

요추간판탈출증의 자기공명영상소견

이화여자대학교 의과대학 방사선과학교실

정 은 철 · 서 정 수

= Abstract =

MR Imaging of Lumbar Disk Herniation

Eun Chul Chung, Jeong Soo Suh

Department of Radiology, College of Medicine, Ewha Womans University

Magnetic resonance imaging(MRI) of 47 patients with surgically confirmed lumbar disk herniation at 62 levels was studied retrospectively to evaluate the significance of MRI in diagnosis of lumbar disk herniation.

Prolapsed type of lumbar disk herniation is 47 cases(76%), lumbar disk herniation at L4-L5 level is 33 cases(53%) and posterolateral herniation is 54 cases(87%). 6 cases(10%) of lumbar disk herniation in MRI were not matched with operative findings, due to lumbar scoliosis(4 cases) and lumbarization of S1(2 cases). Associated abnormalities are 4 cases of Schmorl's nodule and 2 cases of spondylolisthesis. MRI shows excellent sagittal image and can differentiate extruding type of lumbar disk herniation from prolapsed type.

The result of the study indicates the MRI is likely to become the initial procedure of choice for evaluating patients with suspected lumbar disk herniation. If clinically incompatible with MRI findings, it is desirable that CT and/or myelography are complementary to MRI study.

서 론

요추간판질환은 작업과 연관된 장애를 유발하는 중요한 질환으로, 인구의 60%에서 80%는 일생에 한번쯤 요통을 앓게 된다고 한다¹⁾²⁾. 과거 20년간 전산화단층촬영술(Computed tomography, 이하 CT로 약함)과 자기공명영상술(magnetic resonance imaging, 이하 MRI로 약함)은 눈부시게 발전하여 척추질환의 진단에 커다란 진보를 이루게 되었다³⁾ 4). MRI는 방사선장해가 없고 여러 방향으로의 단면영상이 가능하며 해상력이 탁월하기 때문에 중추신경계질환 뿐 아니라 추간판질환에 있어서도 가장 좋은 진단방법으로 각광을 받고 있다⁵⁾. 최

근에는 surface-coil의 개발과 field echo 기법의 응용으로 요추간판탈출증의 여러가지 유형까지도 구분이 가능하게 되었다⁶⁾⁷⁾.

저자는 요추간판탈출증의 MRI 소견과 수술소견을 비교분석하여 MRI의 진단적가치를 밝히기 위하여 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1. 연구재료

1991년 11월부터 1992년 8월까지 이화대학부속 병원에서 임상적으로 요추간판탈출증을 의심하여 MRI검사를 시행한 258명의 환자중 추간판제거술을

Table 1. Age and sex distribution

Age	Male	Female	Total
11~20	1	1	2
21~30	4	4	8
31~40	4	3	7
41~50	12	8	20
51~60	6	1	7
61~70	2		2
71~80	1		1
Total	30	17	47

시행하여 수술로 확진된 47례를 대상으로 하였다. 연령분포는 14세에서 72세까지로 평균연령은 40세였고 남녀의 비는 30 : 17였다(Table 1).

사용된 기기는 Toshiba제 0.5T 초전도형 MRI기 MRT-50A였으며 spine surface-coil을 사용하였다. MR영상은 모든 환자에서 spin echo 기법의 T1 강조영상(TR/TE : 400/15msec)과 field echo 기법의 T2* 강조영상(TR/TE/Flip angle : 600/20/15°)으로 시상면과 횡단면을 얻었으며 FOV(field of view)는 20~30cm, 256×256matrix, 절편두께 5mm, 절편간격 1mm로 하였다.

MRI에서 주안점을 두고 분석한 항목은 추간관의 저신호강도와 추간관두께의 감소를 동반한 퇴행성 변화와 동반된 척추의 이상을 관찰하고 탈출된 추간관의 유형을 구분하였는데, 섬유륜의 파열없이 국소적으로 약화된 섬유륜을 통해 추간관이 돌출된 prolapsed disk type, 섬유륜이 파열된 extruded disk type, 그리고 추간관과 완전히 분리된 sequestered disk type이 3가지 유형으로 구분하였다⁵⁾⁸⁾⁹⁾. 섬유륜의 파열은 시상 및 횡단상에서 경막의 전면에 두꺼운 저신호강도의 선이 부분적으로 또는 전혀 보이지 않는 경우에 한하였다⁸⁾¹⁰⁾(Fig. 1). 또한 탈출된 추간관의 척추강과의 관계에 따라 중심형(central type), 후측방형(posterolateral type), 측방형(lateral or foraminal type)의 3가지로 구분하고 이들의 소견을 수술소견과 비교하여 분석하였다⁵⁾¹¹⁾.

결 과

MRI 소견상 47명의 환자에서 62례의 추간관탈출을 관찰할 수 있었는데 제 2~3 요추간에 4례(6

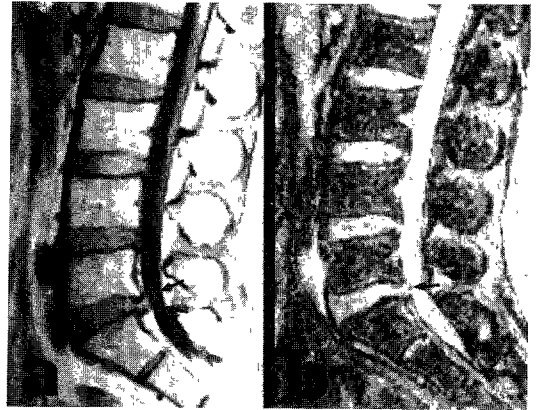


Fig. 1. Extruded disk herniation at L5-S1 level.

T1 weighted(a) and T2* weighted(b) midsagittal images show focal anterior dural defect at L5-S1 level. Disruption of dark line suggests ruptured outer annular fibers(arrow in b).

Table 2. Level and type of herniated disk

Level	No. of herniated disk(%)			Total
	P	E	S*	
L2-3	4			4(6)
L3-4	8	2	1	11(18)
L4-5	23	8	2	33(53)
L5-S1	12	2		14(23)
Total	47(75)	12(19)	3(4)	62#

*P : Prolapsed type #3 level involvement : 2
E : Extruded type 2 level involvement : 11
S : Sequestered type

%), 제 3~4 요추간에 11례(18%), 제 4~5 요추간에 33례(53%), 제 5 요추-제 1 척추간에는 14례(23%)가 있었다. 13명(27%)에서 두개 이상의 추간관탈출을 보였는데 2명에서는 3개 요추간 추간관탈출을 보였고 11명에서는 2개 요추간에서 추간관의 탈출이 있었다(Table 2, Fig. 2). 추간관탈출의 유형을 보면 prolapsed disk type이 47례(76%), extruded type이 12례(19%), sequestered type 3례(5%)로 제 4~5 요추간의 prolapsed disk type이 23례(37%)로 가장 많았다(Fig. 3, Fig. 4).

탈출된 추간관과 척추강의 관계에 따라 분류해보면 후측방추간관탈출(posterolateral disk herniation)이 54례(87%)로 가장 많았고 그 중 좌후측방탈출이 35례(56%)로 우후측방탈출의 19례(31

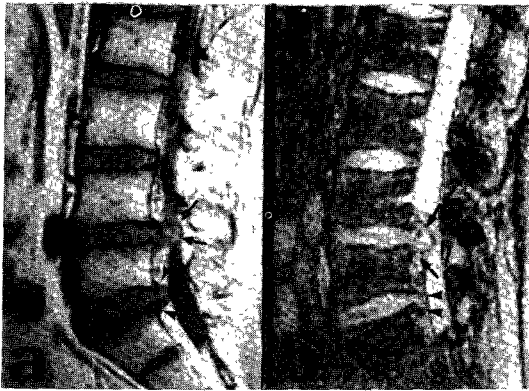


Fig. 2. Multiple disk herniation at L4-L5 and L5-S1 levels.

T1(a) and T2* weighted(b) midsagittal images show a large prolapsed disk herniation of L4-L5 level and extruded disk herniation of L5-S1 level. Note discontinuity of outer dark annular fibers(arrow head in b).

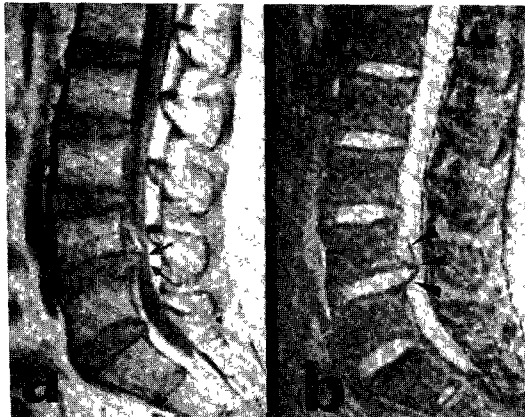


Fig. 3. Prolapsed disk herniation at L4-L5 level.

T1(a) and T2*(b) weighted midsagittal scans shows a large anterior dural defect with dural tenting(arrow). Defect appears to be contiguous with adjacent interspace.

%)보다 월등히 많았다. 후종인대(longitudinal ligament) 밑으로 빠져 나가는 중심성 탈출이 7례(11%)였고 추간공(intervertebral foremen)으로 탈출된 경우가 1례(2%) 있었다(Fig. 5).

T2*강조 시상면 영상에서 추간판이 추체에 비해 신호강도가 감소하면서 추간판의 간격이 감소하는 퇴행성변화를 보인것은 47례(76%)로 나머지 14례(24%)는 퇴행성변화가 없이 단순히 추간판의 탈출만을 볼 수 있었다(Fig. 6).

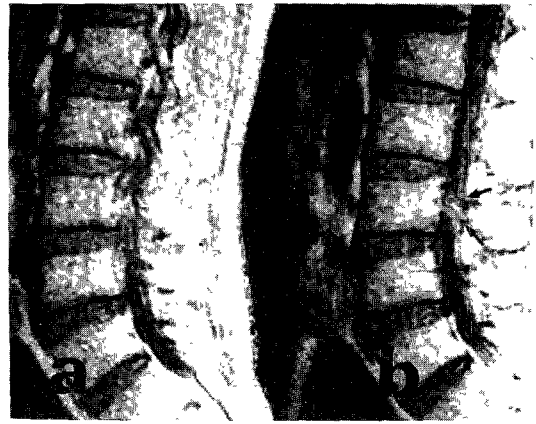


Fig. 4. Sequestered disk herniation at L4-L5 level with upward migration.

T1 weighted right paramedian(a) and midsagittal(b) scans show large soft tissue mass behind the L-4 body(arrow). No evidence of a pedicle connecting anterior epidural defect to interspace. Motion artifact also noted.

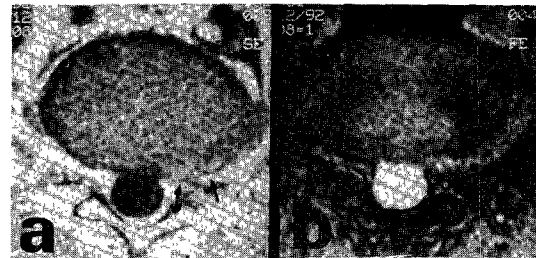


Fig. 5. Foraminal disk herniation at L4-L5 level.

T1(a) and T2*(b) weighted axial images show left foraminal mass(arrow).

47명의 환자중 4명(8%)에서 추간판과 인접한 여러개의 추체에 걸쳐 Schmorl's nodule을 보였고, 2명(4%)에서는 추간판탈출과 아울러 요추전방전위(spondylolisthesis)가 있어 요추강협착을 보였다.

6명의 환자 6례(10%)에서 MRI에 의한 진단과 수술소견이 맞지 않았다. MRI 소견에서 중심형으로 진단한 것이 수술로 후측방형으로 판명된 경우가 4례(6%)가 있었는데 이것은 척추만곡중에 의해 시상면과 횡단면이 제대로 촬영되지 못하였기 때문이다. 2례(3%)는 MRI상 제 4~5 요추간판탈출증이 제 5 요추~제 1 척추간판탈출증으로 밝혀 졌는데 이는 척추의 요추화(lumbarization)때문에 MRI상 level을 잘못 인식하였기 때문이다. MRI 소견상 sequestered disk type으로 진단된 3명의 환

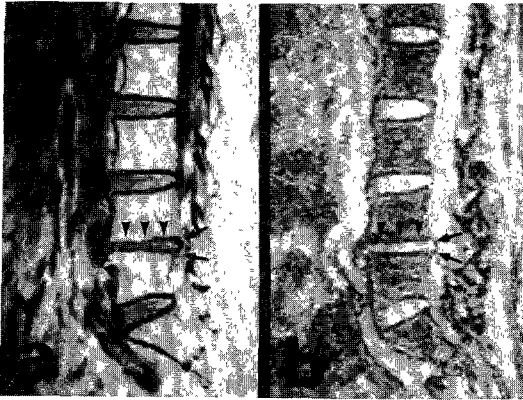


Fig. 6. Disk degeneration at L4-L5 level. T1 (a) and T2* (b) weighted midsagittal images show narrowing of interspace. Decreased signal intensity of the disk on T2* image is noted (arrows).

Table 3. Location of herniated disk

Level	No. of herniated disk (%)				
	R	L	C	F*	Total
L2-3	2	1	1		4
L3-4	3	5	3		11
L4-5	9	21	2	1	33
L5-S1	5	8	1		14
Total	19(31)	35(56)	7(11)	1(2)	62

*R : Right posterolateral disk herniation

L : Left posterolateral disk herniation

C : Central disk herniation

F : Foraminal or lateral disk herniation

자중 1명에서만 수술로 확인되었고 prolapsed disk type과 extruded disk type에 대하여 수술조건에서 언급이 없어 비교가 불가능하였다.

고 안

요통과 하지방사통을 주소로 하는 요추간판탈출증의 진단에는 척수강조영술, CT, MRI등이 있다. 척수강조영술은 방사선조사가 많고 침습적이며 척수강이 넓은 요천추 이행부에서는 정확하지 않고 외측의 추간판 탈출증에는 진단이 곤란한 단점이 있으나, 지주막염의 진단에 유용하며 단시간에 전체 척수를 관찰할 수 있어 아직까지 많이 사용되고 있다¹¹⁾¹²⁾. CT도 역시 방사선조사가 많고 요천추 이행부위에서는 gantry angle을 맞추는데 어려우며

횡단상만이 가능한 약점이 있으나 고해상력 CT를 이용하면 뛰어난 공간분해능으로 작은 병변도 관찰할 수 있고 시상면재구성(sagittal reconstruction)이 가능하다⁶⁾¹³⁾.

MRI은 방사선장해가 없고 원하는 탁월한 시상면 영상을 얻을 수 있으며 척추의 세밀한 해부학적 구조를 파악할 수 있을 뿐아니라 추간관이나 추체의 화학적변화에도 민감하고 관혈적 제거술후 증상잔존의 원인이 조직증식과 재발에 뛰어난 감별력을 보이므로 추간판탈출증의 진단에 가장 널리 사용되고 있다⁸⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾.

추간관은 연골성 골판, 수핵, 섬유륜으로 구성되어 있다. 추간관의 수화 정도는 수핵이 85%에서 90%이고 섬유륜이 80% 정도이지만 나이가 들에 따라 수핵이나 섬유륜에서 수분의 양이 70% 정도로 감소하여 섬유륜에 방사상 열거를 보이는 퇴행성 변화를 나타내게 되는데 이때 MRI상 추간관의 신호강도가 떨어지고 추간관의 높이가 감소하는 소견을 보인다¹⁰⁾¹⁹⁾. 만약 추간판의 탈출이 있게 되면 이 변화는 더욱 심해지게 된다²⁰⁾.

T1강조영상과 T2*강조영상에서 추간판탈출증은 치약을 짜놓은 모양(squeezed tooth paste sign)으로 보이며 전방경막에 텐트모양의 변형을 가져온다³⁾⁴⁾. 보통은 시상면으로 추간판의 탈출과 이동을 잘 볼 수 있으나 외측방 탈출에는 횡단상이 유리하다²²⁾. 탈출된 추간판의 신호강도는 매우 다양하다. 급성의 탈출증은 적당히 수화되어 있으므로 T2강조영상에서 고신호로 보이나 만성인 경우에는 수분이 낮으므로 저신호강도로 보인다. Flip angle을 짧게하여 촬영시간을 줄인 T2* 강조영상은 특히 척수액을 고신호로 추간판을 저신호로 만듦으로 MR myelography effect를 나타낸다²²⁾.

대부분의 추간판탈출은 하부의 3개 추간관에서 일어난다. 약 43%에서 제 5요추~제 1천추사이에서, 47%는 제 4~5요추간에서 나머지 10%에서는 대부분 제 3~4요추간에서 일어나고 제 1~2요추간이나 제 2~3요추간에서 일어나는 경우는 3% 이하이다¹²⁾. 60% 이상에서 후측방추간판탈출증을 보이고 30%는 중심부, 나머지 10%에서 측방탈출을 보인다⁴⁾. 본 연구에서는 47명의 62례의 추간판탈출증에서 제 4~5요추간에 32례(52%), 제 5요추~제 1천추간에 14례(23%), 제 3~4요추간이

11례(14%)였고, 후측방탈출은 54례(84%)로 다른 보고와 비슷한 결과를 보였으나보다 측방탈출은 1례로 대단히 낮았다.

후측방의 추간판탈출증은 환측의 척수강에 종괴 효과를 주므로 추간판간의 위치보다 하나 낮은 위치의 신경근을 압박하지만 측방추간판탈출증은 신경공을 압박하므로 증상이 다르게 나타난다. 추체의 외측으로 탈출하는 측방형은 보고에 따라 1~11.5%까지로 다양하다²²⁾²³⁾²⁴⁾. 이 경우 신경종, 임파종, 전이성 암, 신경근의 비후등의 여러 질환을 감별해야 함으로 진단이 매우 중요하다. 추간판조영술(diskography)과 함께 CT를 촬영하면 측방추간판탈출에서는 MRI와 비슷한 진단율을 보이지만²²⁾, 시상면으로 또는 각도를 준 관상면촬영으로 신경근을 직접 관찰할 수 있는 MRI이 훨씬 더 유용함은 자명하다. 본 연구에서 임상적으로는 의심하지 못하였던 외측추간판탈출증을 1례(2%) 발견할 수 있었다.

추간판탈출증에서 섬유륜의 파열을 확인하고 단순한 prolapsed type과 extruded type 및 sequestered type을 수술전에 구별하는 것이 중요하다. Extruded type은 수핵용해술에는 잘 치유되지 않으므로 수술이 바람직하며 sequestered type에서는 국소적 증상이 병변의 위치와 일치하지 않는 경우가 있고 Chymopapain이나 경피적 수핵용해술의 금기가 될 뿐 아니라 병변의 완전한 제거를 위하여는 광범위한 외과적 접근이 요구되기 때문이다¹⁰⁾¹⁵⁾²⁵⁾²⁶⁾. 섬유륜의 파열은 T2강조상에서 신호강도의 감소로 보이고 Gd-DTPA 조영증강후의 T1강조영상에서는 파열된 섬유륜주위의 반응성 육아조직으로 인해 국소적 조영증강을 볼 수 있다¹⁸⁾²⁷⁾.

김 등¹⁰⁾은 32.8%에서, 이 등²⁶⁾은 24%에서 섬유륜의 파열을 확인하였는데 본 연구에서는 섬유륜의 파열을 의심할 수 있는 extruded type과 sequestered type이 15례(24%)였다. 그러나 수술소견상 단지 1례의 sequestered type만 확인되었고 다른 예에서는 섬유륜의 파열에 대한 언급이 없어 MRI와의 비교가 곤란하였다. 이는 본 원에서는 Chymopapain 수핵용해술을 시행하지 않고 경피적 수핵제거술의 증례가 많지 않으므로 prolapsed type과 섬유륜이 파열된 extruded type이나 sequestered type을 구분하는 것이 수술방법상 차이가 없어 언급하지 않는 것으로

판단된다.

Hashimoto 등¹¹⁾은 MRI에서 중심성 요추간판탈출증이나 여러 level의 추간판탈출을 보이는 경우에는 척수강 조영술로 증상을 나타내는 부위를 정확히 파악하여야 한다고 하였다. 또한 그들은 55명 가운데 6례(10%)에서 MRI 소견상 탈출된 추간판의 위치를 정할 수 없었다고 하였는데 본 연구에서도 47명의 환자중 6명(12%)에서 수술소견과 일치하지 않았다. 이중 4명은 척추만곡으로 인해 시상면이나 횡단면 주사가 제대로 되지 않아 추간판의 치우친 방향을 잘못 판독했기 때문이며 2명에서는 제 1 천추의 요추화로 천추의 위치를 잘못 판단하였기 때문이다. 또한 62례의 추간판탈출증에서 13례의 중복성 탈출이 있었는데 이중 3례만 두개 이상의 level에서 수술을 시행하였다. 따라서 더욱 올바른 진단을 위해서는 정확한 이학적 소견으로 증상을 나타내는 추간판탈출증의 위치를 찾아 내는 것이 필요하며, MRI소견상 여러 개의 추간판탈출증을 보이지만 임상증상이 없거나 미약하여 모두 다 수술을 시행하지 않은 경우에는 주의깊게 추적하여 잠복된 추간판탈출증의 증상이 발현되는가를 살펴 볼 필요가 있다. 또한 요추의 단순촬영상이나 척수강조영술로 요추추의 전이상(transitional abnormality)을 구분하여 올바르게 수술위치를 파악하는 것이 중요하다.

결 론

1991년 11월부터 1992년 8월까지 이화여자대학교 의과대학 부속병원에서 요추간판탈출증으로 진단되어 수술로 확인된 47명의 환자에서 MRI 소견을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 11명에서는 2 level의 요추간판탈출증이 있고 3명에서는 3 level의 탈출이 있어 총 62례를 관찰할 수 있었는데 제 4~5 요추간판탈출이 33례(54%), 제 5 요추-제 1 천추간이 14례(23%)였으며 제 2~3 요추간에도 4례(6%)가 있었다.

2) 추간판탈출의 유형은 총 62례중 prolapsed type이 47례(76%)로 가장 많고, extruded type이 12례(19%), sequestered type이 3례(5%)였다.

3) 추간판탈출의 위치는 후측방탈출이 54례(87%)였는데 좌측이 35례로 우측보다 많았으며 중심

성 탈출은 9례(11%), 추간공탈출이 1례(2%)였다.

4) 추간판의 퇴행성 변화는 47례(76%)에서 볼 수 있었으며 15례(24%)에서는 퇴행성 변화없이 단순히 추간판의 탈출만 있었다.

5) 동반된 병변으로는 Schmorl's nodule이 4례(8%), 척추전방전위증이 2례(4%)이었다.

6) 47명의 환자중 6명(12%)에서 MRI진단과 수술 소견이 일치하지 않았는데 4례는 척추만곡때문 이었고 2례는 제 1천추의 요추화 때문에 잘못 진단되었다.

요추간판탈출증에서 MRI는 탈출된 추간판의 정도와 이동방향을 잘 알 수 있고 CT에서 감지하기 어려운 섬유륜의 파열을 진단할 수 있어 치료방침을 결정하는데 도움을 줄 수 있다. 임상적으로 요추간판탈출증이 의심스러울 때는 단순 X-선 촬영후 가능하다면 MRI를 첫번째 영상진단방법으로 선택 하고 그 소견이 임상증상과 잘 맞지 않을 때 CT나 척추강조영술을 보완하여 시행하는 것이 바람직하다고 생각된다.

References

- 1) Frymoyer JW, Pope MH, Clerments JH, Wilder DG, MacPherson B : *Risk factors in lower-back-pain. An epidemiological survey. J Bone and Joint Surg* 1983 : 65-1 : 231-218
- 2) Svensson HD and Andersson GBJ : *Lower back pain 40-to-47 years old men. Work history and work environmental factors. Spine* 1983 : 8 : 272-276
- 3) Edelman RR, Stark GM, Davis KR, New PF, Saini S : *High-resolution surface-coil imaging of lumbar disk disease. AJR* 1985 : 1123-1129
- 4) Fries JW, Abodeely DA, Vijungco JG : *Computed tomography of herniated and extruded nucleus pulposus. J Comput Assist Tomogr* 1982 : 6 : 874-887
- 5) Modic MT, Masaryk TJ, Ross JS : *Magnetic resonance imaging of the spine. 3rd ed, Chicago, Yearbook Medical Publisher, 1989 : pp662-672*
- 6) Modic MT, Masaryk TJ, Boumpfrey F, Goormastic M, Bell G : *Lumbar herniated disk and canal stenosis : Prospective evaluation by surface coil MR, CT, and myelography. AJR* 1986 : 147 : 757-765
- 7) Murayama S, Numaguchi Y, Robinson AE : *The diagnosis of herniated intervertebral disks with MR imaging : a comparison of gradient-refocused-echo and spin-echo pulse sequences. AJNR* 1990 : 11 : 22
- 8) Masaryk TJ, Ross JS, Modic MT, Boumpfrey F, Bohlman H : *High-resolution MR imaging of sequestered lumbar intervertebral disk. AJR* 1988 : 150 : 1155-1162
- 9) Gaskill MF, Lukin R, Wiot JG : *Lumbar disk disease and stenosis. Radiologic Clinics of North America* 1991 : 29(4) : 753-759
- 10) 김기용 · 김영태 · 이춘성 · 이수호 · 김용정 : 파열된 요추추간판탈출증의 자기공명영상 소견. 대한정형외과학회지 1991 : 26(6) : 1179-1787
- 11) Hashimoto K, Akahori O, Kitano K, Nakajima K, Higashihara T : *Magnetic resonance imaging of lumbar disk herniation : Comparison with myelography. Spine* 1990 : 15 : 1166-1169
- 12) Shapiro R : *Myelography, 4th ed, Chicago, Year Book Medical Publisher, 1984 : pp434-437*
- 13) Pech P, Haughton VM : *Lumbar intervertebral disk : correlative MR and anatomic study. Radiology* 1985 : 156 : 699-701
- 14) Aguila LA, Piraino DW, Modic MT, Dudley AW, Duchesneau PM : *The intranuclear cleft of the intervertebral disk : magnetic resonance imaging. Radiology* 1985 : 155 : 155-158
- 15) Grenier N, Greselle JF, Vital JM, Kien P, Baulny D : *Normal and disrupted lumbar longitudinal ligaments : correlative MR and anatomic study. Radiology* 1989 : 171 : 197-205
- 16) Bundschuh CV, Stein L, Slusser JH, Schinco FP, Ladaga LE : *Distinguishing between scar and recurrent herniated disk in postoperative patients : value of contrast enhanced CT and MR imaging. AJR* 1990 : 11 : 949-958
- 17) Roos AD, Kressel H, Spritzer C, Dalinka M : *MR imaging of marrow changes adjacent to end plates in degenerative lumbar disk disease. AJ* 1987 : 149 : 531-534
- 18) Modic MT, Herfkens RJ : *Interveterbral disk : normal age-related changes in MR signal intensity. Radiology* 1990 : 177 : 332-334
- 19) Sether LA, Yu S, Haughton VM, Fischer ME : *Intervertebral disk : Normal age-related changes in MR signal intensity. Radiology* 1190 : 177 : 385-388
- 20) Swärd L, Hellsröm M, Jacobsson B, Nyman R, Petersson L : *Disc degeneration and associated abnormali-*

- ties of the spine in elite gymnasts. A magnetic resonance imaging study. Spine 1991 : 16 : 437-443*
- 21) Yu S, Haughton VM, Ho PS, Sether LA, Wagner M, Ho KC : *Progressive and regressive changes in the nucleus pulposus. Part II. The adult. Radiology 1988 : 169 : 93-97*
 - 22) Grenier N, Greselle JF, Douws C, Vital JM, Sènègas J : *MR imaging of foraminal and extraforaminal disk herniations. J Comput Assist Tomogr 1990 : 14(2) : 243-249*
 - 23) Williams AL, Haughton VM, Daniel DL, Trornton RS : *CT recognition of lateral lumbar disk herniation. AJR 1982 : 139 : 345-347*
 - 24) Novestsky GJ, Berlin I, Ebstein AJ, Lobo N, Miller SH : *The extraforaminal herniated disk : detection by CT. AJNR 1982 : 3 : 653-655*
 - 25) Gentry LR, Strother CM, Turski PA, Javid MJ, Sackett JF : *Chymopapain chemonucleolysis : correlation of diagnostic radiographic factors and clinical outcome AJNR 1985 : 6 : 311-320*
 - 26) 이원재 · 박길선 · 장기현 · 한분희 · 김현집 : *요추 추간판탈출증 및 척수강협착증에서의 자기공명영상. 대한방사선의학회지 1989 : 25(6) : 857-866*
 - 27) Ross JS, Modic MT, Masaryk TJ, Carter J, Marcus PE : *Assessment of extradural degenerative disease with Gd-DTPA-enhanced MR imaging : correlation with surgical and pathologic findings. AJNR 1990 : 10 : 1243-1249*
 - 28) Ross JS, Modic MT, Masaryk TJ : *Tears of the annulus fibrosus : assessment with Gd-DTPA-enhanced MR imaging. AJNR 1990 : 10 : 1251-1254*