OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	磁気共鳴画像による腰椎骨髄の信号強度に関する検討
Author(s)	杜若, 陽祐; 鍋島, 一樹; 杜若, 幸子 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1993, 53(11), p. 1267-1282
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15751
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

日本医放会誌：53（11），1267-1282，1993（平5）

磁気共鳴画像による腰椎骨髄の信号強度に関する検討

1）宮崎医科大学放射線科
2）宮崎医科大学第二病理
＊ 現 社会保険宮崎江南病院放射線科

杜若　陽祐[1)*]　鍋島　一樹[2)]　杜若　幸子[1)]　渡辺　克司[1)]

（平成4年11月11日受付）
（平成5年1月12日最終原稿受付）

Evaluation of Lumbar Vertebral Bone Marrow Changes with MR Imaging

Yousuke Kakitsubata[1)], Kazuki Nabeshima[2)],
Sachiko Kakitsubata[1)] and Katsushi Watanabe[1)]

1) Department of Radiology, Miyazaki Medical College
2) The second Department of Pathology, Miyazaki Medical College
＊ Present address: Department of Radiology, Miyazaki Kohnan Hospital

Research Code No.: 599.9

Key words: Lumbar spine, Bone marrow, MR imaging, CT

Seven hundred nine magnetic resonance (MR) imaging studies of the lumbar spine were reviewed to assess the signal intensity (SI) changes in vertebral bone marrow. Marrow changes were classified into four types according to their SI changes on T 1-weighted images (T 1-WI) and T 2-WI. Type 1 changes (decreased SI on T 1-WI and increased SI on T 2-WI) were identified in 28 patients (3.9%), type 2 changes (increased SI on T 1-WI and isointense or slightly increased SI on T 2-WI) in 184 (26%), type 3 changes (decreased SI on both T 1-, T 2-WI) in 71 (10%), and type 4 changes (linearly increased SI on T 1-WI in the center of the vertebral body) in 142 (20%).

Plain radiographs showed sclerotic changes in patients with type 3. In patients with type 1 or 4 changes, no focal abnormalities were observed.

Histological evaluation of type 1 change revealed fibrous tissue including cartilaginous formation. Focal replacement by fatty tissue was observed in type 2 and type 4 changes. Bone sclerosis was observed in type 4 change. Type 1, type 2 and type 3 changes, which occurred commonly in the old and in the lower lumbar levels, appear to reflect a spectrum of degenerative changes of the bone marrow including both pathological and physiological ones.

1. はじめに

脊椎の画像診断は，従来単純X線検査，CT検査を主体に行われてきたが，これらの検査では骨組織に変化を及ぼさない病変の検出はほとんど困難であった．一方，磁気共鳴画像（magnetic resonance imaging; MRI）の出現により，従来の検査法では描出困難であった脊髄，椎間板，骨髄の描出が可能になり，MRIは脊椎・脊髄疾患の診断に重要な画像診断法となってきた[1)]．MRIにおける脊椎の信号強度は骨髄の水分と脂肪のプロトンにより得られる．このため，骨髄に影響を及ぼす種々の病理学的変化が信号強度の異常として描出され，MRIはこれらの疾患の診断に有用とされている[2),3)]．しかし，脊椎の信号強度の変化

は種々の疾患以外にも加齢や椎間板の変性などに伴って変化することが知られており[4),5),6)]，MRI診断上その他の病態との鑑別が問題となることも少なくない．

今回，我々はMRI装置を用いて椎体内に認められる信号強度の変化について各年代，各椎体レベルでの頻度，単純X線写真での骨硬化像との関係について検討した．また，各年齢，各レベルでの椎間板の変性についての検討も行った．さらに，摘出脊椎を用いて椎体骨髄の信号強度の変化についての組織学的検討も行ったので報告する．

2. 対象および方法

1) 臨床的検討

臨床的検討は1987年1月から1989年3月の2年3カ月間に腰椎疾患が疑われ，腰部MRIが施行された709人を対象とした．腫瘍性病変，血液疾患，炎症および放射線治療後の症例は除外した．年齢は1歳から88歳（平均41.7歳）で，性別は男性が428人，女性が281人であった（Table 1）．

装置は静磁場強度0.22 tesla（T）の常電導型MRI装置（東芝社製MRT-22 A）を用いた．スライス厚，スライス間隔は10 mmで，スライス断面は矢状断面を検討した．撮像法はスピン・エコー（spin echo；SE）法を用い，繰り返し時間（TR）が500ミリ秒，エコー時間（TE）が30ミリ秒のT1強調像｛500/30/2(TR/TE/excitations)｝とT2強調像（2000/60/2）で検査した．マトリックスは256×256とした．また，受信コイルは脊椎用表面コイルを用い，撮像領域（FOV）を20 cmとした．

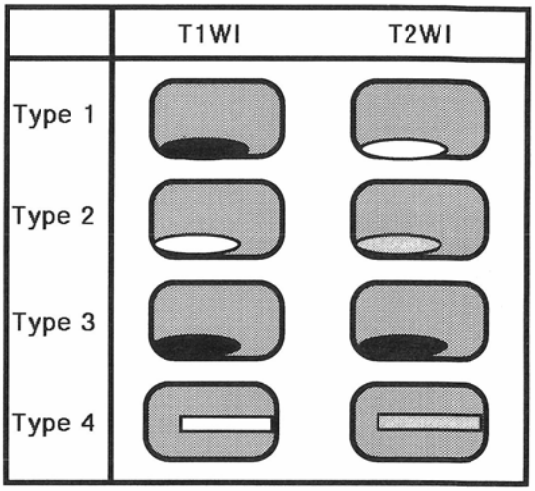


Fig. 1 Diagrammatic schema of classification of signal intensity changes of the vertebral bone marrow

椎体の限局性の信号強度の変化をModicら[4)]，de Roosら[5)]の報告を参考に3型（1型：T1強調像で低信号，T2強調像で高信号，2型：T1強調像で高信号，T2強調像で等または軽度高信号，3型：T1強調像，T2強調像とも低信号）に分け，さらにT1強調像にて椎体の中央部でbasivertebral veinにそって線状の高信号域の認められるものを4型として分類した（Fig. 1）．また，椎間板の変性所見はT2強調像にて中心

Table 1 Age and sex distribution of the patients and numbers of vertebral bodies and intervertebral disks

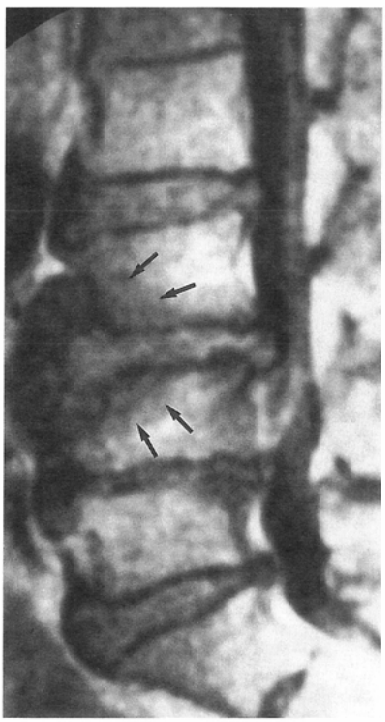
Age (years)	No. of Patients	Male	Female	No. of Bodies	No. of Disks
0—9	11	11	0	54	55
10—19	70	45	24	320	346
20—29	77	45	32	334	384
30—39	134	89	45	567	667
40—49	111	69	42	479	553
50—59	145	81	64	634	724
60—69	81	47	34	367	405
70<	80	41	39	370	400
Total	709	428	281	3125	3534

部の信号強度（髄核と内側部の線維輪に相当し，正常では高信号強度を呈する）が低下しているもの，または椎間板高の減少しているものとした．さらに，各型の認められた112椎体（1型；2椎体，2型；46椎体，3型；39椎体；4型27椎体）と単純X線写真を比較し，各型とX線写真での骨硬化像の有無について検討した．

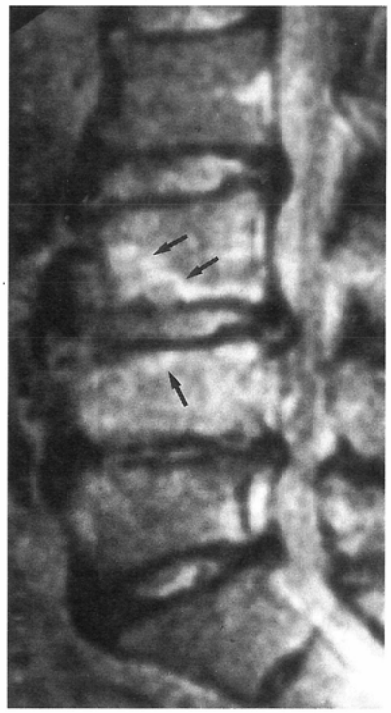
2）組織学的検討

組織学的検討に用いた脊椎は剖検後ホルマリン固定された23人の60椎体である．剖検時の年齢は35歳から76歳（平均60.9歳）で，男性18人，女性5人であった．また，3人に組織学的な転移巣を認めたが，この部分は除外して検討した．MRI装置は静磁場強度1.5Tの超電導装置（東芝社製MRT-200/RX）を用い，マトリックス数を256×256とした．受信コイルは10 cmの表面コイル（FOV 10 cm）または頭部用コイル（FOV 20 cm）を使用した．撮像はSE法を用いT1強調像（500/30/4），プロトン密度強調像（2000/30/2），T2強調像（2000/80/2）の条件で撮像した．スライス断面は矢状断とし，スライス厚を2.5 mmとして検討した．また，摘出脊椎をX線CT装置（東芝TCT 300またはTCT 900 S）を用い，矢状断面でスライス厚2 mm，スライス間隔2 mmで撮像した．撮像条件は電流80 mA，スキャン時間が1秒または4.5秒，512×512のマトリックスとした．

摘出された脊椎をMRI，CTで撮像した後，約7％のsodium carboxymethylcellulose（CMC）にて包埋し，摂氏−80度にて約15—20時間凍結させた．さらに，摂氏−20度にて約6時間保存した後，凍結下に包埋された脊椎をミク



(A) Midsagittal 500/30 (TR msec/TE msec) image of the lumbar spine shows narrowing of the L3-4 and L4-5 disk spaces. There is decreased signal intensity of the anteroinferior aspect of L3 as well as the superior aspect of L4 (arrows).



(B) Midsagittal 2,000/60 image. There is increased signal intensity of the anteroinferior aspect of L3 as well as superior aspect of L4 (arrows).

Fig. 2　Type 1 marrow change in a 60-year old man

ロトームで矢状断面にてカットした．画像と肉眼所見の対比を行い，脱灰後に組織所見の検討を行った．なお，組織学的検討はhematoxylin-eosin（HE）染色，Elastica van Gieson染色，toluidine blue（PH 7.0）染色で行った．

3. 結　果

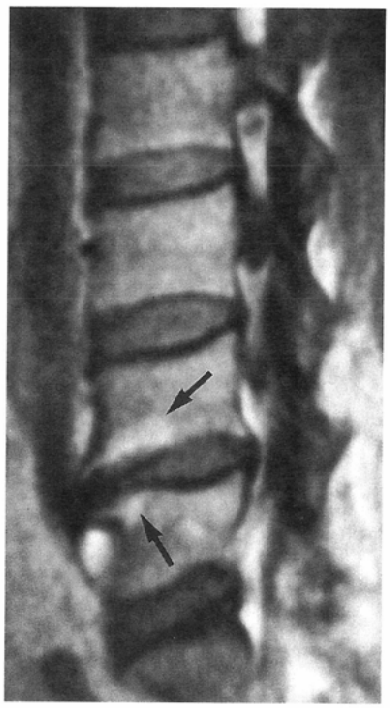
1）各年代における椎体内の各型の変化および椎間板変性の頻度

709人中，1型（Fig. 2(A), 2(B)）は28人（3.9%），2型（Fig. 3(A), 3(B)）は184人（26%），3型（Fig. 4(A), 4(B)）は71人（10%），4型（Fig. 5(A), 5(B)）は142人（20%）に認められた．1型は60歳代以上，2型は30歳代以上，3型は50歳代以上で多く認められ，年齢が増加するほど頻度が高かった．これらの変化は軟骨終板にそった椎体辺縁部に多く認められた．また，3型の辺縁部に2型が併存する症例もみられた．一方，4型は全年齢層に認められたが，10歳代以下の若年者に多かった（Fig. 6）．また，椎間板の変性は10歳代から認められ，高齢者ほど頻度が高かった（Fig. 7）．

2）椎体レベルにおける椎体内の各型の変化および椎間板変性の頻度

3125椎体のうち1型は39椎体（1.2%），2型は302椎体（9.7%），3型は79椎体（2.5%），4型は465椎体（14.9%）に認められた．椎体レベルと椎体内の各型との関係では，1型，2型，3型とも下位腰椎での頻度が高かった．また，4型は第一腰椎での頻度が低かったが，それ以外のレベルでの差はなかった（Fig. 8）．椎間板の変性は全レベルで認められ，特にL 4/5間，L 5/S 1間の椎間板での頻度が高かった（Fig. 9）．

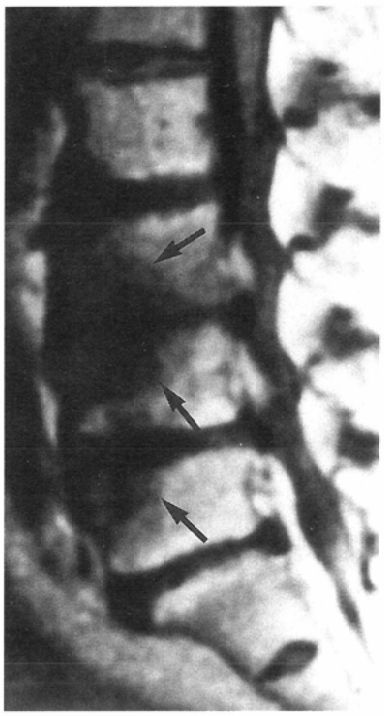
3）椎体内の各型の変化と単純X線写真との比較



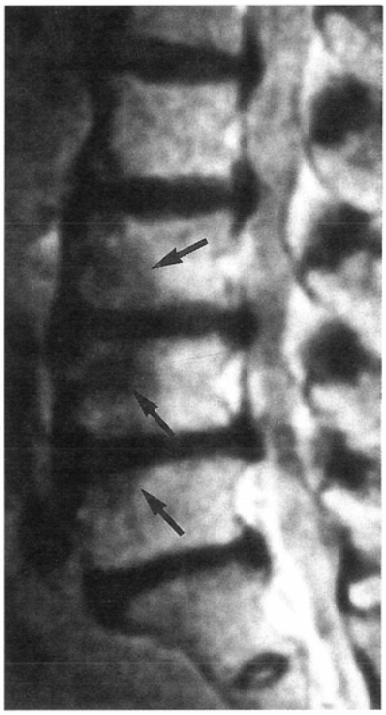
(A) Parasagittal 500/30 image of the lumbar spine: There is evidence of increased signal intensity of the anteroinferior aspect of the L 4 and anterosuperior aspect of L 5 (arrows).

(B) Parasagittal 2000/60 image: There is a decreased signal intensity of the L 4-5 and L 5-S 1 disks.

Fig. 3 Type 2 marrow change in a 52-year old woman



(A) Midsagittal 500/30 image of the lumbar spine: There is narrowing of the L3-4, L4-5, and L5-S1 disk spaces. There is a decreased signal intensity of the anteroinferior aspect of the L3 as well as anterosuperior aspects of L4 and L5 (arrows).



(B) Midsagittal 2000/60 image: There is a decreased signal intensity of all disks. There is a decreased signal intensity of anteroinferior aspect of L3 as well as anterosuperior aspects of L4 and L5 (arrows).

Fig. 4　Type 3 marrow change in a 68-year old woman

単純X線検査にて骨硬化が認められたのは2型と3型で，特に3型での頻度が高く，高度であった．一方，1型，4型では異常を認めなかった（Table 2）．

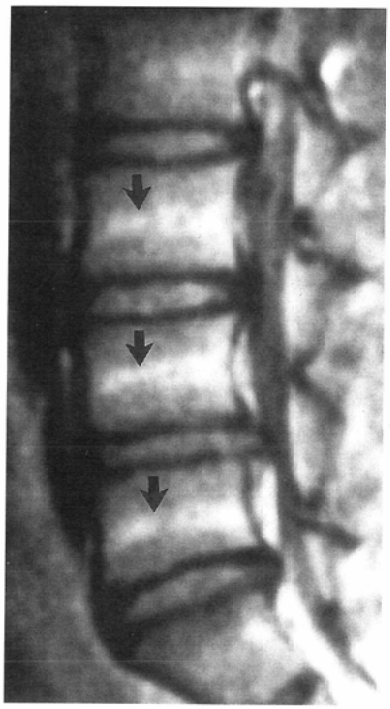
4）組織学的検討

摘出脊椎のMRI像（頭部用コイル，FOV 20 cm）は組織学的に正常骨髄を呈した脊椎では，T1強調像，プロトン密度強調像で高信号強度，T2強調像で軽度低信号強度を示した（Fig. 10 (A)，10 (B)，10 (C)，10 (D)）．表面コイル（FOV 10 cm）を用いたMRI像ではT1強調像にて骨髄の高信号内に骨梁に相当すると考えられる微細な網状の低信号構造を認めた．また，T2強調像では頭部用コイルを用いた場合に比較して椎体骨髄の信号強度が低かった．

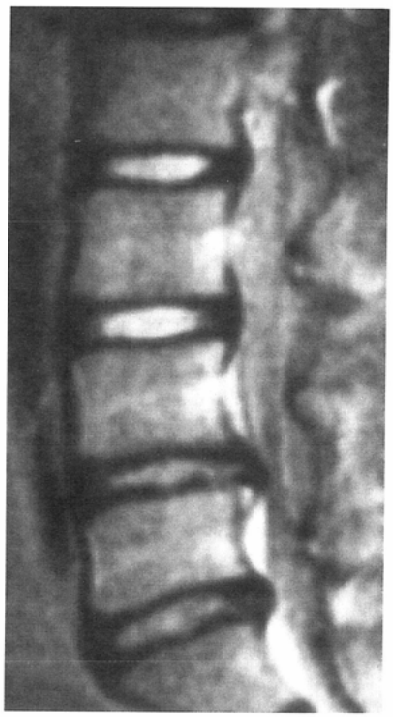
摘出脊椎のMRI検査を行った60椎体のうち1

Table 2　Sclerotic change on plain radiograph in patients with vertebral bone marrow changes

Radiograph		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Sclerosis	None	2	41	0	27
	Mild	0	5	6	0
	Marked	0	0	33	0



(A) Sagittal 500/30 image of the lumbar spine: There are band like structures with high signal intensity in the midportion of the vertebral bodies (arrows).



(B) Sagittal 2000/60 image: There is a slightly increased signal intensity of the midportion of the vertebral bodies.

Fig. 5 Type 4 marrow change in an 11-year old girl

型は3椎体，2型は13椎体，3型は1椎体，4型は1椎体に認められた．1型の変化を示す部位での組織学的変化は骨髄内の限局性の線維化で，内部に拡張した血管も認められた．また，1例には線維化内に軟骨形成も認められ，低信号域として描出された（Fig. 11 (A), 11 (B), 11 (C)）．2型の変化ではT1強調像での高信号域に一致して限局性の脂肪髄化が強く認められた（Fig. 12 (A), 12 (B)）．この変化は椎体の前縁に多く，骨棘内部にまで高信号が及ぶ脊椎もみられた．3型の変化では強い骨硬化を認めたが，組織学的に骨硬化所見を呈してもMRIでは3型の変化を呈さず，むしろ2型の変化を示す病変も認められた（Fig. 13 (A), 13 (B), 13 (C)）．4型の変化ではT1強調像でみられる椎体中央部の横走する高信号域に一致して限局性の脂肪髄化を強く認めた（Fig. 14 (A), 14 (B), 14 (C), 14 (D), 14 (E)）．また，1型，2型，3型に接する椎間板では軟骨終板の亀裂や断裂，線維輪部の線維化の増大がみられた（Fig. 15 (A), 15 (B), 15 (C)）．

CTとの比較では1型，4型にはCT上異常を認めず，3型で骨硬化を認めた．2型では軽度の骨硬化を呈するものと，異常を示さないものがみられた．

4. 考　察

骨髄は胎性期にはほとんど造血髄（赤色髄）で占められ，加齢とともに脂肪髄の割合が増加してくる．脂肪髄化は骨によりその進行の割合はさまざまで，四肢の長管骨では早く生じるが，脊椎，骨盤，肋骨，胸骨は大人でも多くの赤色髄を含んでいる[7]．MRIにおける脊椎の信号強度は骨髄の

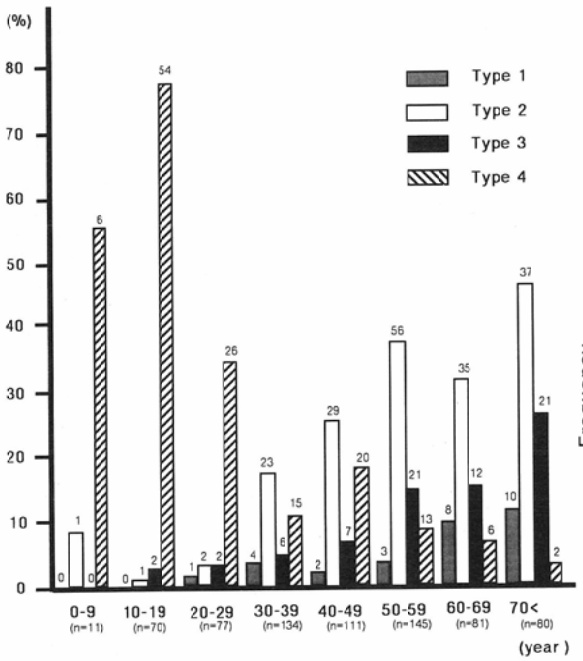


Fig. 6 Frequency of vertebral bone marrow changes by patient age in decades

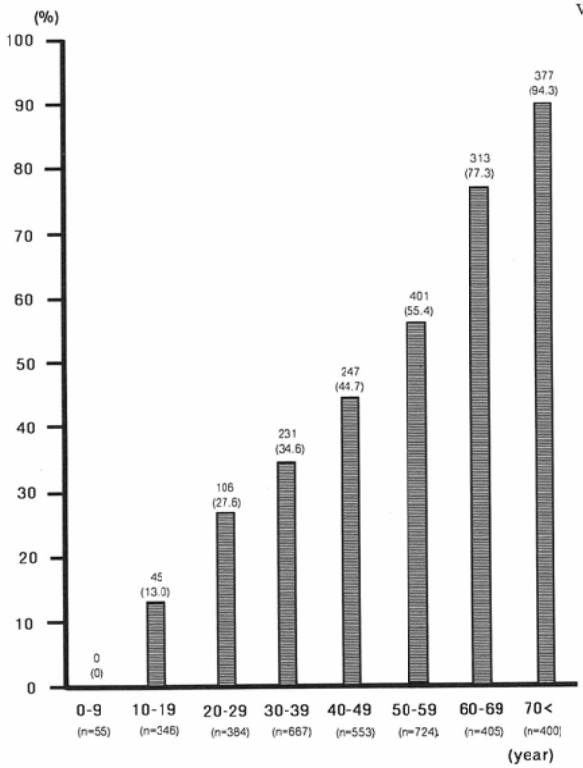


Fig. 7 Frequency of degenerated disks by patient age in decades

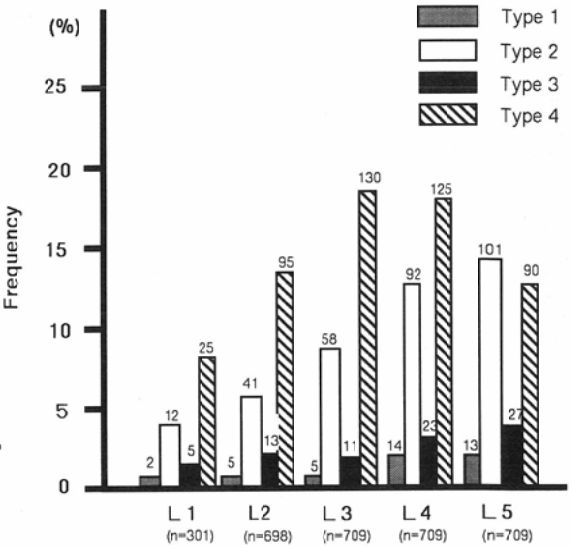


Fig. 8 Frequency of vertebral bone marrow changes by vertebral level

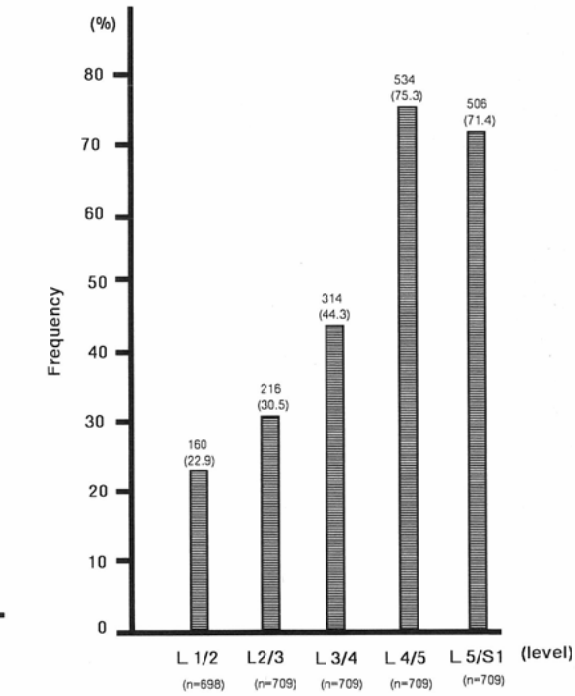
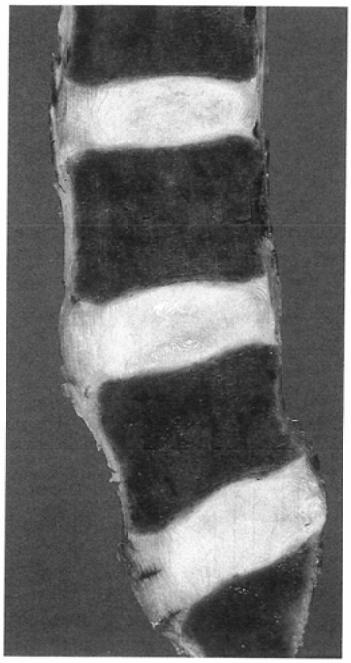
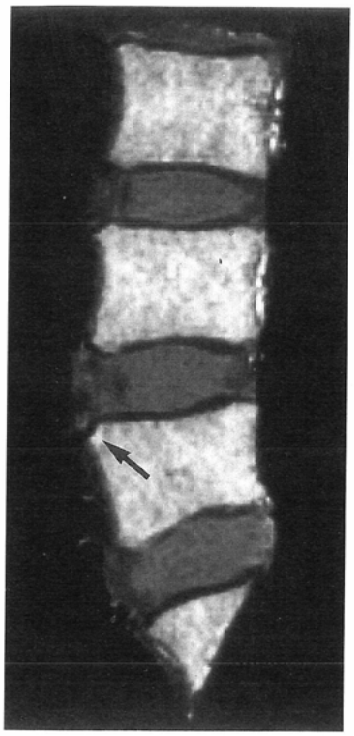


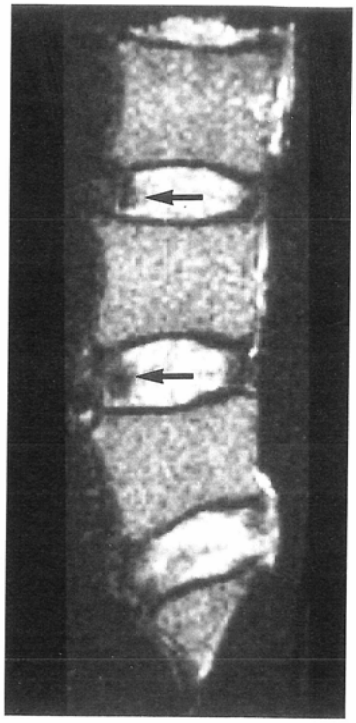
Fig. 9 Frequency of degenerated disks by vertebral level



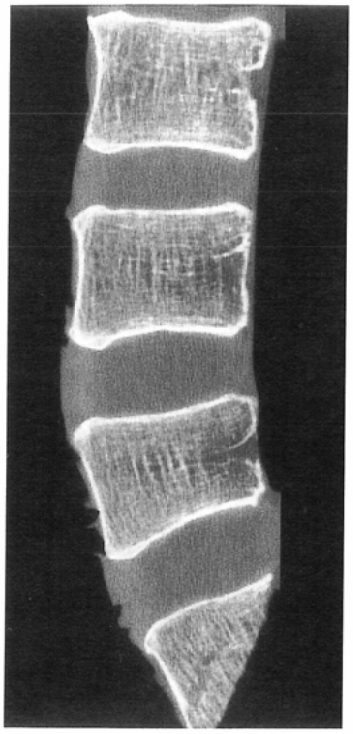
(A)



(B)



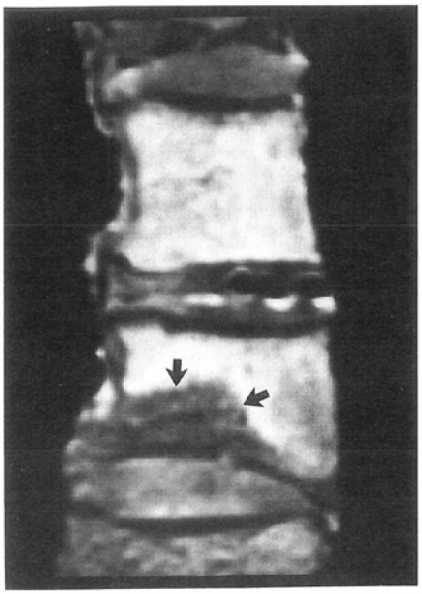
(C)



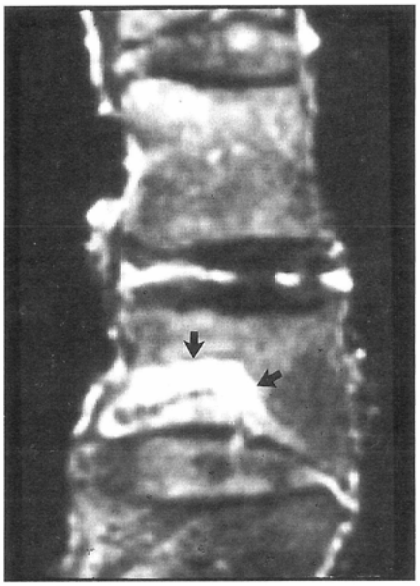
(D)

(A) Midsagittal view of the anatomic specimen
(B) Correlative MR (500/30) image of cadaveric spine : Bone marrow of the vertebral bodies have relatively homogeneous appearance. There is type 1 marrow change at the anterosuperior corner of the L 5 (arrow).
(C) Correlative MR (2,000/80) image of cadaveric spine : There is decreased signal intensity of the anterior portion of the L 3-4 and L 4-5 disks (arrows).
(D) Correlative CT image of cadaveric spine

Fig. 10 Cadaveric lumbar spine in a 43-year old man

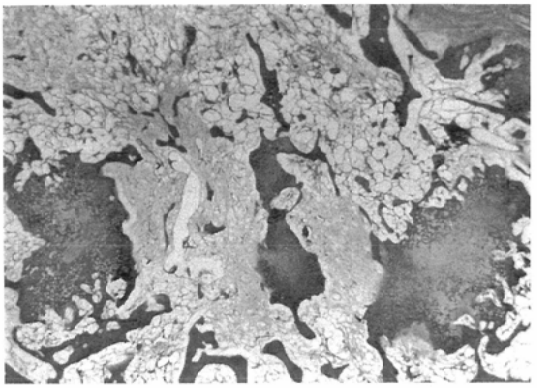


(A) Parasagittal 500/30 image of cadaveric spine: There is a decrease signal intensity of the anteroinferior aspect of the T 12 (arrows).

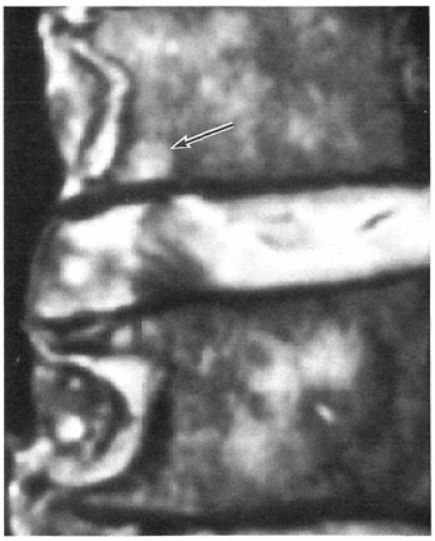


(B) Parasagittal 2,000/80 image of cadaveric spine: There is a increased signal intensity of anteroinferior aspect of the T 12 containing decreased signal intensity (arrows).

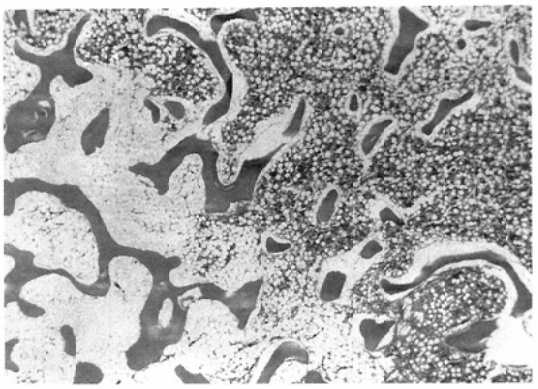
Fig. 11　Cadaveric spine in a 78-year old man



(C) Histopathologic specimen (HE, X 5) showing type 1 change: Fibrous tissue has replaced normal marrow. Cartilaginous matrix is also noted.



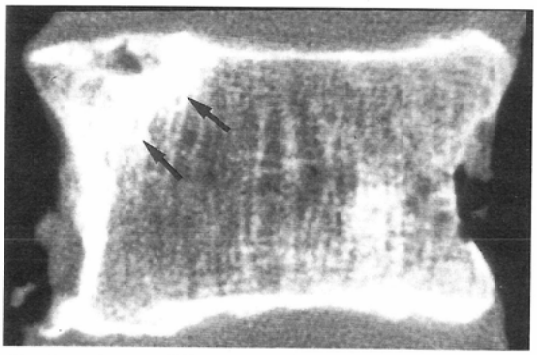
(A) Parasagittal 500/30 image of cadaveric spine: There is increased signal intensity of the anteroinferior aspect of the L 4 (arrow).



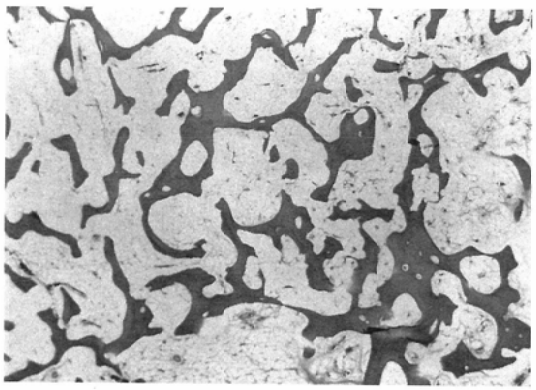
(B) Histopathologic specimen (HE, X 5) showing the transitional zone between the fatty marrow (lower left) and normocelluar marrow (right).

Fig. 12　Cadaveric spine in a 58-year old man

(A) Sagittal view of the anatomic specimen

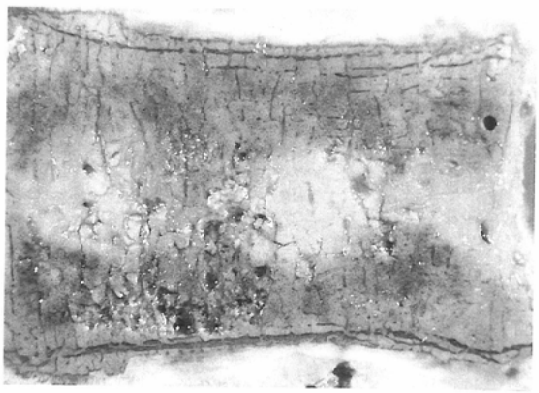


(B) Correlative CT image of cadaveric spine shows increased density of the anterosuperior aspect of the spine (arrows).

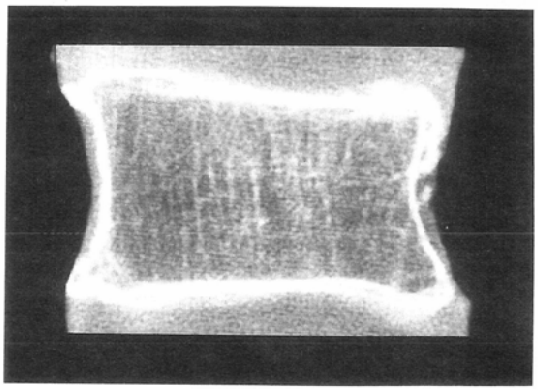


(C) Histopathologic specimen (HE, X 5) compatible with sclerosis on CT. Thickened trabeculae and the intervening fatty marrow are observed.

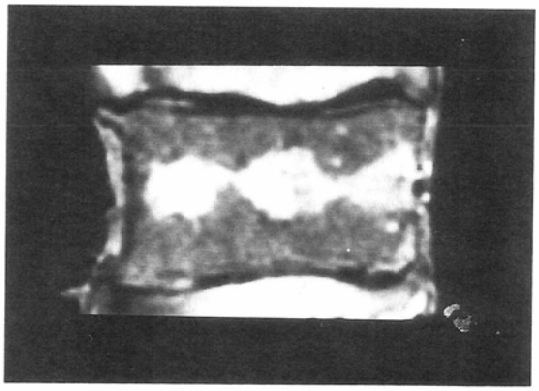
Fig. 13 Cadaveric spine in a 73-year old man



(A) Sagittal anatomic specimen.

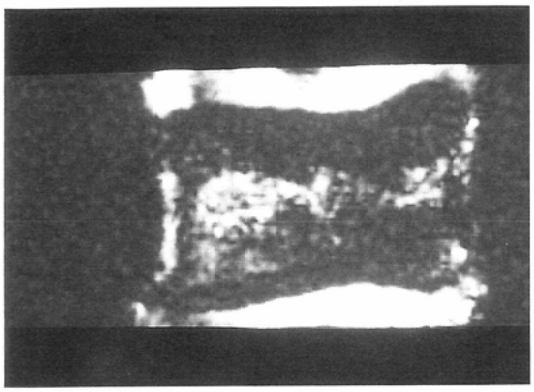


(B) Correlative CT image of cadaveric spine. There are no density changes in the spine.

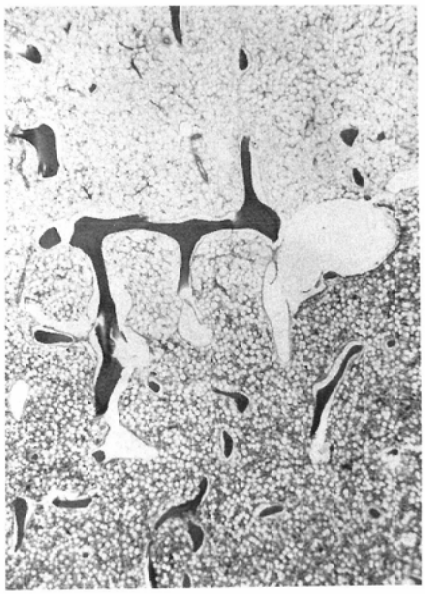


(C) Correlative MR (2,000/30) image of cadaveric spine. There is increase signal intensity in the midportion of the spine.

Fig. 14 Cadaveric spine in a 66-year old man



(D) Correlative MR (2,000/80) image of cadaveric spine. There is increased signal intensity in the midportion of the spine.



(E) Histopathologic specimen (HE, X 5) showing the junction of the type 4 change (upper) and normocelluar marrow (lower).

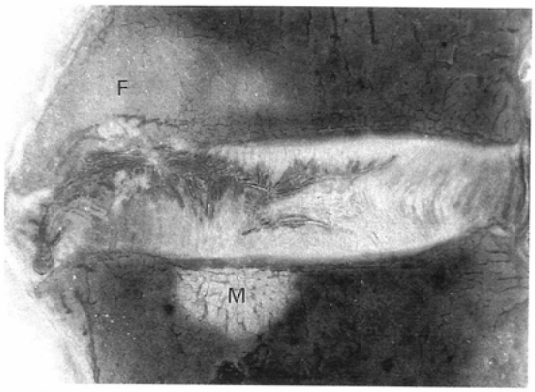
Fig. 14

水分と脂肪のプロトンに由来し，正常ではT1強調像で中等度の信号強度，T2強調像で軽度低信号を呈する[8]．若年者では腰椎骨髄は血管部を除いて均一で，中等度の信号強度を呈し，加齢とともに腰椎骨髄のT1，T2値が短縮し信号強度が高くなる[9]．また，健常者に比べて脊椎症性変化のみられる患者では椎体骨髄のT1値が短縮している[10]．これらの変化は骨髄の脂肪髄化が原因と考えられ，高齢者ではその分布によって不均一な信号強度を呈することもある[11]．

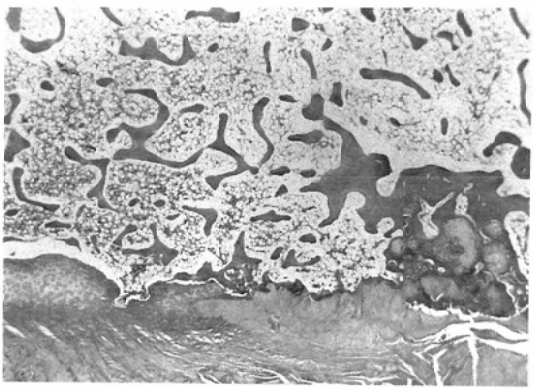
一方，椎間板も加齢とともにmucopolysaccharideや水分量が減じてくる．組織学的には線維化が進みコラーゲンが増加すると髄核のゲル状態が失われ，椎間板の弾力性も失われる．さらに，髄核は周囲軟骨で置き換えられ，容積の減少，後方への偏位が生じ，線維輪との境界が不明瞭になってくる[12]．この椎間板の変性はMRIにて椎間板高の減少，T1値，T2値の短縮として示され，特にT2強調像での信号強度が低下する[13),14),15]．今回の検討でも年齢が増加するにつれて変性の頻度が高くなり，50歳代以上では半数以上の椎間板で信号強度の低下を認めた．また，下位の腰椎での椎間板変性の頻度が高く，これは従来の報告と同様の結果であった[13),15]．

脊椎の信号強度の変化をきたす病的変化としては原発性腫瘍[16]，転移性腫瘍[17),18]，感染性脊椎炎[19]，椎間板炎[20]，椎間板変性[4),5),21]，圧迫骨折[22]，放射線による変化[23),24),25]，Paget病[26]，関節リウマチ[26]，血液疾患[28),29),30]，ヘモクロマトーシス[31]，脊椎梗塞[32]，骨壊死[33]などがあり，脊椎の信号強度が限局性またはびまん性に変化する．この中で椎間板や椎体の変性に伴って椎体の信号強度が変化することがあり，これはその他の病態との鑑別に重要である．Modicら[4]はこの変化を2型に，de Roosら[5]は3型に分類し，椎間板変性との関連を重視している．今回，我々もこれらの報告を参考に椎体の信号強度を分類し，これに椎体中央に線状の高信号域を示す変化を4型として加え検討した．

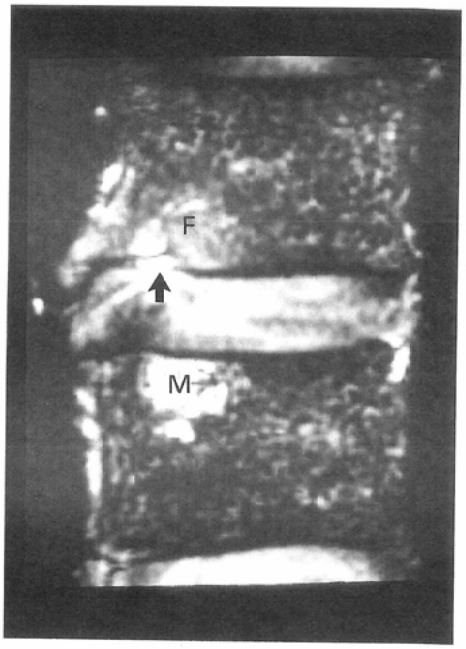
1型の変化は組織学的には終板にそった骨髄内のfibrovascular tissueで，これらの変化によりT1，T2値が延長したためと考えられている[4]．今回の検討ではこの変化に相当する組織学的変化として限局性の線維化が認められ，その内部に拡



(A) Sagittal anatomic specimen : There are osteophytes at the anterior corner of the spine. Fatty marrow replacement (F) and metastatic nodule (M) are also noted.



(C) Histopathologic specimen (HE, X 5) corresponding to endplate change on MRI. There is interruption of endplate with nodular extension of cartilaginous matrix. Thickened trabeculae and fatty marrow are present adjacent to the interrupted endplate.



(B) Correlative MR (2,000/80) image of cadaveric spine : There is increased signal intensity of the regions of the fatty marrow replacement (F) and metastatic nodule (M). Endplate near the fatty marrow replacement is disrupted by high signal intensity (arrow).

Fig. 15 Cadaveric spine in a 76-year old man

張した血管も認められた．また，一部には軟骨形成を含んでいたが，この軟骨部はT2強調像にて低信号域として描出された．1型の変化は椎体の椎間板面に認められ，椎間板の変性や椎間板ヘルニアに伴うことが多い．この頻度は我々の検討では約4%にみられ，特に60歳代以上の高齢者に多かった．一方，高磁場装置（1.5 T）による検討でも約4%に認められ，椎間板変性に伴う非特異的変化と考えられている[4]．しかし，この変化と患者の症状との関連を推定する報告[34]もあり，今後の検討が期待される．

1型の変化はMRI診断上よく経験される信号変化で，同様の変化を示す他の疾患との鑑別が重要である．特に骨髄炎[19]，椎間板炎[20]，骨転移[17),18]，圧迫骨折[22]などとの鑑別が問題である．1型の変化では椎間板変性を伴いT2強調像にて椎間板の信号強度が低下していることが多い[4]．一方，骨髄炎，椎間板炎では椎間板は正常か炎症の波及により高信号強度となることが多い[19),20]．また，転移性腫瘍との鑑別では1型は終板にそった分布をとり，板状の形態を呈することが多いのに対して，転移性腫瘍では椎体中央や椎弓に変化を認めることが多い．また，腫瘍と健常骨髄の緩和時間の比が良悪性の鑑別に有用との報告もみられる[35]．圧迫骨折でも1型の信号変化を呈するが，圧迫骨折では椎間板は正常であることが多

く，単純X線検査で骨折を認めればその鑑別は困難でない[36]．

2型の変化は骨髄の脂肪髄化によるT1の短縮が原因と考えられ，組織学的には終板の破壊，脂肪組織への置換がみられる[4]．脂肪髄化は血液供給の影響を受け，加齢とともに終板での血管網の減少や局所的な骨髄の虚血が脂肪髄化を引き起こす原因になる[5]．また，慢性的荷重や二次的な脊椎症的変化も骨髄への血液供給を減少させ，脂肪髄化を引き起こすと言われている[6]．

2型の頻度は我々の検討では全体の約26.7%に認められ，50代以上では30%以上に認められた．これは低磁場装置での検討であるが，超電導装置(1.5 T) での検討では60%に認められたとの報告[6]がある．また，変性椎間板にそった変化に限ると約12%[5]，約16%[4]などの頻度が報告されている．同じ撮像条件では高磁場装置は低磁場装置に比べT1緩和がより強調される．したがって，2型の描出は高磁場装置の方がより敏感と考えられ，我々の報告との頻度に差が生じたものと思われた．また，対象となる年齢や脊椎変性の程度などによりその頻度は影響を受けるものと思われる．

2型の変化は椎体の辺縁部に多く，帯状，斑状などの形態をとる．また，腰椎だけでなく頸椎，胸椎にも認められる[6]．今回の検討でも2型の変化は下位腰椎で，椎体前縁に多く認められた．これは下位腰椎では脊椎変性の頻度が高いことと関係するものと思われた．また，この変化は年齢が高いほど多く認められるが，若年者においても強い脊椎変形がある患者で，荷重のかかる部位にも認められた．したがって，2型の変化は高齢者においては生理的変化として捉えられその臨床的意義は少ないが，若年者においては脊椎の変性の評価に有用な所見と考えられた．

椎体内に2型の変化をきたす病態の鑑別としては脂肪腫，骨転移，血管腫[37]などがあげられる．しかし，これらの疾患では単純X線写真やCT検査で異常を認めることが多く[38]，X線検査で異常を認めることの少ない2型との鑑別は可能であることが多い．

3型の変化は単純X線像での骨硬化領域に一致し，mobile protonの減少が信号強度の低下の原因と考えられる．今回の検討では約10%に認められ，50歳代以上の症例に多かった．臨床的には硬化性骨転移などの骨硬化像を呈する疾患との鑑別が必要になってくる．3型の変化は椎間板変性や骨棘などの骨変化を伴っていることが多く，これらの鑑別には単純X線検査やCT検査を参考にすることが重要と思われる．また，3型の変化の辺縁部に2型の変化を伴うことも少なくなく，骨硬化性腫瘍との鑑別点と考えられた．

1型，2型，3型の変化はいずれも年齢が高いほど，また，下位腰椎に多く認められた．また，これらの変化をきたした椎体に接する椎間板にはほとんどの症例で信号強度の低下を認め，椎間板変性との関係が強く示唆された．今回は各型の経時的変化については検討しなかったが，我々は1型から2型への移行がみられた1例を経験した．また，Modicら[4]も1型から2型へ移行した症例を報告し，2型の変化を椎体変性の慢性状態と考えている．

今回はSE法により椎体骨髄の検討を行ったが，骨髄病変の描出にchemical shift imaging[39]やshort inversion time inversion recovery (STIR)[40]を用いる方法も報告されている．また，椎間板の変性に伴う椎体骨髄の変化もT2強調SE法よりSTIR法やpartial saturation法を用いた方が正常部と異常部のコントラストが強いとの報告[21]もあり，SE法での描出が不十分な場合には試みられるべき撮像法と思われる．

椎体中央部でbasivertebral veinにそって線状の高信号域が認められる4型の原因としてendochondral ossification center[41]を示すとするもの，椎体内静脈の血流との関係を想定する報告[42]などがみられる．組織学的には椎体内静脈にそった脂肪髄化と考えられ，今回の検討でも椎体中央部の高信号域に一致して脂肪髄化が確認された．4型の変化のみられる椎体の中央部は周辺部に比べて太い静脈叢が存在し，細動脈の分布も乏しく[43]，これらの血管分布や血流量の差が影響しているものと考えられた．

4型の頻度は30歳未満の若年者に高く，50歳代以上では10%以下であった．Ricciら[11]はこの変化は20歳以下の47%に認められ，30歳以上ではほとんどみられなかったとしている．また，頸椎，胸椎，腰椎でその頻度に差を認めていない．高齢者では若年者に比べて骨髄の脂肪髄化が進行しており，椎体全体の信号強度が上昇することも4型の変化が捉えにくくなる一因と思われた．

健常者ではこの変化は病的意義をもたないが，同部の脂肪髄が限局性に残存し腫瘤様の所見を呈する場合には2型と同様の鑑別が必要になる．また，骨髄移植を受けた患者では，移植後約3カ月以内に4型と同様のband patternが出現し，骨髄の再生を評価するのに有用との報告もみられる[44]．

単純X線写真との比較においては1型，4型の変化では骨硬化を示すものはなかった．一方，3型では84.6%に強い骨硬化が認められ，2型にも一部の症例で軽度の骨硬化を認めた．これは骨髄の脂肪髄化だけでなく，脊椎の変性による骨梁の増大や骨硬化が併存するためと思われた．また，de Roosら[5]も椎体に限局性の信号強度の変化を来した20例の単純X線検査との比較で，3型を示した1例は軟骨終板の硬化像を認めたが，1型，3型には骨髄の変化に相当する所見はなかったとしている．

単純X線検査やCTで骨硬化がみられてもMRIでは必ずしも3型の変化を呈するとは限らない．骨硬化は脊椎の強い変性所見であるが，骨硬化内に強い脂肪髄化や線維化が存在することがあり，その程度によりMRIでの信号変化が軽度であったり，むしろ1型や2型の変化を呈する場合もある[45]．したがって，骨硬化の評価はMRIのみでは過小評価されることが考えられ，単純X線検査やCT検査による診断が必要と思われる．

単純X線検査やCT検査では，今回検討した4つの椎体骨髄の変化のうち3型の変化を骨の硬化所見として認識することが可能であったが，1型，2型，4型の変化を捉えることは困難であった．1型や2型の変化は脊椎の変性を示す重要な所見であり，その評価にMRIは重要な検査法と考えられた．また，1型の変化と患者の症状との関連性についても推定されており，治療方針の決定や経過観察にもMRIは有用と思われた．

5. まとめ

常電導MRI装置（0.22 T）を用いて709人の腰椎椎体（3125椎体）および椎間板（3534椎間板）の信号強度を検討した．

1. 椎体の信号強度の変化のうち1型は3.9%，2型は26%，3型は10%，4型は20%に認められた．

2. 1型，2型および3型の変化は年齢が高くなるほど頻度が増加する傾向にあった．一方，4型は若年者に多く認められた．

3. 椎体レベルでは1型，2型および3型は下位腰椎に多かった．また，4型は第一腰椎での頻度がやや低かったものの他のレベルでの差はなかった．

4. 組織学的には1型では限局性の線維化を認めた．2型と4型ではMRIでの高信号域に一致して強い脂肪髄化を認めた．また，3型では骨硬化所見を認めた．

5. 椎間板の変性は年齢が高いほど多くみられ，下位椎間板での頻度が高かった．

6. 単純X線写真との比較では，3型は硬化性変化として認められるものが多かった．1型，4型では単純X線検査にて変化を認めなかった．

7. 椎体内における各変化を生理的変化の一つとして認識することは，それらを病的状態と誤り，侵襲のある検査や治療を避けるために重要と思われた．

稿を終えるにあたり，本研究にご協力頂いた宮崎医科大学放射線医学教室田原義弘技官，附属病院病理部佐藤信也技官に厚くお礼申し上げます．

本研究には平成3年度教育研究学内特別経費の補助を受けた．

なお，本論文の要旨の一部は第48回日本医学放射線学会総会（1989年4月，神戸）において発表した．

文　献

1) Han JS, Kaufman B, EI Yousef SJ, et al : NMR imaging of the spine. AJR 141 : 1137-1145, 1983
2) Hayes CW, Jensen ME, Conway WF : Non-neoplastic lesions of vertebral bodies ; findings in magnetic resonance imaging. RadioGraphics 9 : 883-903, 1989
3) Steiner RM, Mitchell DG, Rao VM, et al : Magnetic resonance imaging of bone marrow ; diagnostic value in diffuse hematologic disorders. Magnetic Resonance Quarterly 6 : 17-34, 1990
4) Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, et al : Degenerative disk disease ; assessment of changes in vertebral bony marrow with MR imaging. Radiology 166 : 193-199, 1988
5) de Roos A, Kressel H, Spritzer C, et al : MR imaging of marrow changes adjacent to end plates in degenerative lumbar disk disease. AJR 149 : 531-534, 1987
6) Hajek PC, Baker LL, Goobar JE, et al : Focal fat deposition in axial bone marrow ; MR characteristics. Radiology 162 : 245-249, 1987
7) Kricun ME : Red-yellow marrow conversion ; its effect on the location of some solitary bone lesions. Skeletal Radiology 14 : 10-19, 1985
8) DeLaPaz RL : Physical basis and anatomic correlates of MR signal in the spine and cord. (In) Enzmann DR, et al eds : Magnetic resonance of the spine. 108-126, 1990. Mosby Co., St. Louis
9) Dooms GC, Fisher MR, Hricak H, et al : Bone marrow imaging : magnetic resonance studies related to age and sex. Radiology 155 : 429-432, 1985
10) 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 T 1 画像の有用性．画像診断　5：877-883，1985
11) Ricci C, Cova M, Kang YS, et al : Normal age-related patterns of cellular and fatty bone marrow distribution in the axial skeleton ; MR imaging study. Radiology 177 : 83-88, 1990
12) Pritzker KPH : Aging and degeneration in the lumbar intervertebral disc. Orthop Clin North Am 8 : 65-77, 1977
13) Jenkins JPR, Hickey DS, Machin M, et al : MR imaging of the intervertebral disc : a quantitative study. Br J Rad 58 : 705-709, 1985
14) 杜若陽祐，鍋島一樹，木原　康，他：腰椎椎間板の MRI に関する基礎的検討．日本医放会誌　48：166-172，1988
15) Sether LA, Yu S, Haughton VM, Fisher ME : Intervertebral disk : normal age-related changes in MR signal intensity. Radiology 177 : 385-388, 1990
16) Fruehwald FJ, Tscholakoff D, Schwaighofer B, et al : Magnetic resonance imaging of the lower vertebral column in patients with multiple myeloma. Invest Radiol 23 : 193-199, 1988
17) Daffner RH, Lupetin AR, Dash N, et al : MRI in the detection of malignant infiltration of bone marrow. AJR 146 : 353-358, 1986
18) 杉村和朗，杉原正樹，古川雅彦，他：転移性椎体腫瘍の MRI．日本医放会誌　49：555-561，1989
19) Modic MT, Feiglin DH, Piraino DW, et al : Vertebral osteomyelitis ; assessment using MR. Radiology 157 : 157-166, 1985
20) du Lac P, Panuel M, Devred P, et al : MRI of disc space infection in infants and children ; report of 12 cases. Pediatr Radiol 20 : 175-178, 1990
21) Lenz GP, Assheuer J, Lenz W, Gottschlich KW : New aspects of lumbar disc disease ; MR imaging and histological findings. Arch Orthop Trauma Surg 109 : 75-82, 1990
22) Yuh WTC, Zachar CK, Barloon TJ, et al : Vertebral compression fractures ; distinction between benign and malignant causes with MR imaging. Radiology 172 : 215-218, 1989
23) Ramsey RG, Zacharias CE : MR imaging of the spine after radiation therapy : easily recognizable effects. AJR 144 : 1131-1135, 1985
24) Remedios PA, Colletti PM, Raval JK, et al : Magnetic resonance imaging of bone after radiation. Magnetic Resonance Imaging 6 : 301-304, 1988
25) Yankelevitz DF, Henschke CI, Knapp PH, et al : Effect of radiation therapy on thoracic and lumbar bone marrow ; evaluation with MR imaging. AJR 157 : 87-92, 1991
26) Roberts MC, Kressel HY, Fallon MD, et al : Paget disease ; MR imaging findings. Radiology 173 : 341-345, 1989
27) Aisen AM, Martel W, Ellis JH, McCune WJ : Cervical spine involvement in rheumatoid arthritis : MR imaging. Radiology 165 : 159-163, 1987
28) McKinstry CS, Steiner RE, Young AT, et al : Bone marrow in leukemia and aplastic anemia : MR imaging before, during, and after treatment. Radiology 162 : 701-707, 1987
29) Smith SR, Williams CE, Davies JM, et al : Bone marrow disorders ; characterization with quantitative MR imaging. Radiology 172 : 805-810, 1989
30) Negendank W, Weissman D, Bey TM, et al : Evidence for clonal disease by magnetic resonance imaging in patients with hypoplastic marrow disorders. Blood 78 : 2872-2879, 1991

31) 吉田英夫，真野　勇，浅井左江，他：Iron storage diseaseのMRI. 臨床放射線　30：1099-1102，1985
32) Yuh WTC, Marsh EE, Wang AK, et al: MR imaging of spinal cord and vertebral body infarction. AJNR 13: 145-154, 1992
33) Naul LG, Peet GJ, Maupin WB: Avascular necrosis of the vertebral body: MR imaging. Radiology 172: 219-222, 1989
34) Heithoff KB, Amster JL: The spine. (In) Mink JH, Deutsch AL, ed, MRI of the musculoskeletal system; a teaching file, 129-134, 1990. Raven Press, New York
35) Sugimura K, Yamasaki K, Kitagaki H, et al: Bone marrow disease of the spine; differentiation with T1 and T2 relaxation times in MR imaging. Radiology 165: 541-544, 1987
36) 杜若陽祐，浅田敬子，杜若幸子，他：脊椎圧迫骨折のMRI. 日磁医誌　11：189-194，1991
37) Braitinger VS, Weigert F, Held P, et al: CT und MRT von Wirbelhämangiomen. Fortschr Röntgenstr 151: 399-407, 1989
38) 江原　茂：脂肪を含む骨破壊性変化の鑑別診断. 臨床放射線　36：677-681，1991
39) Wismer GL, Rosen BR, Buxton R, et al: Chemical shift imaging of bone marrow; preliminary experience. AJR 145: 1031-1037, 1985
40) Jones KM, Unger EC, Granstrom P, et al: Bone marrow imaging using STIR at 0.5 and 1.5 T. Magnetic Resonance Imaging 10: 169-176, 1992
41) Han JS, Benson JE, Yoon YS: Magnetic resonance imaging in the spinal column and craniovertebral junction. Radiol Clin North Am 22: 805-827, 1984
42) Reicher MA, Gold RH, Halbach VV, et al: MR imaging of the lumbar spine: anatomic correlations and the effects of technical variations. AJR 147: 891-898, 1986
43) Wiley AM, Trueta J: The vascular anatomy of the spine and its relationship to pyogenic vertebral osteomyelitis. J Bone Joint Surg (Br) 41: 796-809, 1959
44) Stevens SK, Moore SG, Amylon MD: Repopulation of marrow after transplantation: MR imaging with pathologic correlation. Radiology 175: 213-218, 1990
45) Jensen ME, Hayes CW, DeBlois GG, Laine FJ: Hemispherical spondylosclerosis: MR appearance. J Comput Assist Tomogr 13: 540-542, 1989