

Title	腰椎椎間板のMRIに関する基礎的検討
Author(s)	杜若, 陽祐; 鍋島, 一樹; 木原, 康 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1988, 48(2), p. 166-172
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16489
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

腰椎椎間板のMRIに関する基礎的検討

宮崎医科大学放射線医学教室，*同 第二病理学教室

杜若 陽祐 鍋島 一樹* 木原 康 原田 邦子
森 由紀子 杜若 幸子 渡辺 克司

（昭和62年1月9日受付）

（昭和62年7月20日最終原稿受付）

Magnetic Resonance imaging of Lumbar Intervertebral Disks with its Pathological Correlation

Yousuke Kakitsubata, Kazuki Nabeshima¹⁾, Yasushi Kihara,
Kuniko Harada, Yukiko Mori, Sachiko Kakitsubata
and Katsushi Watanabe

Department of Radiology, Miyazaki Medical College
2nd department of Pathology, Miyazaki Medical College¹⁾

Research code No. : 599.9

Key words : lumbar intervertebral disk magnetic resonance imaging

Three cadaver spines were examined by magnetic resonance imaging (MRI) with 0.1 tesla resistive magnet. Anatomic sections of lumbar intervertebral disks were compared with various MR images, saturation recovery (SR), inversion recovery (IR), T1 and T2 weighted spin echo (SE) images. And the signal intensity of degenerated disks on T2 weighted images were correlated with the histological studies.

The disks were well delineated by SR and their degenerative changes were detected most sensitively by T2 weighted SE image. Two parts of disk were delineated on T2 weighted SE image. The central portion of disk showed high signal intensity and the periphery a low signal intensity. The central high signal intensity area corresponded to the combination of annulus fibrosus and nucleus pulposus, which cannot be differentiated by MR. And the peripheral low signal intensity area corresponded to the collagenous fibers of annulus fibrosus. Histologically, disks with decreased signal intensity had marked increase of collagen fibers. The intranuclear cleft were evident on T2 weighted image, and the corresponding structures thought to be caused by invagination of the lamellae of the annulus into the nucleus in the histological specimens.

MRI were useful modality for evaluation of intervertebral disks, but biochemical analysis may be needed for precise interpretation of MR images of disks in addition to histological studies.

はじめに

Magnetic resonance imaging（以下MRI）は、近年急速に発展してきた画像診断法の一つである。脳神経疾患の診断においては既にX線CT以上の評価を受けているが、脊椎・脊髄疾患においてもその有用性は高く評価されている。それは

MRIが横断像のみでなく、任意の断面像を得ることが可能であること、従来の放射線学的検査では描出困難であった脊髄や椎間板を直接描出することが可能なことなどによる。しかし、MRIは解剖学的変化のみならず、生化学的変化によっても影響を受けるため、その画像の解釈は容易ではない。

今回、我々は腰椎椎間板のMRI所見と組織学的所見を対比して、椎間板病変の診断における問題点を検討した。

1. 対象および方法

検討した腰椎椎間板は死後ホルマリン固定され、約半年から1年経過した3成人の14椎間板である。各々の年齢、性別は52歳の男性、59歳の女性及び63歳の男性である。

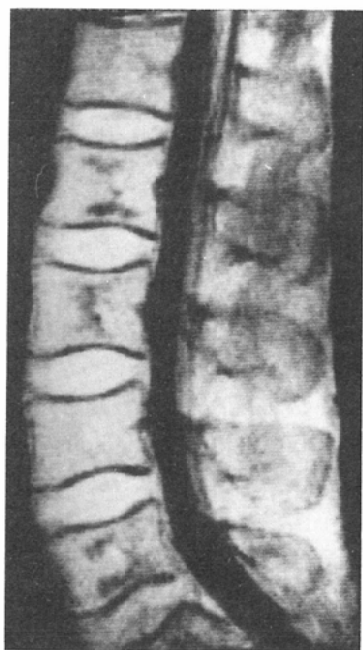
使用したMRI装置は静磁場強度0.1 Teslaの常電導装置(旭Mark J)で、共鳴周波数は4.5 MHz、マトリックス数は256×256である。コイルは24cm径のhead coilを使用し、スライスは正中矢状断面にて10mm厚とした。加算はすべて3回行った。撮影画像は、繰り返し時間(TR)が500ミリ秒のsaturation recovery (SR)法、TRが1,000ミリ秒で反転時間(TI)が400ミリ秒のinversion recovery (IR)法、TRが500ミリ秒、エコー時間(TE)が28ミリ秒のshort spin echo (S-SE)法、TRが2,000ミリ秒、TEが80ミリ秒のlong spin echo (L-SE)法及び計算T1画像(T1)を用いた。

MRIの検討は、1)撮影法の違いによる椎間板

描出の影響、2)各撮像法による椎間板変性の識別能、3)椎間板内に帯状に低信号域として認められるintranuclear cleft(以下INC)の有無の3項目について行った。次に、腰椎の矢状断面の肉眼所見とMRIを比較し、更に、L-SE法にて信号強度に差を認めた椎間板についてHematoxylin Eosin (HE)染色、Elastica van Gieson (EVG)染色およびToluidine blue (TB)染色による組織学的検討を行った。

2. 結果

各椎間板は、MRIにて上下椎体間に円盤状または楔状高信号領域として認められた。椎間板と上下椎体間は線状の低信号領域にて境され、椎間板と周囲構造との境界は明瞭であった。各撮影法により椎間板の描出のされ方には違いがみられ、SR、IRでは椎間板全体が強い信号強度で描出された(Fig. 1a, b)。S-SEでは、SR、IRより椎間板の信号強度は弱かった(Fig. 1c)。また、L-SE、T1では椎間板の中心部は強く描出されたが、辺縁部の信号は弱かった(Fig. 1d)。椎間板変性の識別能はL-SE、T1で優れ、SR、IRでは低かった。MRIにて椎間板内に認められるINCの描出にはL-



1a



1b

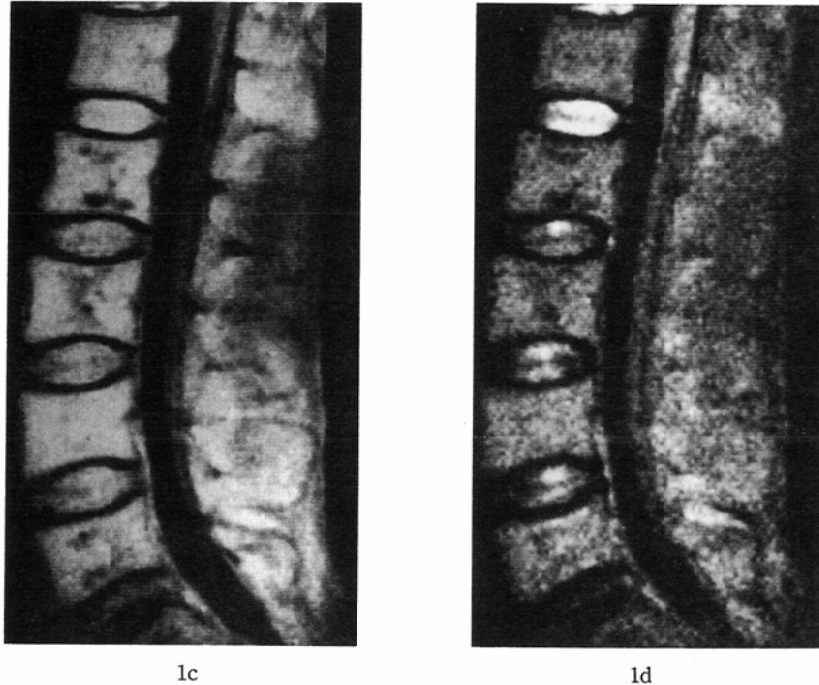


Fig. 1 a. SR image (TR=500msec.) of vertebral body in a cadaver (age 52 yrs.). The signal intensity of the disk is almost same except for the L5-S1 disk. b. IR image (TR=1000, TI=400msec.) in the same specimen. c. Short SE image (TR=500, TE=28msec.). The L1-2 disk have normal signal intensity, but L2-3, L3-4 and L4-5 disks show moderately decreased signal intensity and that of L5-S1 disk is markedly decreased. The black line is prominent between the disk and the vertebra, and more wider than that of SR image. d. Long SE image (TR=2000, TE=80msec.). The difference of signal intensity of each disk is most prominent and the intranuclear clefts are clearly demonstrated.

SEが最も優れ (Fig. 1d), SR, IR ではほとんど描出できなかった (Fig. 1a, b).

摘出腰椎の矢状断面において (Fig. 2), 椎間板は前方が厚く後方はやや薄い, 丸みを帯びた白色調構造として認められ, この輪郭はSR, IRの所見と一致していた。椎間板の内部構造は, 上位椎間板ほど明瞭に保たれており, 下位椎間板は不明瞭で硬度が増していた。更に, 下位椎間板ほど髄核の後方への偏位, 線維輪における線維化の増強, 髄核周囲の亀裂が著しくなり, 線維輪と髄核の区別も困難であった。MRIでは, L-SE, S-SEの所見がこれらの構造の相違をよく反映していたが, 髄核と線維輪を区別することはできなかった。椎間板の上下は椎体骨皮質に接しており, これはMRI上, 椎間板と椎体髄質間の線状低信号域と一

致していた。しかし, SR, IRに比べてS-SE, L-SEではこの低信号領域が太く描出され, S-SE, L-SEでは椎体骨皮質のみでなく骨化軟骨終板や椎間板の一部も含まれていると考えられた。

L-SEにてL1-2間椎間板に認められた前方の低信号域は, 組織学的にはPritzker¹⁾の言うcartilaginous metaplasiaを伴った密な線維組織よりなっており, 下位椎間板ほどこの線維組織は密で, より高度のcartilaginous metaplasia及びcalcificationを伴っていた (Fig. 3)。また, L-SEにてL1-2間椎間板とそれ以下の椎間板との間には信号強度の差がみられたが, 組織学的にはL1-2間椎間板では内側線維輪の平行に配列する線維間にmyxomatous matrixを認めたが, L3-4間椎間板ではmyxomatous matrixに乏しく, より線維

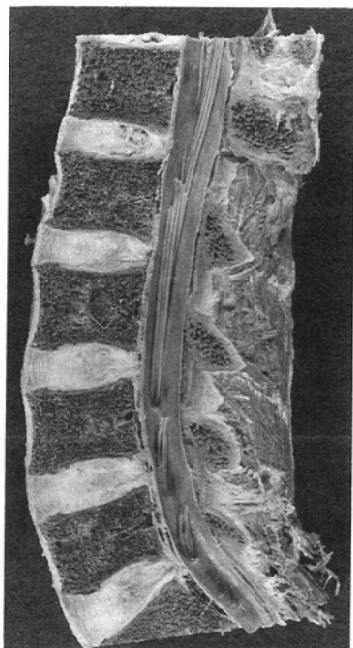


Fig. 2 Anatomic section corresponding to the MR image. The inner structure of the L2-L5 disks is more indistinct than of the L1-2 disk.

化が進んでいた (Fig. 4a, b). 同部を EVG 染色で比較すると, L3-4 間椎間板では L1-2 間椎間板に比べて明らかに赤染する線維の増加が認められたので, TB 染色での異染性の減弱と合わせて, これ

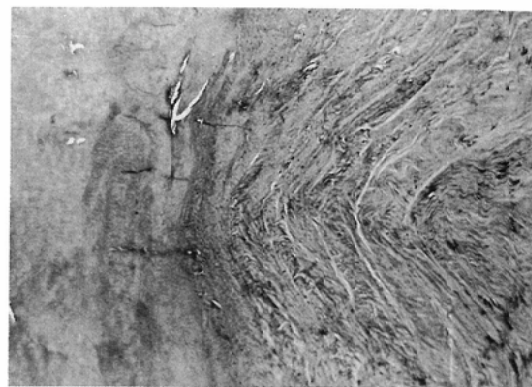


Fig. 3 Sagittal microscopic section through the midline of the anterior aspect of the L1-2 disk after HE staining ($\times 5$).

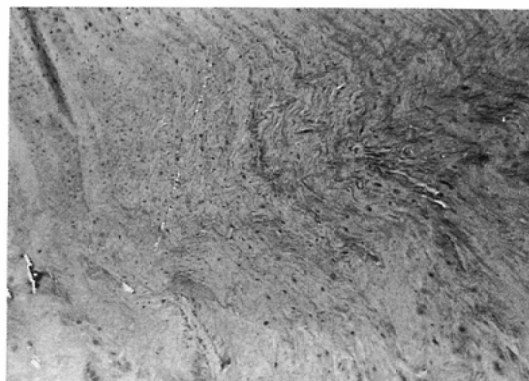
There is a marked increase of collagenous fibers where corresponded to the peripheral low signal intensity area shown in L-SE image.

らの変化は膠原線維の増加によるものと考えられた (Fig. 5a, b).

INC に関しては, 肉眼的に INC を同定することは困難であった. しかし, HE 染色, EVG 染色にて椎間板前方の線維輪が後方へ陥入し, これにより髄核が周囲, 特に後方へ強く, U 字型を呈して圧排されている所見が認められた (Fig. 6a, b). この陥入した線維輪の線維化も L1-2 間椎間板に



4a

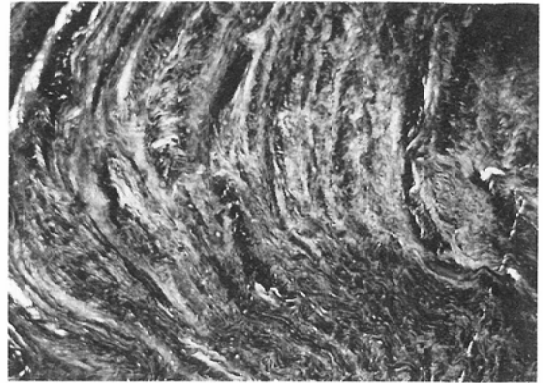


4b

Fig. 4 a. The inner annulus fibrosus of the L1-2 disk. Myxomatous matrix is seen among the inner annular fibers (HE stain $\times 5$). b. The inner annulus fibrosus of the L3-4 disk. Myxomatous matrix among annular fibers is greatly decreased and replaced by increase in collagenous fibers (HE stain $\times 5$).

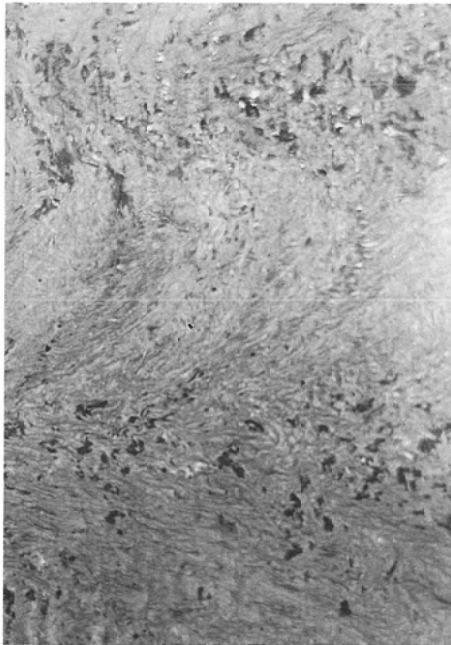


5a

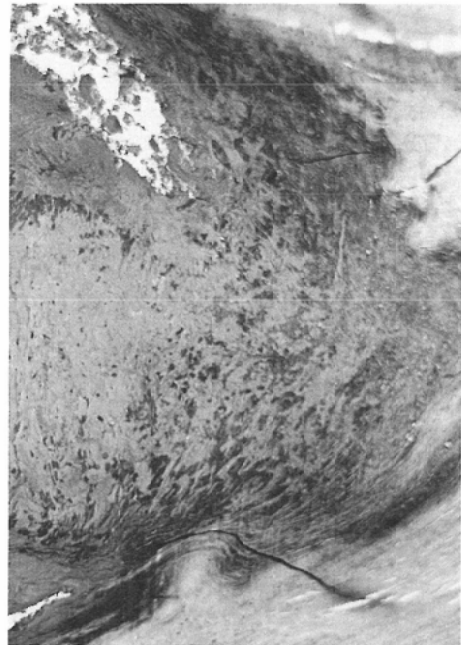


5b

Fig. 5 a. The inner annulus fibrosus of the L1-2 disk (EVG stain $\times 5$). b. The inner annulus fibrosus of the L3-4 disk. There is marked increase of collagenous fibers (EVG stain $\times 5$).



6a



6b

Fig. 6 Sagittal section through the midline of the central part (a) and the posterior part (b) of the L1-2 disk. (HE stain $\times 6$.) The nucleus is invaginated by fibrous material and the nucleus displaced posteriorly.

比べ L3-4間の椎間板の方が強くなっていた。しかし、MRIで認められる INC の幅より組織学的に認められる陥入した線維輪の方が幅広く認められた。

3. 考 察

椎間板疾患の画像診断には、ミエログラフィ、X線 CT、髄核造影等が施行されてきたが、近年、MRIの開発によりその診断体系は大きな変化を受けることになっている。即ち、MRIでは従来の

方法では不可能であった脊髄や椎間板を直接描出し、任意の方向での断層像を得ることが可能であるため、脊椎、脊髄病変の診断にはもっとも適した画像診断法と考えられる^{2)~4)}。

ところで、MRIは解剖学的変化のみならず、生化学的変化をも反映する画像であるため、切除標本を用いたMRI所見は生体内での状態と異なる可能性を持っている。しかし、椎間板の生体内での画像と切除標本での画像は比較的類似しているため、切除標本によるMRI所見の検討は生体内での変化を検討する上で参考になるものと考えられる^{5)~7)}。

椎間板は、髓核、線維輪、軟骨終板より構成され、椎体間に存在して脊椎に可動性と弾力的支持性を与えている。椎間板の中央部分に存在する髓核はムコ多糖蛋白複合体と水分を主とするゲル状物質で、10歳までは周囲の線維輪との境界も明瞭である。また、髓核の周囲には線維軟骨よりなる線維輪が存在し、横断面では輪状の層状構造を呈している。軟骨終板は硝子様軟骨で形成され椎体上下面の骨終板と相対し、強く結び付いている。これらの構造は、若年者では明瞭であるが加齢と共に種々の変化を生じてくるため、年齢に応じた評価が必要になってくる。

椎間板は矢状断面MRIにて上下椎体間に円盤状または楔状の高信号領域として認められるが、その描出のされ方には撮影方法により違いがみられる。我々の検討では、椎間板全体の描出にはSRがよく、椎間板の変性の把握にはL-SEが優れていた。これは、SRではS/N比が高く、析間板の輪郭が明瞭に描出されることと、L-SEでは変性によりT2値が短縮し、低信号化するためと考えられた。S-SEはSRに近い特徴を備えていたが、椎間板の信号強度がSRよりも低かった。また、IRではSR同様に椎間板の信号強度が強く示されたが、これは椎間板の変性によりT1値が短縮したためと考えられた。しかし、IRでは椎間板の変性がない場合、椎間板の信号強度が低く示されるため、生体での椎間板の評価には必ずしも適当ではないと思われる。

従来、MRIで認められる椎間板の高信号領域は

髓核であると報告⁸⁾⁹⁾されていたが、我々の検討ではこの高信号域は、髓核と線維輪の一部を含むものと考えられ、髓核と線維輪の区別はできなかった。また、この高信号領域の前後に認められる低信号域は線維輪の一部であり、前・後縦靭帯の低信号域と共に診断の際には注意を要するものと考えられた。また、椎間板と椎体間に存在する線状低信号域は、椎体皮質が無信号であるためと考えられるが、撮影法によってはこの線状構造の太さが変化してくる。この線状構造が太く示されるL-SEなどの撮像法では、この低信号領域に椎体皮質のほか椎間板周囲の軟骨終板か椎間板の一部が含まれているものと考えられた。Peckら⁶⁾は1.5テスラの超電導装置を用いTR、TEの長い撮像法では椎間板は中央部分の高信号域とその辺縁の薄い低信号域に分けられ、高信号域は髓核と線維輪を含み、低信号域は周囲のコラーゲン線維に相当するとした。逆に、TRの短い撮像法では周囲のコラーゲン線維の方が中心部分より軽度信号強度が高かったとしている。このTRの短い撮像法における周囲の信号強度の高い部分は、我々の検討した椎間板の一部にも認められたが、必ずしも全部には描出されず、椎間板の変性が強く信号強度の低下している椎間板に多く認められた。これは、対象とした脊椎の保存方法や装置の磁場強度などの違いによるものと考えられた。

INCは、MRIにて椎間板内に認められる帯状の低信号域であり、特に、L-SEにて明瞭に認められる。Aguilaら⁵⁾はINCの組織学的検討を行い、線維輪の髓核内への陥入をその原因と考えている。一方、Peckら⁶⁾はINCに一致する解剖学的変化は認められなかったとし、相反する意見を述べている。我々の検討では、肉眼的にINCに一致する所見は得られなかったが、組織学的に前方から後方へ陥入する線維輪が認められた。また、このINCに相当する線維輪も下位の椎間板ほど線維化が進んでいた。しかし、画像上のINCに比べて陥入した線維輪の幅が大きいことや椎間板前後部での線維輪の形態と画像上の形態が必ずしも一致しないことなどから、INCは組織学的変化のみならず、生化学的変化にも強く影響されているもの

と考えられた。

椎間板は加齢と共に線維化が進み, mucopolysaccharide の減少とともに水分量も減じてくる。この椎間板の水分量は最初約88%であるが80歳代では69%に低下すると言われている¹⁰⁾¹¹⁾。また、線維化が進みコラーゲンが増加すると髄核のゲル状態が失われ、椎間板の弾力性も失われることになる。さらに、髄核は、周囲軟骨で置き換えられ、容積の減少、後方への偏位が生じ、線維輪との境界が不明瞭になってくる¹¹⁾¹²⁾。MRIにおいて椎間板の組織化学的な変化は信号強度の変化として示され、線維化の強い椎間板ではL-SE, S-SE, SR, T1画像にて信号強度が低下し、IRにて信号強度が増加する。これは、椎間板の変化がT1, T2, プロトン密度に影響を及ぼすと考えられるが、T1, T2の変化には種々の要因が含まれ、その解釈は容易ではない。椎間板のT1, T2値に関し、Modicら¹³⁾は健常者と変性した椎間板のT1, T2値を測定し、変性した椎間板では髄核、線維輪ともT1, T2値が短縮していると報告し、椎間板の診断にはTR, TEの長いL-SEが有用であるとしている。また、筆者ら¹⁴⁾も20代健常者と変形性脊椎症患者の髄核を比較し、健常者では約539ミリ秒で、変形性脊椎症患者では約304ミリ秒と短縮していること、椎間板の変性状態の把握にT1画像も有用であることを報告した。しかし、椎間板のT1, T2値に対する基礎的研究は少なく^{15)~17)}、今後の課題と思われる。

今回の我々の研究では成人の腰椎椎間板の組織学的変化を主体に行ったが、椎間板のMRI所見の正確な評価には今後、各年齢における形態学的変化に加えて、組織化学的变化などとの比較検討を十分に行う必要があるものと考えられる。

本論文の要旨は、第45回日本医学放射線学会総会（昭和61年4月、東京）に於て発表した。

稿を終るにあたり、多大のご援助を頂いた宮崎医科大学第一解剖学教室大浦親善教授に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) Pritzker KPH: Aging and degeneration in the lumbar intervertebral disc. *Orthop Clin N Am*

- 8(1): 65-77, 1977
- 2) Chafetz NI, Genant HK, Moon KL, et al: Recognition of lumbar disk herniation with NMR. *AJR* 141: 1153-1156, 1983
- 3) Edleman RR, Shoukimas GM, Stark DD, et al: High-resolution surface-coil imaging of lumbar disk disease. *AJR* 144: 1123-1129, 1985
- 4) Berger PE, Atkinson D, Wilson WJ, et al: High resolution surface coil magnetic resonance imaging of the spine: Normal and pathologic anatomy. *RadioGraphics* 6(4): 574-602, 1986
- 5) Aguila LA, Piraino DW, Modic MT, et al: The intranuclear cleft of the intervertebral disk: Magnetic resonance imaging. *Radiology* 155: 155-158, 1985
- 6) Pech P, Haughton VM: Lumbar intervertebral disk: Correlative MR and anatomic study. *Radiology* 156: 699-701, 1985
- 7) Reicher MA, Gold RH, Halbach VV, et al: MR imaging of the lumbar spine: Anatomic correlations and effects of technical variations. *AJR* 147: 891-898, 1986
- 8) Han JS, Benson JE, Yoon YS: Magnetic resonance imaging in the spinal column and craniovertebral junction. *Radiol Clin N Am* 22(4): 805-827, 1984
- 9) Heller H, Braitinger S, Petsch R, et al: Disk processes in MR. *Europ J Radiol* 6: 59-64, 1986
- 10) Puschel J: Der wasservergehalt normaler und degenerierter zwischenwirbelschweiben. *Beith Path Anat* 84: 571-596, 1957
- 11) Lipson SJ, Muir H: Experimental intervertebral disc degeneration, morphologic and proteoglycan changes over time. *Arth Rheum* 24(1): 12-21, 1981
- 12) DePalma AF, Rothman RH: The intervertebral disc. WB Saunders, Philadelphia, 1970, p30-85
- 13) Modic MT, Pavlicek W, Weinstein MA, et al: Magnetic resonance imaging of intervertebral disk; Clinical and pulse sequence considerations. *Radiology* 152: 103-111, 1984
- 14) 杜若陽祐, 渡辺克司, 岡田明彦, 他: 脊椎の椎体・椎間板病変診断における T₁画像の有用性, 画像診断, 5(9): 877-883, 1985
- 15) 三船哲郎, 日下義章, 西川弘恭, 他: グリコサミノグリカンと水およびNa⁺との相互作用のNMR緩和時間による解析. 第5回核磁気共鳴医学研究大会講演抄録集, p44, 1985
- 16) 日下義章, 三船哲郎, 西川弘恭, 他: 椎間板髄核内グリコサミノグリカン量と水分子およびNa⁺のNMR緩和時間の関係. 第5回核磁気共鳴医学研究大会講演抄録集, p4, 1985
- 17) 茶谷賢一, 日下義章, 三船哲郎, 他: ¹H-NMR緩和時間による椎間板内水の解析. 第6回核磁気共鳴医学研究大会講演抄録集, p166, 1985