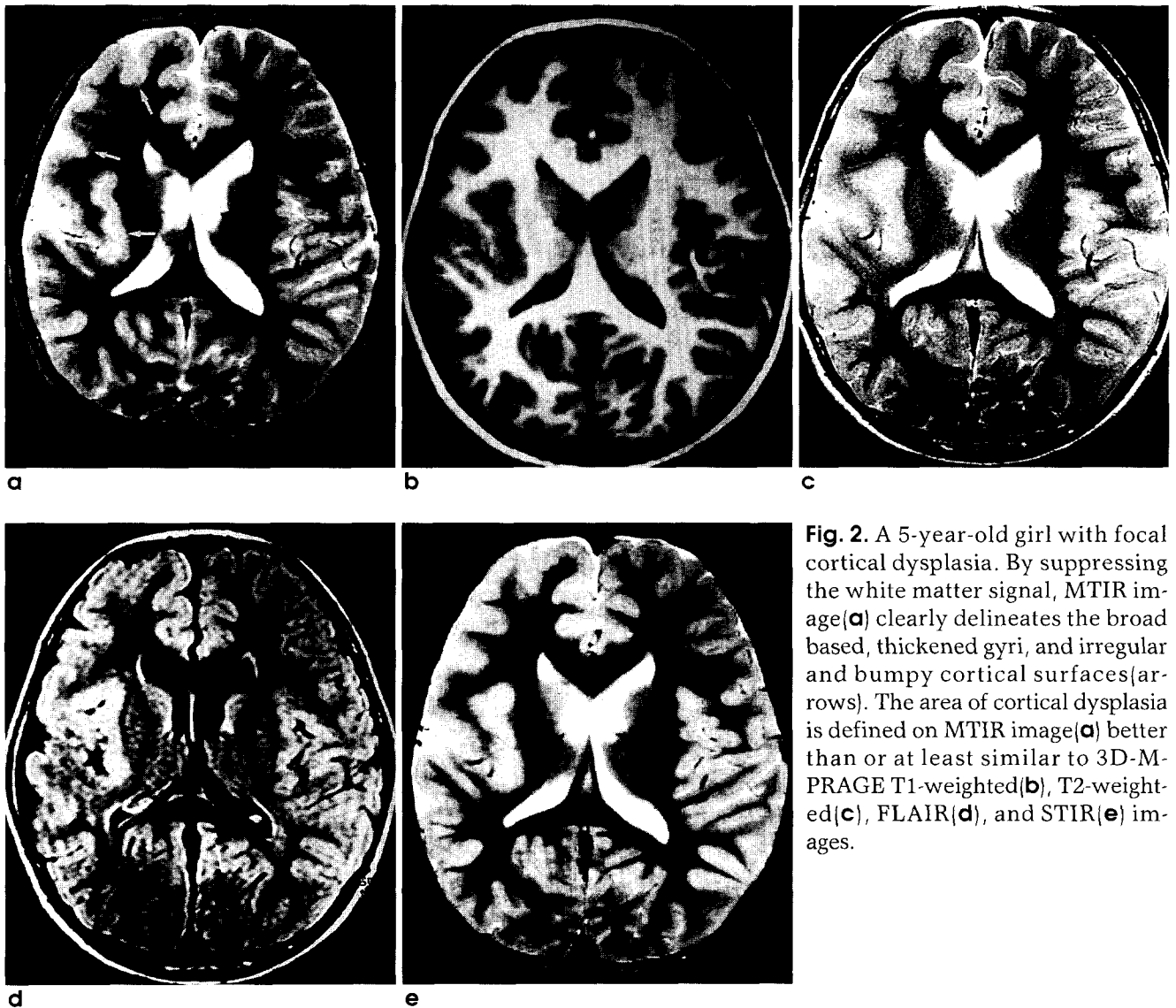


Fig. 2. A 5-year-old girl with focal cortical dysplasia. By suppressing the white matter signal, MTIR image(a) clearly delineates the broad based, thickened gyri, and irregular and bumpy cortical surfaces(arrows). The area of cortical dysplasia is defined on MTIR image(a) better than or at least similar to 3D-M-PRAGE T1-weighted(b), T2-weighted(c), FLAIR(d), and STIR(e) images.

2800 ms이다. 긴 TI를 사용하여 뇌척수액의 고신호를 억제하여 척수나 뇌실 주위의 병변을 평가하는데 매우 유용하며 특히 뇌척수액 주위의 뇌경색은 다른 어떤 영상 기법보다 뚜렷하게 병변을 표현 할 수 있다(4,7-11).

MTIR영상에서는 180° RF펄스를 주고 뇌백질의 T1회복 곡선의 TInull을 맞추는 데 1.5T 영상 기기에서 뇌백질의 T1이 510-560 ms이므로 TInull은 255ms-350ms가 적당하다(1,4,17). 이런 TInull때 뇌백질은 가장 낮은 신호강도로 그리고 뇌회질은 T1 회복시간이 길기 때문에 높은 신호강도로 보인다.



Fig. 3. A 12-year-old boy with pachygyria. MTIR image optimally depicts a few broad gyri with shallow sulci. Although the diagnosis in this case was obvious with other sequences, objective data confirmed superiority of the MTIR image.

다. 뇌척수액도 역시 높은 신호강도로 보이지만 T2강조영상 보다는 높지는 않다. 이런 영상 기법은 수질반전회복 억제기법 (Medullary inversion recovery suppression technique, MIST)이나 수초억제고속반전회복(Fast inversion recovery for myelin suppression, FIRMS) 등으로 이미 보고되었지만 본 연구에서는 뇌백질 신호억제 중간시간 반전회복(Medium Tau Inversion Recovery for white matter suppression, MTIR)으로 명명하였다(3,4,17). 이 영상 기법의 주된 장점은 뇌백질의 신호를 억제하여 뇌회질과 뇌백질의 대조도를 극대화시키는 것이다. 따라서 해마의 내적 구조물이 구별이 잘 되며 해마의 상면(superior surface)을 따라서 있는 얇은 뇌백질인 조(alveus)도 절묘하게 묘사가 되어 해마위축이 있는 환자에서 다른 MR영상 기법에서 보이지 않았던 조의 위축을 잘 볼 수 있다(3,17).

뇌MR영상은 뇌피질 이형성증을 진단하기에 가장 좋은 영상 방법이지만 뇌피질 이형성증의 일부에서는 MR영상에서 발견하기 어려운 경우가 있다(18-22). 이러한 뇌피질 이형성증을 진단하기 위해서는 뇌회질과 뇌백질 사이의 높은 대조도를 보이는 영상 기법이 필요하다. 분열뇌증(schizencephaly)에서는 뇌실 주위의 정상적인 뇌백질의 존재를 확인함으로써 감별에 도움이 되고, 이소성 회질증(gray matter heterotopia)의 내면의 모양 평가에 유용하며, 평편뇌증(lissencephaly)에서는 회(gyrus)의 뚜렷함을 증가시킨다(3). 저자들도 MTIR영상이 어느 영상 보다는도 뇌피질 이형성증에서 뇌회질과 뇌백질 사이의 높은 대조도를 보여 병변이 뚜렷하게 관찰이 되었지만 증례가 적어 새로운 병변을 발견하지는 못했다.

본 연구에서는 병변의 대조도의 측정에 있어 대조도 백분율과 CNR을 이용했지만 영상 대조도(image contrast, IC)와 대

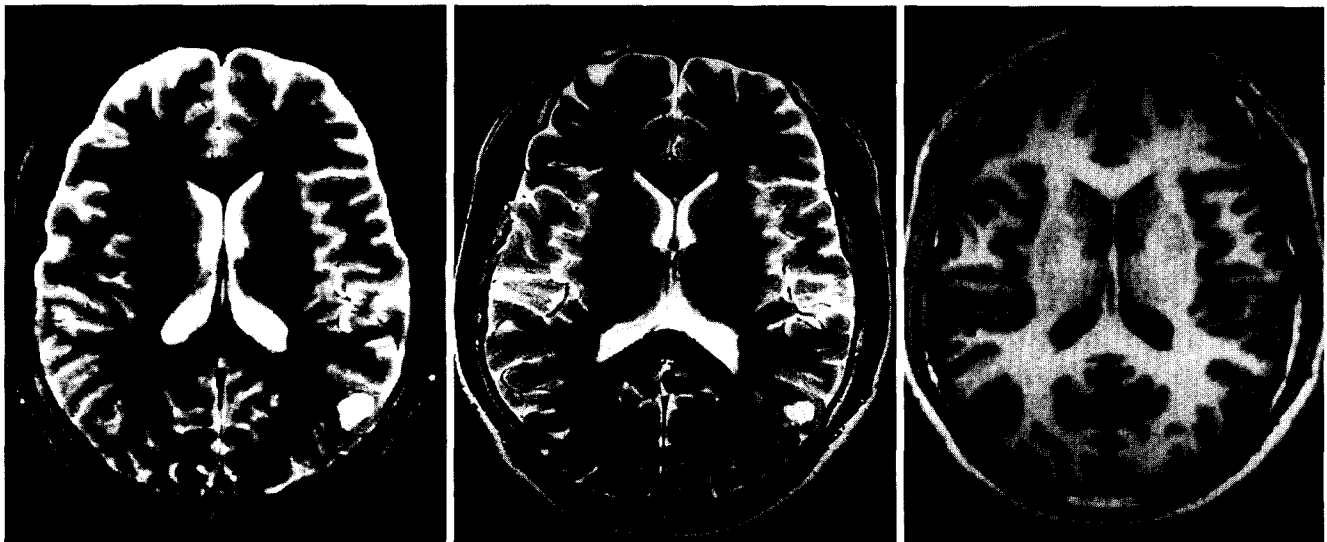


Fig. 4. A 23-year-old boy with cystic lesion : MTIR(A), TSE T2-weighted(B), and 3D-MPRAGE T1-weighted(C) images. The contrast between gray matter and white matter on (a) appears better than that on (b), and similar to that of (c). White-gray matter-CSF conspicuity in cystic lesion is seen better using MTIR image(a) than TSE T2-weighted(b).

조비(contrast ratio, CR)를 사용하여 분석 할 수도 있다. 이 때 IC는 뇌회질과 뇌백질사이의 신호강도의 차이이며 CR은 뇌회질의 신호강도를 뇌백질의 신호강도로 나누어 산출한다. 저자들의 경우에는 대조도 백분율과 CNR과 비슷하게 IC와 CR이 MTIR영상에서 다른 영상 기법보다 높았다. T1강조영상은 뇌백질의 신호강도가 뇌회질 신호강도보다 높으므로 뇌백질 신호강도와 뇌회질 신호강도를 바꾸어 똑같은 방법으로 산출하였다(3,8,12,14).

본 연구에서는 각 영상의 비교에 모든 조건을 똑같이 맞출 수가 없었다. 각 영상 기법마다 고유의 다양한 요소(parameter)가 존재하기 때문에 이런 요소들을 모두 똑같이 하는 데는 한계가 있었다. 또한 같은 영상 기법에서도 이러한 요소를 조절하기에 따라서 측정되는 수치가 다르기 때문에 일반적으로 임상에서 사용하고 있는 영상조건을 가지고 비교하였다.

조영증강 후 지방조직을 억제한 STIR영상은 정상적인 해부학적 구조물의 명확성을 증가시키고 병변의 경계가 더욱 분명해진다(13). 본 연구에서는 조영증강 후 MTIR영상을 촬영하지 않아 그 효과에 대해서는 연구할 필요가 있다. STIR영상은 뇌백질의 발달과정 중 6-14개월 사이의 피질하 뇌백질의 유수화(myelination)의 평가에 유용하고 뇌척수액과 뇌백질의 병변사이의 좋은 대조도를 보인다(4,16). MTIR영상도 뇌백질의 신호를 억제하므로 STIR영상과 같이 유수화의 평가에 도움이 될 것으로 기대된다.

결론적으로 MTIR영상은 뇌회질과 뇌백질의 대조도가 좋으므로 기존의 T1강조영상 또는 3D-MPRAGE에서 뇌회질-백질의 구별이 어려운 경우나 뇌회질의 병변이 분명하지 않을 때 보완적으로 이용가치가 있는 영상기법으로 생각된다. 특히 뇌회질이 형성중이 임상적으로 의심이 되나 기존의 영상기법으로 병변이 확실하지 않을 때 진단에 도움을 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Atlas SW, Grossman RI, Hackney DB, Goldberg HI, Bilaniuk LT, Zimmerman RA. STIR MR imaging of the orbit. *AJR* 1988;151:1515-1525
2. Jones KM, Schwartz RB, Mantello MT, et al. Fast spin-echo MR in the detection of vertebral metastases: comparison of three sequences. *AJNR* 1994;15:401-407
3. Wolansky LJ, Evans A, Belitsis K, et al. Fast inversion recovery for myelin suppression. A new MRI pulse sequence for highlighting cerebral gray matter. *Clinical Imaging* 1996;20:164-170
4. Bydder GM, Young IR. MR imaging: clinical use of the inversion recovery sequence. *J Comput Assist Tomogr* 1985;9:659-675
5. Smith RC, Constable RT, Reinhol C, McCauley T, Lange RC, McCarthy S. Fast spin echo STIR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1994;18:209-213
6. Thorpe JW, MacManus DG, Kendall BE, et al. Short tau inversion recovery fast spin echo(fast STIR) imaging of the spinal cord in multiple sclerosis. *Magn Reson Imaging* 1994;12:983-

989

7. Hajnal JV, Bryant DJ, Kasuboski L, et al. Use of fluid attenuated inversion recovery(FLAIR) pulse sequences in MRI of the brain. *J Comput Assist Tomogr* 1992;16:841-844
8. Hajnal JV, Kasuboski L, deSouza NM, Bydder GM. Magnetic resonance imaging: spinal cord imaging with the turbo-fluid attenuated inversion recovery(FLAIR) pulse sequence. *Clin Radiol* 1995;50:1-5
9. De Coene B, Hajnal JV, Pennock JM, Bydder GM. MRI of the brain stem using fluid attenuated inversion recovery pulse sequences. *Neuroradiology* 1993;35:327-331
10. De Coene B, Hajnal JV, Gatehouse P, et al. MR of the brain using fluid-attenuated inversion recovery(FLAIR) pulse sequences. *AJNR* 1992;13:1555-1564
11. Rydberg JN, Hammond CA, Grimm RC, et al. Initial clinical experience in MR imaging of the brain with a fast fluid-attenuated inversion-recovery pulse sequence. *Radiology* 1994;193:173-180
12. Constable RT, Smith RC, Gore JC. Signal-to-noise and contrast in fast spin echo(FSE) and inversion recovery FSE imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1992;16:41-47
13. Tien RD. Fat-suppression MR imaging in neuroradiology: techniques and clinical application. *AJR* 1992;158:369-379
14. Mehta RC, Marks MP, Hinks RS, Glover GH, Enzmann DR. MR evaluation of vertebral metastases: T1-weighted short-inversion-time inversion recovery, fast spin-echo, and inversion recovery fast spin-echo sequences. *AJNR* 1995;16:281-288
15. Weinberger E, Shaw DWW, White KS, et al. Nontraumatic pediatric musculoskeletal MR imaging: comparison of conventional and fast-spin-echo short inversion time inversion-recovery technique. *Radiology* 1995;194:721-726
16. Hittmair K, Wimberger D, Rand T, et al. MR assessment of brain maturation: comparison of sequences. *AJR* 1994;15:425-433
17. Maravilla KR. Advances in MRI and MRS evaluation of temporal lobe epilepsy. The 7th international symposium: basic and clinical aspects of epilepsy. Kwangju : The Research Institute of Medical Science Chonnam National University, 1997:49-62
18. Barth PG. Schizencephaly and nonlissencephalic cortical dysplasias. *AJNR* 1992;13:104-106
19. Palmieri A, Andermann F, Olivier A, et al. Focal neuronal migration disorders and intractable partial epilepsy: a study of 30 patients. *Ann Neurol* 1991;30:741-749
20. Kuzniecky R, Garcia JH, Faught E, Morawetz RB. Cortical dysplasia in temporal lobe epilepsy: magnetic resonance imaging correlations. *Ann Neurol* 1991;29:293-298
21. Raymond AA, Fish DR, Sisodiya SM, Alsanjari N, Stevens JM, Shorvon SD. Abnormalities of gyration, heterotopias, tuberous sclerosis, focal cortical dysplasia, microdysgenesis, dysembryoplastic neuroepithelial tumor and dysgenesis of the archicortex in epilepsy. clinical, EEG and neuroimaging features in 100 adult patients. *Brain* 1995;118:629-660
22. Hirabayashi S, Binnie CD, Janota I, Polkey CE. Surgical treatment of epilepsy due to cortical dysplasia: clinical and EEG findings. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1993;56:765-770

Medium Tau Inversion Recovery(MTIR) Sequence for White Matter Suppression in Brain Cortical Lesions

Gyung Ho Chung, Jeong Min Lee, Chong Soo Kim

Department of Diagnostic Radiology Chonbuk National University Medical School.

Purpose : The purpose of this study was to evaluate the image quality, contrast characteristics, and possible clinical utility of Medium Tau Inversion Recovery(MTIR) sequence with white matter suppression in patients with brain cortical lesion.

Materials and methods : Two normal volunteers and twenty-one patients with cortical lesion were scanned with MTIR as well as other MR imaging sequences. Gray-white matter contrast was evaluated objectively using region-of-interest calculations, including percent contrast and contrast-to-noise ratio(CNR). MTIR sequence was visually compared with other sequences in 21 patients with cortical lesion including conspicuity and detection rate.

Results : MTIR sequence had the highest percent contrast and CNR between the gray matter and white matter. In twenty-one cases of cortical lesion including cortical dysplasia, MTIR sequence improved delineation and conspicuity of lesion, but MTIR sequence could not detect new lesions.

Conclusion : MTIR sequence demonstrated a superior percent contrast and CNR to other MR pulse sequences. The MTIR sequence well delineated the cortical lesions, particularly in including cortical dysplasia. It may be used as an adjunctive imaging sequence in case of poor gray and white matter differentiation with conventional T1-weighted sequences.

Index words : Brain, Migration anomalies
Brain, MR studies
Fast spin echo, Inversion recovery,
White matter

Address reprint requests to : Gyung Ho Chung, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Chonbuk National University College of Medicine, #634-18, Keumam-dong, Chonju, 561-712, Korea.
Tel. 82-652-250-1177 Fax 82-652-272-0481