

자화전이조영을 이용한 요추간판의 초기 퇴행성 변화에 대한 자기공명영상의 연구¹

정태섭 · 정은기 · 김영수² · 김태훈 · 권혁우

목 적: 추간판의 섬유륜과 수핵의 자화전이율(MTR)을 측정하므로써 추간판의 초기 퇴행성 변화에 대한 지표로써 자화전이율의 이용가치를 알아보기 위하여 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법: 42명 환자 총 210개 요추간판에서 자화전이영상을 시행하였다. 1.0T Siemens사 MR촬영기를 사용하였으며 TR/TE를 600/14로 표준화한 후 통상 spin echo 영상을 얻었고 같은 조건에서 자화전이파장을 사용하여 자화전이 영상을 얻었다. 자화전이율 $[(Slo-SIm)/Slo \times 100]$ 은 각요추간판의 전반부 섬유륜과 수핵의 두 부위에서 saturation-no saturation 영상간에 관심영역을 설정한 후 비교측정 계산하였다. T2강조영상에서 정상과 grade I-IV까지의 퇴행성 추간판 사이의 관련성을 자화전이율의 변화와 비교 연구하였다.

결 과: 정상 수핵의 자화전이율은 17.6%이었으며 퇴행성 grade I-IV까지의 자화전이율은 각각 26.7%, 28.4%, 29.1%, 29.7%로 의미있는 변화가 있었다. 정상 섬유륜의 자화전이율은 30.2%이었으며 퇴행성 grade I-IV까지 섬유륜의 자화전이율은 각각 31.5%, 33.2%, 32.1%, 35.6%로 의미있는 변화가 없었다.

결 론: 정상추간판 수핵의 자화전이율에 비해서 퇴행성추간판 수핵의 자화전이율이 의미있게 증가하므로, 수핵부위에서 자화전이율의 증가는 수핵의 퇴행성변화를 시사하는 중요한 조기지표의 하나가 될 수 있을 것으로 사료된다.

서 론

자화전이영상기법(magnetization transfer imaging: MTI)은 주로 자기공명혈관조영술시 배경신호(background signal)를 감소시켜 상대적으로 혈관내 혈액유동의 신호가 강조되게 이용되는 자기공명영상의 한 방법이다(1). 이 기법은 off-resonance radio frequency saturation pulse를 이용하여 거대분자에 결합된 수소핵을 선택적으로 포화시킴으로써 신호강도의 변화를 얻을 수 있는 새로운 영상기법이다(2, 3). 새로운 감각의 영상을 얻을 수 있을 뿐만아니라 자화전이율(magnetization transfer ratio: MTR)을 계산함으로써 조직학적 변화의 반 정성적(semiquantitative) 분석도 가능하여 스펙트로스코피와 유사하게 조직 구성성분의 변화를 예측 가능하게 할 것으로 사료된다(4). 자화전이율의 변화는 조직내 거대분자의 상황

을 간접적으로 시사하는 증거가 될 수 있다. 이러한 의미로써 현재 이 기법이 임상적으로 다양하게 이용되어 근육(5, 6), 연골부위(5), 심장근육(6), 두뇌(2, 7), 간(8), 혈종(6, 9)등에 보고되었다.

추간판 탈출증의 경우 최근 경추부위의 보고가 있어서 간단히 소개가 되었으나(10), 요추간판의 탈출증과 퇴행성 변화에 대한 보고는 전무한 상태이다. 정상 추간판의 수핵은 수분이 많은 겔(gel)형태의 제2형 collagen 이나 퇴행성 변화가 진행되면서 점차 탈수화 현상이 일어나고 섬유륜과 유사한 제1형 collagen으로 변하게 된다(11-13). 또한 추간판 퇴행성변화시 수핵의 탈수화 현상의 진행과 동시에 섬유륜의 점액성 변성(myxoid degeneration)이 진행된다(12). 정상섬유륜은 약 70개 정도의 동원성 섬유연골(fibrocartilage)판조직이 겔형태의 수핵을 감싸고 있으며 수핵보다 수분 함유율이 반정도 낮다(13). 이와 같은 구조적 특성으로 인해 정상 추간판이 퇴행성추간판으로 진행되는 과정에서 수핵과 섬유륜 사이에서 의미있는 자화전이율의 차이를 나타낼 가능성이 높겠다.

본 저자들은 정상 요추간판에 있어서 섬유륜과 수핵의 T1 강조 영상에서 자화전이율을 측정하며 이에 대해 퇴행성 요추간판의 섬유륜과 수핵의 자화전이율을 측정 비교

¹연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실

²연세대학교 의과대학 신경외과학교실

본 논문은 1993년도 연세대학교 의과대학 일반과제 연구비 지원으로 이루어진 것임.

이 논문은 1995년 4월 26일 접수하여 1995년 6월 13일에 채택되었음

하드로써 초기 퇴행성 변화시 예상되는 추간판의 변화를 반정성적(semiquantitative) 개념으로 연구하고자 하였다.

대상 및 방법

본 연구는 총 39명의 환자와 3명의 정상 지원자에서 210개 요추간판을 대상으로 1.0T 자기공명영상장치(Magnetom 42SP, Siemens, Erlangen, Germany)를 이용하여 11번 흉추에서 5번 천추까지 부위에서 시상면 영상(sagittal image)을 얻었다. 자화전이영상(magnetization transfer image)은 TR/TE가 600/14인 T1강조영상을 기준으로 모든 환자에서 동일하였다. 이때 사용한 자화전이 파장은 독일 Siemens사에서 제공받은 software로서 그 제원은 offset이 1000Hz, bandwidth가 250Hz, length가 8msec인 특성을 가지고 있다. 각각 영상의 제원(parameter)은 FOV(field of view)가 280mm, slice thickness가 4mm, matrix가 192 × 256, acquisition 3회였다.

각 환자마다 동일한 요추부위에서 T1강조영상과 이에 동일한 조건의 시상면 자화전이영상을 얻었다. 정중시상면에서 5개의 요추간판 모두에서 섬유륜과 수핵부위에 관심영역(region of interest: ROI)을 지정하여 각각 1회씩 신호강도를 측정하였다. 관심영역은 면적이 0.6cm²의 원형모양을 모든 환자에서 동일하게 이용하였다. 이런 측정 신호강도를 이용하여 자화전이율(magnetization transfer ratio: MTR)을 계산하였다. MTR(%)은 (SIo-SIm)/SIo × 100으로 나타내며 여기서 SIo는 MT를 적용하지 않았을 경우의 관심영역내 신호강도이고 SIm은 MT를 사용하였을 경우의 관심영역내 신호강도이다.

요추간판의 퇴행성 변화정도는 Ostrum(13)등이 제시한 시상면 T2강조영상에서 수핵의 탈수화에 따른 신호감

소의 정도와 변화에 따라서 grade I에서 IV까지 분류하였다(Table 1). 42명 환자의 총 210개 요추간판을 정상 및 퇴행성 변화 grade I-IV의 5부류로 T2강조 영상에서 분류하였으며, 각 요추간판마다 섬유륜과 수핵부위에서 자화전이율(MTR)을 측정하였다. 이렇게 하여 얻어진 자료는 평균 및 표준편차를 구하였고 각각의 정상 및 퇴행성 정도에 따른 MTR의 값이 집단간에 통계학적으로 의미있는 차이가 있는지 알아보기 위하여 ANOVA test를 이용하였으며 동일한 조건에서 섬유륜과 수핵간에 자화전이율의 차이가 있는지 알아보기 위하여 Student T-test를 사용하여 검증하였다.

결 과

전체 39명의 환자와 3명의 정상지원자의 210예 요추간판중 T2강조시상면 영상에서 Table 1의 기준상 정상추간판이 90예, 퇴행성변화 grade I (Fig. 1)이 40예, grade II (Fig. 1)가 39예, grade III (Fig. 2)가 33예, grade IV가 8예이었다. 퇴행성변화 grade I-IV 120예중 추간판탈출증과 동반된 경우가 43예이며 그외 77예는 단순한 추간판퇴행증만 있었다. 자화전이율(MTR)은 정상추간판 90예의 수핵에서 평균 17.6%인데 퇴행성이 진행된 grade I-IV에서 각각 26.7%, 28.4%, 29.1%, 29.7%로 모두 Student T-test상 p<.05로써 신뢰성이 있게 증가되었다. 그러나 같은 대상에서의 섬유륜에서 정상이 평균 30.2%인데 퇴행성이 grade I-IV인 섬유륜에서 각각 31.5%, 33.2%, 32.1%, 35.6%로 grade IV만 p<.05이었을 뿐 모두 P>.05로써 전체적으로 의미있는 MTR의 증가는 없었다(Table 2).

추간판 탈출증과 동반된 43예의 추간판 퇴행증중 6예에서 transligamentous형의 자유분절형(free fragment type) 추간판탈출증이 있었다. 이들 6예중 발병 2주 이내이며 다른 추간판이 정상인 2예의 자유분절부(free fragment portion) 수핵은 15.4%와 19.3% MTR을 보인 반면 발병 1개월이 지나거나 다른 추간판의 퇴행성 변화가 동반된 4예에서는 22.5%, 25.1%, 25.9%와 34.2%로 자화전이율이 증가되었다.

고 찰

추간판의 퇴행성 변화가 생기게 되면 수핵에서 수분의

Table 1. Signal Loss of the Nucleus Pulposus(NP) According to Grading of Degeneration on Sagittal T2WI

Grade	Signal loss of the NP*
O	Normal
I	Minimal
II	Definite
III	Complete
IV	Complete loss of disk height (Internal disruption)

NP*: Nucleus pulposus

Table 2. Mean Magnetization Transfer Ratio (mMTR) in 210 Disks of 90 Normal Disks and 120 Degenerative Disks

		Annulus Fibrosus		Nucleus Pulposus	
		Mean MTR(%)	p Values	Mean MTR(%)	p Values
Normal disks (n=90)		30.2		17.6	
Degenerative disks	Grade I (n=40)	31.5	.345	26.7	<.0001
	Grade II (n=39)	33.2	.062	28.4	<.0001
	Grade III (n=33)	32.1	.282	29.1	<.0001
	Grade IV (n= 8)	35.6	.02	29.7	.041

소실과 섬유조직의 축적으로 추간반의 용적이 줄어들게 되며 T2강조영상에서 신호가 줄어드는 현상이 생기게 된다(11-13). 이러한 현상으로 정상 추간판의 경우 수핵이

T1강조영상에서 검게 T2강조영상에서 밝게 보이게 되어, 즉 수핵이 수분이 많은 gel형태의 물질이란 것을 간접적으로 의미하게 된다. 자화전이현상의 경우는 종전의 자기공

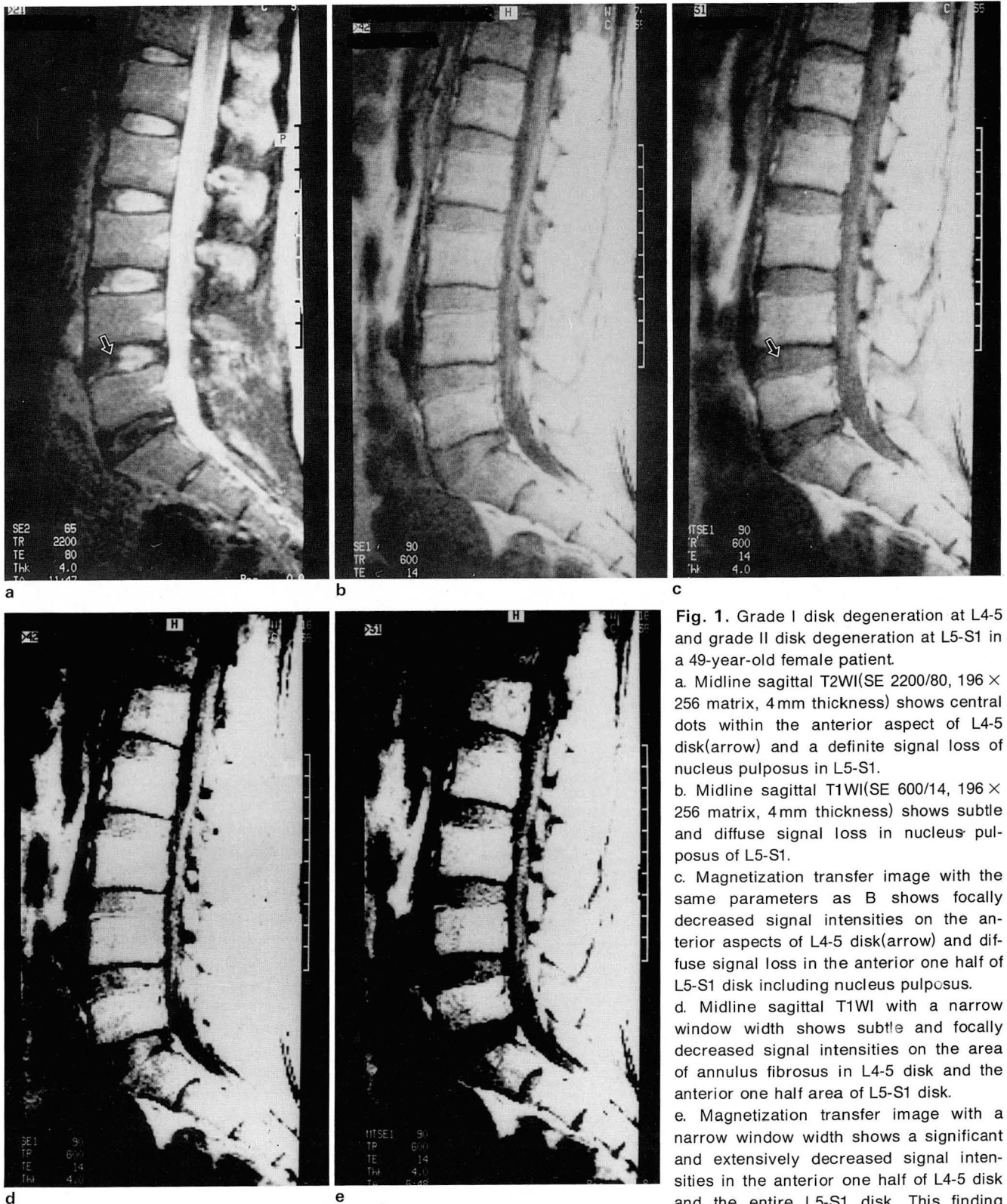


Fig. 1. Grade I disk degeneration at L4-5 and grade II disk degeneration at L5-S1 in a 49-year-old female patient.
a. Midline sagittal T2WI(SE 2200/80, 196 × 256 matrix, 4mm thickness) shows central dots within the anterior aspect of L4-5 disk(arrow) and a definite signal loss of nucleus pulposus in L5-S1.
b. Midline sagittal T1WI(SE 600/14, 196 × 256 matrix, 4mm thickness) shows subtle and diffuse signal loss in nucleus pulposus of L5-S1.
c. Magnetization transfer image with the same parameters as B shows focally decreased signal intensities on the anterior aspects of L4-5 disk(arrow) and diffuse signal loss in the anterior one half of L5-S1 disk including nucleus pulposus.
d. Midline sagittal T1WI with a narrow window width shows subtle and focally decreased signal intensities on the area of annulus fibrosus in L4-5 disk and the anterior one half area of L5-S1 disk.
e. Magnetization transfer image with a narrow window width shows a significant and extensively decreased signal intensities in the anterior one half of L4-5 disk and the entire L5-S1 disk. This finding

suggests stronger magnetization transfer effect as shown as decreased signal intensities in the degenerated portion of nucleus pulposus. Compare the degenerative disks of L4-5 and L5-S1 with normal L2-3 and L3-4 levels.

명영상의 기법에 off-resonance radio frequency saturation pulse를 이용하여 거대분자에 결합된 수소핵을 선택적으로 포화시킴으로써 신호강도의 변화를 얻고자 하는 새로운 기법이다(2, 3). 자화전이영상(MTI)법에서 특히 두뇌의 수초(myelin)가 거대분자를 고정시키는 역할을 하

므로 백질의 자화전이율(MTR)이 회백질 보다 높게 나타난다(2). 수분성분이 많거나 액체 성분의 유동성이 많은 조직에서는 상대적으로 자화전이율이 낮게 나타날 수 있다(5, 6). 추간판의 해부학적 구조는 정상 섬유륜의 경우 약 70개 정도의 동원성 섬유연골(fibrocartilage)판조직이

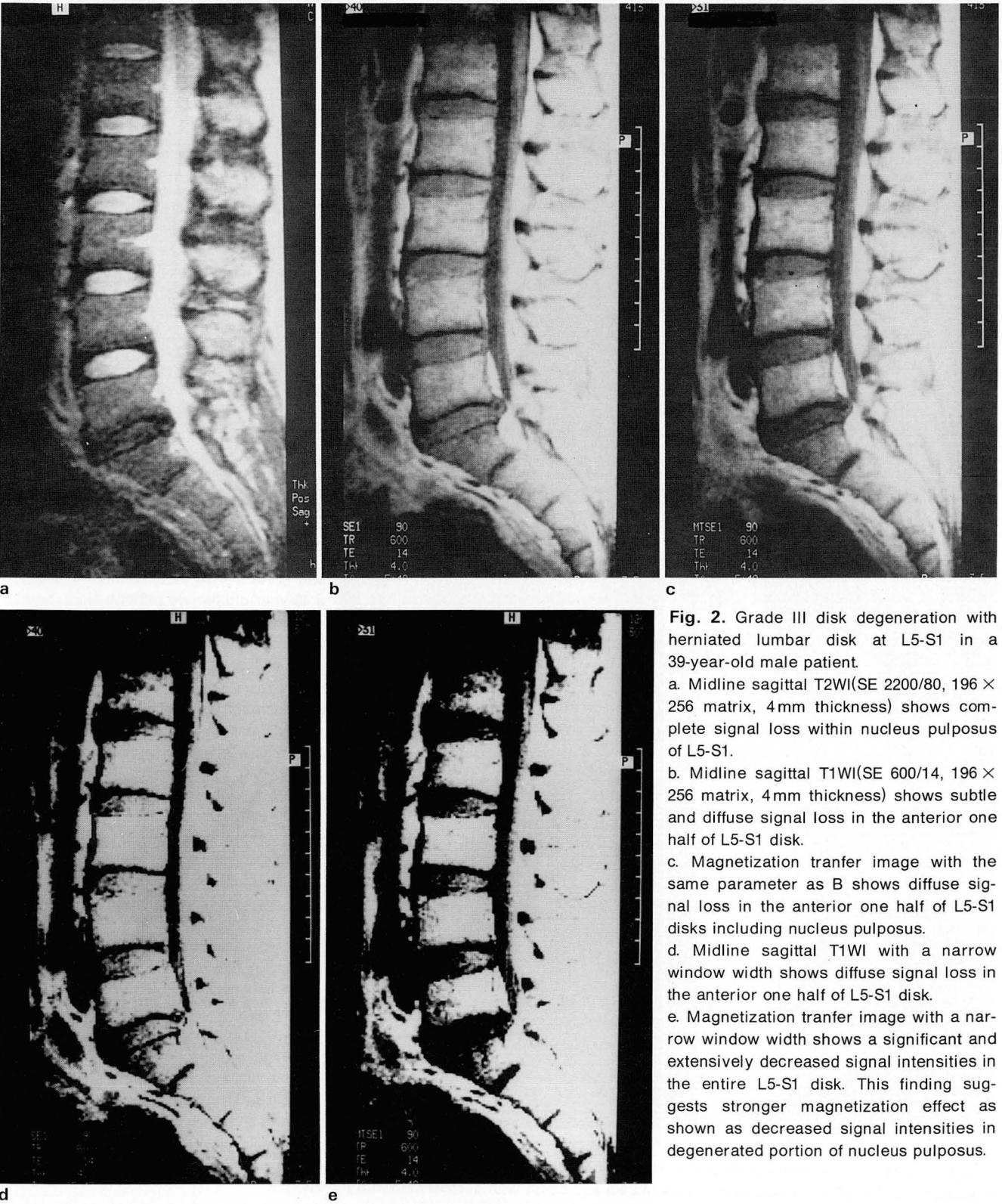


Fig. 2. Grade III disk degeneration with herniated lumbar disk at L5-S1 in a 39-year-old male patient.
a. Midline sagittal T2WI(SE 2200/80, 196 × 256 matrix, 4mm thickness) shows complete signal loss within nucleus pulposus of L5-S1.
b. Midline sagittal T1WI(SE 600/14, 196 × 256 matrix, 4mm thickness) shows subtle and diffuse signal loss in the anterior one half of L5-S1 disk.
c. Magnetization transfer image with the same parameter as B shows diffuse signal loss in the anterior one half of L5-S1 disks including nucleus pulposus.
d. Midline sagittal T1WI with a narrow window width shows diffuse signal loss in the anterior one half of L5-S1 disk.
e. Magnetization transfer image with a narrow window width shows a significant and extensively decreased signal intensities in the entire L5-S1 disk. This finding suggests stronger magnetization effect as shown as decreased signal intensities in degenerated portion of nucleus pulposus.

둘러싸고 있으므로 두뇌의 수초(myelin)와 같이 거대분자를 고정화 시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있었다. 수핵의 경우 반고형성의 gel형 물질로 섬유륜보다 50-100%정도 수분함유량이 많으므로 상대적으로 자화전이율(MTR)의 감소가 예상된다. 90예의 정상추간판의 섬유륜에서 30.2%, 수핵에서 17.6%의 평균 자화전이율이 계산되어 (Table 2) 실제 해부구조적, 화학성분 내용과 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 섬유륜에서의 퇴행성 변화는 주로 점액성변성(myxoid degeneration)이 생기지만 기본적인 동원성 섬유연골(fibrocartilage)의 손실은 없기 때문에(12) 자화전이율의 많은 변화는 없을 것으로 예상되었다. 실제 Table 2에서 보면 섬유륜의 경우 정상에 비해서 퇴행성 추간판 grade I - III에서 자화전이율의 증가는 의미가 없는 것으로 표현되었다($P>.05$). Grade IV의 퇴행성추간판에서 섬유륜의 자화전이율이 35.6%($P=0.02$)로 증가되는 추세를 보였으나 실제로는 적은 숫자의($n=8$) 대상에서 심한 퇴행성 변화로 용적이 줄어들어 정확한 관심영역을 설정하기가 힘들었으므로 상대적인 신뢰성은 낮을 것으로 보인다. 수핵의 퇴행성 변화시 탈수화현상과 섬유화현상도 생기지만 신생혈관증식과 변연의 섬유연골(fibrocartilage)의 증식이 생기게 되므로(14) 상대적으로 반유동성의 gel 성질이 소실되며 거대분자가 고정될 수 있는 고형질로 바뀌는 것을 시사할 수 있다. 이러한 현상이 자화전이율의 증가와 연관된다면 이제까지 추간판 퇴행성 변화의 기준이 된 T2강조영상에서의 신호소실에 기초한 소견 및 분류 (Table 1)보다도 수핵의 퇴행성 변화를 확인하는데 더 민감한 지표가 될 수도 있을 것으로 예측된다. 정상 수핵 90예에서는 평균 자화전이율 (MTR)이 17.6%가 나온 반면 초기 퇴행성 변화가 생긴 grade I부터 IV까지는 26.7%, 28.4%, 29.1%, 29.7%로 증가되어($P<.05$) 자화전이율의 상승변화가 추간판 퇴행성에 대한 아주 민감한 지수가 될 수 있을 것으로 보인다.

자유분절형(free fragment type)의 추간반탈출증이 6예 있었는데 비록 숫자는 적었으나 다른 추간판에 퇴행성변화가 없으며 발병 초기 2주내에 검사한 2예에서는 탈출된 수핵의 자화전이율이 15.4%와 19.3%로 정상범위이었으나 발병 1개월이 지나거나 다른 추간판의 퇴행성변화가 동반된 4예에서는 22.5%, 25.1%, 25.9%와 34.2%로 자화전이율이 증가되고 있어 수핵의 퇴행성 변화와 자화전이율의 상승이 서로 민감한 상관관계가 있는 것을 의미하겠다.

결론적으로 수핵의 퇴행성변화에 따른 T2강조영상에서 신호강도에 영향을 줄 수 있는 탈수화 변화가 생기는 시기나 또는 그 이전에 gel형질의 소실 및 거대분자의 고정화

가 생길 가능성이 매우 높겠다. 따라서 수핵에서 자화전이율(MTR)의 상승은 수핵의 퇴행성변화를 시사할 수 있는 매우 민감한 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

알림 : 금성의로기 주식회사 박명주 과장의 기술지도에
진심으로 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. Edelman RR, Ahn SS, Chien D, et al. Improved Time-of-Flight MR angiography of the brain with magnetization transfer contrast. *Radiology* **1992**;184:395-399
2. Grossman RI, Gomori JM, Ramer KN, Lexa FJ, Schnall MD. Magnetization transfer: Theory and clinical application in neuroradiology. *RadioGraphics* **1994**;14:279-290
3. Yeung HN, Aisen AM. Magnetization transfer contrast with periodic pulsed saturation. *Radiology* **1992**;183:209-214
4. 전태주, 정태섭, 정은기등. 정상뇌조직에 있어서 TR/TE의 변화에 따른 자화전이율의 변화. *대한방사선의학회지* **1995**;32:535-540
5. Wolff SD, Chesnick S, Frank JA, Lim KO, Balaban RS. Magnetization transfer contrast: MR imaging of the knee. *Radiology* **1991**;179:623-628
6. Ceckler TL, Wolff SD, Yip V, Simon SA, Balaban RS. Dynamic and chemical factors affecting water proton relaxation by macromolecules. *J Magn Reson Imaging* **1992**;98:637-645
7. Dousset V, Grossman RI, Ramer KN, et al. Experimental allergic encephalomyelitis and multiple sclerosis: lesion characterization with magnetization transfer imaging. *Radiology* **1992**;182:483-491
8. Outwater E, Schnall MD, Braitman LE, Dinsmore BJ, Kressel HY. Magnetization transfer of hepatic lesions: evaluation of a novel contrast technique in the abdomen. *Radiology* **1992**;182:535-540
9. Lin W, Tkach JA, Haacke EM, Masaryk TJ. Intracranial MR angiography: application of magnetization transfer contrast and fat saturation to short gradient-echo. *Radiology* **1993**;186:753-761
10. Finelli DA, Hurst GC, Karaman BA, Simon JE, Duerk JL, Bellon EM. Use of magnetization transfer for improved contrast on gradient echo MR images of the cervical spine. *Radiology* **1994**;193:165-171
11. Schiebler ML, Grenier N, Fallon M, et al. Normal and degenerated intervertebral disk: in vivo, in vitro MR imaging with histopathologic correlation. *AJR* **1991**;157:93-97
12. Manelfe C. *Imaging of the spine and spinal cord*. 1st ed. New York: Raven Press, **1992**;262-265
13. Ostrum BJ, Romy M, Swartz JD. Pathophysiological basis of lumbar disc degeneration: imaging analysis. *Semin Ultrasound CT MR* **1993**;14:399-403
14. Weidner N, Rice DT. Intervertebral disk material: Criteria for determining probable prolapse. *Human Pathol* **1988**;19:406-410

MRI Study about the Early Changes of Lumbar Disk Degeneration using Magnetization Transfer Contrast (MTC)¹

Tae-Sub Chung, M.D., Eun-Kee Jeong, Ph.D., Young-Soo Kim, M.D.²,
Tae-Hoon Kim, M.D., Hyuk-Woo Kwon, R.T.

¹ Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine

² Department of Neurosurgery, Yonsei University College of Medicine

Purpose: To obtain magnetization transfer ratio(MTR) of the annulus fibrosus and nucleus pulposus and to assess the feasibility of utilizing the changes of these MTRs as an early indicator of disk degeneration.

Materials and Methods: MR images of lumbar spine with magnetization transfer(MT) technique in 42 patients were obtained. spin echo techniques (600/14) with same TR/TE with 1KHz off-resonance saturation were employed in 1.0T MR system. MTRs were calculated in two regions, anterior annulus fibrosus and nucleus pulposus, and the results were compared between the normal and degenerative disks, from grade I to IV, on T2-weighted images.

Results: MTRs of the nucleus pulposus were 17.6% in the normal disks, and 26.7%, 28.4%, 29.1%, 29.7% in degenerative disks, from grade I to IV, respectively, with a significant difference($P < 0.05$). On the other hand, MTRs in the annulus fibrosus were 30.2% in the normal disks and 31.5%, 33.2%, 32.1% and 35.6% in degenerative disks, from grade I to IV, respectively, without significant difference.

Conclusion: Since MTRs are significantly higher in degenerative nucleus pulposus than those of the normal disks, increased MTRs in the nucleus pulposus can be used as an early sign of the degeneration of the nucleus pulposus.

Index Words: Spine, MR

Spine, intervertebral disks

Magnetic resonance(MR), magnetization transfer contrast

Address reprint requests to : Tae-Sub Chung, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine
YongDong Severance Hospital, # 146-92, Dogok-dong, Kangnam-ku, Seoul, 135-270 Korea.
Tel. 82-2-3450-3514 Fax. 82-2-562-5472