



Title	転移性脊椎腫瘍のMR診断の転移形式について- Gradient Field Echo法による検討-
Author(s)	杉山, 彰
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1994, 54(8), p. 767-775
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15117
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

転移性脊椎腫瘍の MR 診断と転移形式について

— Gradient Field Echo 法による検討 —

杉 山 彰

静岡済生会総合病院放射線科

Study of Vertebral Metastasis by MR Imaging : Significance of T2*Weighted Image (Gradient Field Echo) and Metastatic Pattern

Akira Sugiyama

Fifty-one patients with vertebral metastasis were studied by MR imaging. T1 and T2*-gradient field echo (FE) sequences (0.5 Tesla) were performed in all patients. Primary sites were the lung (10 cases), breast (9 cases), colorectal area (9 cases), prostate (7 cases), liver (4 cases) and others. Of the 618 vertebrae evaluated, 315 had metastatic abnormalities, 241 (76.5%) of which showed low intensity on T1-weighted images. High intensity lesions on T2* weighted images were seen in 301 vertebrae (95.5%).

Concerning the distribution of metastatic lesions, lumbosacral vertebrae were the most common sites, with the thoracic spine second in frequency. No significant difference was noticed between these primary sites. A total of 244 metastatic lesions occupied most of the vertebral body, 49 of which were accompanied with epidural tumors. Seventy-one small lesions were considered early metastasis, two-thirds of which were located in the metaphysis

of vertebrae. No epidural tumors were seen in this group.

These findings suggest that the main route for metastatic cancer cells to the vertebrae is the systemic circulation rather than the vertebral venous system.

はじめに

転移性骨腫瘍は脊椎に最も多く見られ、進行した転移は周囲に進展し、疼痛、神経症状などを起こし、患者の予後に大いに影響する。そのため、麻痺などの重篤な症状を防ぐためには早期診断、早期治療が重要になってくる。ほとんどの脊椎転移は早期には骨髄転移として生じるため、骨髄の評価に最も適した MRI は脊椎転移の診断に欠かせない検査となっている。MRI の機種によってさまざまな撮像法があり、おのおのの特徴を生かした診断が行われる。我々はまず Gradient Field Echo 法 (以下 FE 法) による T1, T2*強調画像を使い、有用性について検討した。次に MR 画像を中心として脊椎転移の形式を調べた。

対 象

1988 年 10 月から 1992 年 10 月までに、固形癌の転移性脊椎腫瘍 51 例に対して MRI を行った。頸椎 74 個、胸椎 260 個、腰仙椎 284 個の計 618 椎体について評価した。男性 32 人、女性 19 人、年齢は 34-80 歳、平均 52.3 歳である。骨転移の診断は臨床経過と画像診断 (骨シンチ, X線写

Reserch Code No. : 505.9

Key word : Vertebral metastasis, MR imaging,
Epidural tumor

Received Mar. 18, 1993 ; revision accepted Sep. 8, 1993

Department of Radiology, Shizuoka Saiseikai General Hospital

真)にて行い、原発不明や不確実なものは手術または生検を行った。全例に疼痛や、神経症状があり、手術や放射線治療の開始前のものである。化学療法、ホルモン療法は乳癌、前立腺癌の多くに行われていた。前立腺癌は2例を除き、他の5例は、骨転移の診断がついてからMRI撮影まで1年から3年10カ月の期間があった。原発巣は肺癌10例、乳癌、大腸直腸癌がおのおの9例、前立腺癌7例、肝癌5例、胆管癌4例、子宮頸癌、中咽頭癌、胃癌がおのおの1例、原発不明が4例である。原発不明癌は生検、手術により2例は腺癌、1例はリンパ上皮腫と診断し、1例は肉腫が疑われた。肺癌は腺癌8例、扁平上皮癌2例である。

方 法

MRI装置は東芝製MRT-50A, 0.5T(テスラ)である。撮影条件はT1強調画像(Gradient Field Echo法 TR 400msec, TE 14msec, Flip angle 90°), スライス厚5mmとT2*強調画像(Gradient Field Echo法: TR 500msec, TE22msec, Flip angle 20°), スライス厚10mm, ギャップレスにて矢状断を撮影した。次に水平断を撮影した。頸椎、胸椎についてはT2*強調画像、腰椎についてはT2強調画像(Spin-Echo法: TR 1800-2000msec, TE30/100 msec), スライス厚

5-10mmにて撮影した。マトリックスは256×256, 加算回数は2-4回, FOV(field of view)は25-35cmである。

618椎体について、その単純X線写真所見とMRIのシグナルとの関係を検討した。病巣のシグナルはT1強調画像にて正常椎体と比べ、高信号、等信号、低信号に分け、T2*強調画像は高信号、低信号、混合信号に分けた。正常椎体のMRIはT1強調画像にて中等度の高信号、T2*強調画像にて低信号であるのでT1強調画像にて低信号、またはT2*強調画像にて高信号を異常とした。変性による信号異常と鑑別のつかない部位は除外した。

次に転移の形式を調べるため、脊椎内の転移巣の分布と椎体内での位置を検討した。脊椎は頸椎、胸椎、腰仙椎に分け、頸椎のC2から仙椎のS3までを評価した。椎体内の転移巣の位置は、脊椎を椎体と椎弓根、後方成分に分け、転移が始まる部位を調べた。椎体は前半部と後半部に分け、動脈、静脈の支配から椎体終板、骨皮質に接する椎体の末梢部(骨幹端に相当する)と、椎体静脈周囲の中央部に分けた。矢状断のT2*強調画像を主に使い、頸椎や上部胸椎は3スライス、下部胸椎や腰椎は5スライスにて評価した。

Table 1 Comparison of primary tumor with radiographic findings of vertebral metastases

Primary tumor	Radiographic findings				Total
	Osteolytic	Osteoblastic	Mixed	Negative	
Lung	4	1	4	1	10
Breast	4	0	5	0	9
Prostate	1	2	4	0	7
Colo-rectal	6	0	1	2	9
Hepatoma	5	0	0	0	5
Bile duct	3	0	0	1	4
Unknown	3	0	0	1	4
Others	2	0	0	1	3
Total	28	3	14	6	51

結 果

評価した 618 椎体のうち頸椎 30 個、胸椎 142 個、腰仙椎 143 個の計 315 椎体に転移があると診断した。

1. X線分類とMRIシグナルの対比: Table 1に原発巣ごとのX線所見をまとめた。最も変化の強く、所見の明らかな部位にて診断した。X線所見は溶骨型 28 例、造骨型 3 例、混合型 14 例、所見のないもの 6 例であった。溶骨型が最も多く、肝癌の全例、大腸癌、胆管癌、その他の癌についてもほとんどを占めた。造骨型は前立腺癌の 2 例、肺癌の 1 例に見られ、混合型は肺癌、乳癌、前立腺癌、大腸癌におおの 4, 5, 4, 1 例見られた。混合型と造骨型は合わせて 17 例であるが、転移骨の数は 160 椎体と広範な進展を示す症例が多かった。

Table 2にX線型とMRIシグナルとの関係を示した。T1強調画像にて低信号、T2*強調画像にて高信号を示す病巣が 211 椎体と多く、この中に造骨型の 3 例、7 椎体が含まれていた。T1強調画像にて等信号、T2*強調画像にて高信号を示すものは 69 椎体であった (Fig. 1)。T1, T2*強調画像とも高信号となるものは肝癌、胆管癌の 2 例に認めた。T1強調画像にて低信号を示す病巣は計 241 椎体、76.5%であった。

また T2*強調画像にて高信号と低信号が混在するものが造骨型、混合型に 1 例ずつ見られた。T2*強調画像にて、正常骨髄と同じ低信号を示す

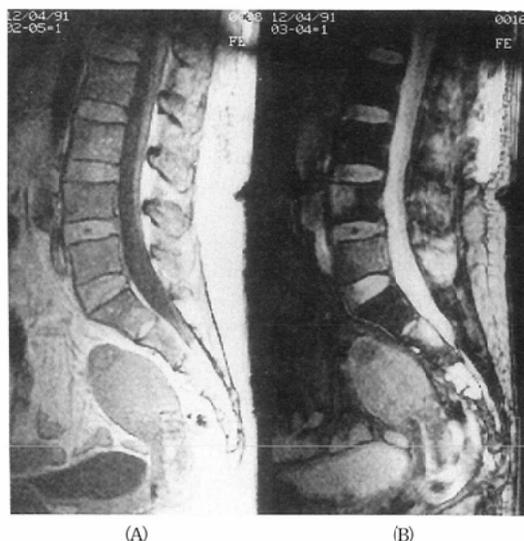


Fig. 1 58 year-old woman with adenocarcinoma of the lung. a) Sagittal T1 weighted image shows no remarkable findings. b) Sagittal T2* weighted image shows multiple metastasis. A high signal intensity focus is demonstrated in the antero-superior portion of the vertebral body of L4. Vertebral body and posterior element at L5 exhibit high signal intensity.

ものは造骨型、混合型の 4 例、14 椎体に見られ、いずれも強い硬化性病巣であった。T2*強調画像にて高信号を呈するものは、低信号の混在するものを含めると全体の 95.5%であり、最も鋭敏な指標であった。

2. 転移巣の分布: Table 3に原発巣ごとの転移巣の分布をまとめた。全体として腰仙椎、次いで胸椎が多く、両者で 90%以上を占める。多発

Table 2 Comparison of signal patterns with radiographic findings of 315 vertebral metastasis in 51 patients

Signal	Radiographic findings				Total
	Osteolytic	Osteoblastic	Mixed	Negative	
T1: Low, T2*: High	16(77)	3(7)	13(104)	5(23)	37(211)
T1: Iso, T2*: High	13(46)	0	3(19)	1(4)	17(69)
T1: High, T2*: High	2(5)	0	0	0	2(5)
T1: Low, T2*: Mixed	0	1(7)	1(9)	0	2(16)
T1: Low, T2*: Low	0	1(6)	3(8)	0	4(14)

Figure in parenthesis: number of metastatic vertebrae

Table 3 The sites of metastasis in patients of each primary tumor

Primary tumor	No. of patients	No. of evaluated vertebrae	Metastatic site			Total
			Cervical	Thoracic	Lumbosacral	
Lung	10	103	2	19	24	45
Breast	9	156	13	54	35	102
Prostate	7	120	12	40	38	90
Colo-rectal	9	89	0	9	17	26
Hepatoma	5	48	1	5	6	12
Bile duct	4	34	2	6	2	10
Unknown	4	36	0	2	12	14
Others	3	32	0	7	9	16
Total	51	618	30	142	143	315

性転移が多く、特に乳癌、前立腺癌は検査した椎体の65%、75%に認め、このため転移巣の数は腰仙椎より胸椎が多くなった。このほか大腸や胃の低分化腺癌と原発不明のリンパ上皮腫が広範であった。肺癌の転移は胸椎より腰椎に多く見られた。胆管癌は胸椎に多かったが、他は原発巣によ

る分布の違いを認めなかった。単発性転移は6例に見られ、大腸癌が2例、他は肝癌、胆管癌、中咽頭癌、原発不明癌であった。

3. 脊椎内における転移巣の位置：Table 4に転移巣の位置とその頻度をまとめた。244個の椎体は椎体全体の骨髓や、半分以上の骨髓に転移巣

Table 4 Frequency of the metastatic involvement in each vertebral part

Location	Number of vertebrae
 Whole body	189
 Irregular pattern	27
 Anterior one-half	12
 Posterior one-half	16
 Anterior peripheral	21
 Posterior peripheral	27
 Anterior central	11
 Posterior central	12
 Pedicle+ posterior element	6

} 244

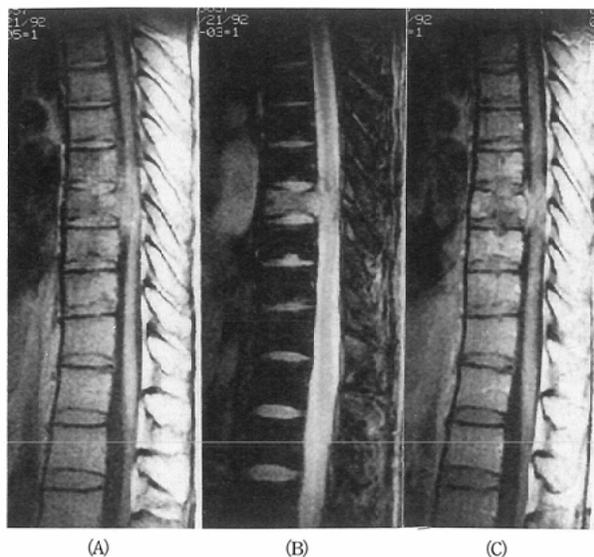


Fig. 2 40 year-old man with rectal carcinoma. (A) Sagittal T1 weighted image shows compression fracture of Th8 with epidural tumor. (B) Sagittal T2* weighted image: Th8 vertebral body displays high signal intensity. (C) Post-contrast T1 weighted image: Collapsed vertebral body and enhanced epidural tumor compress the spinal cord.

の浸潤があった。このうちの70椎体は一側の椎弓根に、73椎体は両側の椎弓根にまで進展を認めた。そして25例、49椎体に椎体を越える硬膜外腫瘍を認めた (Fig. 2)。椎体の一部に限局する転移巣は65椎体に71個見られ、71個を椎体の数として Table 4 に表した。前半部32椎体、後半部39椎体で後半部にやや多い傾向であったが、いずれも末梢部の転移が中央部の2倍以上と多く見られた (Fig. 3)。これらの症例の中に硬膜外進展は認めなかった。椎弓根、後方成分に限局するものは7椎体に見られ、うち3個は後方から破壊性の腫瘍を作るものであった。他は前立腺癌の硬化性病巣が椎弓根、棘突起に見られた。病巣の進行にかかわらず椎間板の変化は少なく、強い破壊性病巣でも保たれていた。

考 察

1. 脊椎転移のMRIシグナルについて

本院では、0.5Tの中磁場の装置であり、撮像時間の短縮と良好なS/N比が得られるT1、T2*

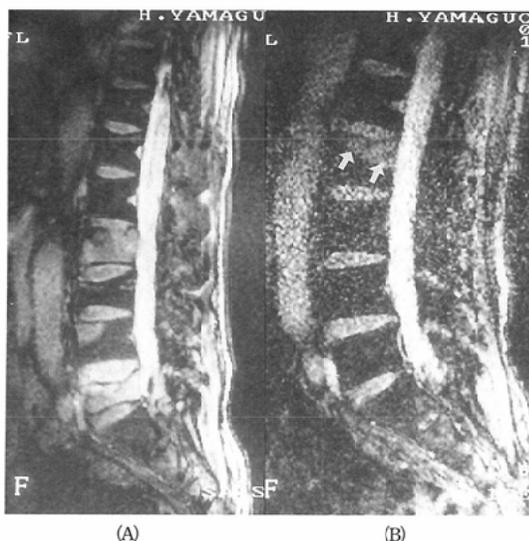


Fig. 3 67 year-old man with prostatic cancer: (A) Sagittal T2* weighted image shows early metastatic lesion of high signal intensity in the postero-superior portion of L2 vertebral body (arrows). (B) 142 days later, whole L2 vertebral body is occupied with high signal intensity lesion, and the fracture of superior aspect of vertebral body is noticed. Several other metastasis appear in L4, 5 vertebrae. A small lesion of L4 is placed at peripheral portion of vertebral body.

強調FE法を使用した。T1強調FE法は水と脂肪の位相が一致する (in-phase) TE=14 msec, T2*強調FE法は位相の反転する (opposed-phase) TE=22 msec を使用していることが特徴である。T1強調FE法で低信号を示すものは76.5%であり、69椎体は等信号、5椎体は高信号を示した。低信号を呈してもT1強調FE法画像のみにて転移の診断が困難なことが少なくなかった。一般的に、転移巣はT1強調SE法画像にて低信号を示し(95-100%)最も信頼が高いとされており¹¹⁻⁵⁾、T1強調FE法の検出率は劣っていた。この理由としては、0.5T装置のin-phase TEは13.4 msecであるが本研究で使われたTEは14 msecであり、真のin-phase pointからはずれていること、またspoiler pulseを使用していないため残存横磁化を無視できないこと、さらにTE=14 msecという値はFE法としては比較的長くT2* decayの影響を無視できないため、SE法に比べ正常骨髄の信号強度が低下する可能性があると考えられる。したがって骨髄の転移の検出には現状のT1強調FE法は適さないと思われる。

正常椎体のT1強調画像は骨髄の脂肪成分を反映して高信号であるが、純粋な脂肪組織に比べ信号は低く、脊髄と同じ程度である。年齢、変性の有無により変化が多く、化学療法などの影響も無視できない⁶⁾。こうした骨髄信号のむらがあると小病変やび慢性の病変は検出できない。小山は134病変のうち4病変は等信号、3病変は高信号であったとしている⁷⁾。Avrahamiも単純写真、CT、シンチが正常であった21人の椎体転移を調べ、5症例はT1強調画像にて等信号であったと述べている⁸⁾。これに対してT2*強調画像による正常骨髄は、opposed-phaseとなるTE=22msecを使用しているため、水と脂肪成分の信号が相殺されて均一な低信号として描出される。個人差が少なく⁹⁾、異常は水分の増加を反映し、高信号に見やすく描出される。したがって強い硬化性変化を除くと病巣は高信号となるため、今回の検討では、95.5%がT2*強調画像にて陽性となり有用であった。骨髄病変の診断にはいろいろな脂肪抑

制画像が使われている。1.5Tの装置では短時間に脂肪抑制T1強調画像を得るchemical fat-saturation法ができ、有用性が報告されている^{10,11)}。本装置のT2*強調画像は、正常骨髄に対しては十分な脂肪抑制効果を示し、また水が強調されるため脳脊髄液が高信号に描出され、硬膜や脊髄への圧排が見やすく、簡便な方法として満足のいくものであった。藤本は同じ装置を使用し、骨、軟部腫瘍に対する有用性を検討し、T2強調SE像より優れ、T1強調SE像と同等以上であったと述べている¹²⁾。

問題として、病巣の特異性が少なく他の疾患との鑑別が必要になる。また腫瘍の周囲の浮腫、炎症も同様に描出される。また小児期の骨髄は脂肪成分が少なく、正常でも中等度の均等高信号になるので注意せねばならない。

2. 脊椎転移の形式について

従来の画像診断では、ある程度進行した骨転移でないと検出が困難である。また剖検によっても転移初期を詳細に調べることは容易ではない。MRIは骨髄の変化を最も早くとらえることができる。これらのことから、骨転移の転移形式を探るため脊椎転移の分布と椎体内の浸潤パターンを調べた。

骨転移の経路については、血行性転移のほか椎体近くのリンパ節転移などからの直接浸潤がある。今回の検討の中では、リンパ節からの直接浸潤と思われる転移は子宮癌と直腸癌の1例にみられた。他はすべて血行性と考えられた。血行性転移としては経動脈性転移の他に椎体静脈系を介する転移が知られている。1940年にBatsonがvertebral venous systemによる転移経路の理論を発表し、肺転移のない癌の脊椎転移には脊椎静脈叢が大事であると提唱した^{13,14)}。Comanの動物実験によって、静脈から転移が起こることが証明されたが、いずれも静脈内の腫瘍塞栓の形であった¹⁵⁾。このあと、この理論をめぐるたくさんの議論があり、現在も軀幹部に多く生ずる癌、特に前立腺癌の特徴的な転移の説明として多くの支持を得ている。

骨転移は血流の多い赤色髄に起こりやすいこと

が剖検や実験で示されている。

Drury は 575 例の担癌患者の剖検から 33.4 % に椎骨転移があり、腰椎、胸椎の順に多く、理由の一つとして頸椎、胸椎、腰椎の骨髄の比率は 2 : 8 : 9 であると述べている。本院の症例の検討では、転移巣の分布は腰仙椎、胸椎に多く見られた。乳癌と前立腺癌に広範な転移が多く見られたが、差はなく、肺癌においても腰椎の転移が多く、原発巣による違いは認めなかった。したがって骨転移は同じメカニズムで起こると考えられる。

骨シンチによって骨転移の分布を調べ、椎体静脈系を支持するものと^{22),23)}、そうでない報告がある^{20),21)}。Dodds によると、前立腺癌は他の原発と同様に脊椎に最も多く、脊椎の中では腰椎に多かった。さらに前立腺癌の 25 % は骨盤、腰仙椎に転移はなかった。よって彼は前立腺癌の骨転移に椎体静脈系は重要ではないと述べている²⁰⁾。しかし前立腺癌の骨転移には椎体静脈系が広く支持されており、Resnick は文献を集めて、椎体静脈系と経動脈系の両方が影響していると述べてい

る²⁴⁾。

転移の始まりについては椎体から始まるという報告が多い^{25),26)}。Asdourian は 25 例の乳癌の骨転移を MRI にて調べ、椎体が最も多く、椎弓根だけに転移があるものはなく、椎体の後半に転移が多いと述べ、脊椎静脈系の可能性を考察している²⁵⁾。彼は椎体を前後に分けそれぞれを四分分割して転移の部位を調べているが、転移の経路を見るためには椎体の血流を考えねばならない。Crock によると腰椎の椎体の動脈は各腰動脈の小分枝が椎体の前方、側方より水平に入り、椎体背面にはやや太い動脈枝が入る²⁷⁾。これらによって椎体中心に動脈網ができ、そこから上下方向に枝を出し、終板の細動脈叢となる。また静脈についても同様に、終板付近から垂直方向に静脈枝が集まり椎体中央に静脈網を作る。そして椎体静脈は後方にて前内椎骨静脈叢に合流する。椎体の前方や周囲では、静脈の分枝は直接に外椎骨静脈叢に入る。したがって椎体内の病巣の位置について、細動脈以下の末梢部（骨幹端に相当）と静脈の集まる椎体中央部を考え検討した。進行例のため 77

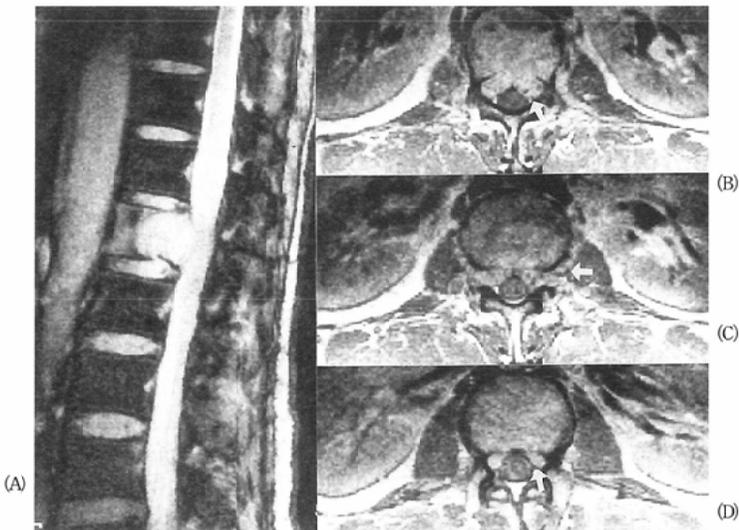


Fig. 4 53 year-old man with hepatoma. (A) Sagittal T2* weighted image shows high intensity lesion in the posterior half of L1 vertebral body with epidural extension. (B), (C) and (D) Axial spin-echo images (TR/TE, 1800/30). Epidural tumor looks to grow through veins (anterior internal venous plexus), indicating tumor thrombosis (arrows).

%は椎体の半分以上を病巣が占めていた。残りの転移の初期と思われる椎体内の病巣は、中央より末梢部が2倍と多く認めた。これらのことは転移経路としては、椎体静脈系より大循環系が主たる経路と考えた方が妥当と思われる。椎体静脈系からの転移は逆行性であり、Wileyは脊椎の動脈と静脈から造影剤を注入し、動脈からの注入は楽に行えたが、静脈は流出路であり圧力がないと満たされず、不完全な注入がかなり見られたと述べ、骨髄炎の転移経路を菌血症による動脈性のものと述べている²⁸⁾。

また椎体の一部に限局する初期の転移巣には硬膜外への腫瘍の進展は見られず、硬膜外腫瘍のみられた25例、49椎体はいずれも転移巣が椎体骨髄の大半を占めていた。したがって、大半は動脈性に椎体の末梢骨髄に生じ、骨髄内に増殖し、皮質を壊し、あふれてくるものと考えられる。骨転移はArguelloの実験のように、はじめ大半は動脈性に椎体の末梢骨髄に生じると考えられる²⁹⁾。しだいに増大し椎体の変形や椎弓根の変形をきたす。骨溶解の強いものは圧迫骨折をきたしやすく、さらに進行し、増殖の激しいものや椎弓、椎弓根の破壊が強いものは広範な腫瘤を形成し脊柱管を埋める。椎体の変形や硬膜外進展は、椎体の大半が侵された場合に生じてくる。今回の症例の中で、肝癌の1例に椎体静脈内の腫瘍血栓の形で拡がるものを経験した(Fig. 4)。これは他に報告がないが、肝癌の血管類洞内で増殖しやすい性質のためと考えられる。

問題として、MRIの撮影を症状のある部位や骨シンチの取込みの強い部位に行い、全脊椎には行ってないこと、T2*強調画像は1cm厚の撮影のため1cm以下の小病巣は検出されない可能性があり、特に頸椎、上部胸椎は小さいため評価の難しいことがあった。また前立腺癌の5例、乳癌の3例は骨転移の診断から1年以上経過した進行例であった。今後さらに骨転移早期例のMRI所見を集めることによって確かめる必要がある。

骨転移の始まり、増殖、転移骨の反応は複雑でまだ不明な点が多い³⁰⁾。今回は組織学所見との検討はできなかった。分化度などによって転移のバ

ターンが異なると思われるが今後の課題である。

結 語

1. 固形癌の転移性脊椎腫瘍51例、618椎体のMRI所見を検討した。
2. 618椎体のうちMR上315椎体に転移が見られた。T1強調FE法では76.5%が低信号となり、T2*強調画像では95.5%に高信号を認め、強い硬化性転移以外は明瞭に描出された。
3. 転移骨の分布は原発巣にかかわらず腰仙椎、胸椎に多く見られた。
4. 脊椎転移の初期と思われる71病巣の脊椎内における転移の位置は、椎体静脈周囲の中央部より細動脈叢のある終板近くに多かった。
5. 硬膜外腫瘍は椎体の大半を占める進行例に認め、一部に限局する初期例には認めなかった。
6. 3, 4, 5のことより血行性の脊椎転移の形式は、椎骨静脈叢を介するより、大半は経動脈性の播種であると考えられ、文献的考察を行った。

文 献

- 1) Alga PR, Bloem JL, Tissing H, et al: Detection of vertebral metastasis: Comparison between MR imaging and bone scintigraphy. *Radio Graphics* 11: 219-316, 1991
- 2) Daffner RH, Lupetin AR, Dash N, et al: MRI in the detection of malignant infiltration of bone marrow. *AJR* 146: 353-358, 1986
- 3) Yuh WTC, Zachar CK, Barloon TJ, et al: Vertebral compression fracture: Distinction between benign and malignant causes with MR imaging. *Radiology* 172: 215-218, 1989
- 4) Baker LL, Goodman SB, Perkasch I: Benign versus pathologic compression fractures of vertebral bodies: Assessment with conventional Spin-echo, chemical-shift, and STIR MR imaging. *Radiology* 174: 495-502, 1990
- 5) 杉村和郎, 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
- 6) Hajek PC, Baker LL, Goober JE, et al: Focal fat deposition in axial bone marrow: MR character-

- istics. *Radiology* 162: 245-249, 1987
- 7) 小山雅司, 黒田康正, 左野明, 他: 転移性骨腫瘍のMRI imaging, *日本医放会誌*, 52: 1550-1558, 1992
 - 8) Avrahami E, Tadmor R, Dally O, et al: Early MR demonstration of spinal metastasis in patients with normal radiographs and CT and radionuclide bone scan. *J Comput Assist Tomogr* 13: 598-602, 1989
 - 9) Wismer GL, Rosen BR, Buxton R, et al: Chemical shift imaging of bone marrow: Preliminary experience. *AJR* 145: 1031-1037, 1985
 - 10) Tien RD, Olson EM, Zee CS: Disease of the lumbar spine: Findings on fat-suppression MR imaging. *AJR* 159: 95-99, 1992
 - 11) 内田伸恵, 杉村和郎, 梶谷明子, 他: 転移性椎体腫瘍のMRI-fat saturation法の有用性—臨床放射線, 37: 545-549, 1992
 - 12) 藤本肇, 村上康二, 市川智章, 他: 骨病変描出におけるT2*強調 Gradient Field Echo法の有用性, *日磁医誌*, 10: 304-313, 1990
 - 13) Batson OV: The function of the vertebral veins and their role in spread of metastasis. *Ann Surg* 112-149, 1940
 - 14) Batson OV: The role of the vertebral veins in metastatic processes. *Ann. int. medi.* 16: 38-45, 1951
 - 15) Coman DR, DeLong RP: The role of the vertebral venous system in metastasis of cancer to the spinal column: Experiments with tumor-cell suspensions in rats and rabbits. *Cancer* 36: 610-618, 1951
 - 16) Onuigbo EIB: Batson's theory of vertebral venous metastasis: A review *Oncology* 32: 145-150, 1975
 - 17) Drury RAB, Palmer PH, Highman WJ: Carcinomatous metastasis to vertebral bodies. *J. clin. Path.* 17: 448-457, 1964
 - 18) Harrington KD: Current concepts review Metastatic disease of the spine. *J. Bone and Joint Surg.* 68-A: 1110-1115, 1986
 - 19) 宇野莉藻: 癌の骨髄転移について, *九血会誌*, 8: 622-736, 1958
 - 20) Dodds PR, Caride VJ, Lytton B: The role of vertebral veins in the dissemination of prostatic carcinoma. *J. Urol.*, 126: 753-755, 1981
 - 21) Morgan JWM, Adcock KM, Donohue RE: Distribution of skeletal metastasis in prostatic and lung cancer. *Urology* 36:31-34, 1990
 - 22) Cumming J, Hacking N, Fairhurst J, et al: Distribution of bony metastasis in prostatic carcinoma. *Bri. J. Urol.*, 66: 411-414, 1989
 - 23) Styles C: The distribution of bone metastasis as showing on isotope scanner: Proposed models of spread. *Australas Radiol.* 33: 226-228, 1987
 - 24) Resnick M I: Hemodynamics of prostate bone metastases. *Prostate cancer and bone metastasis.* 77-81, Plenum Press, New York, 1992
 - 25) Asdourian PL, Weidenbaum M, DeWald RL, et al: The pattern of vertebral involvement in metastatic vertebral breast cancer. *Clin. Orthopaedics and related Research* 250: 164-170, 1990
 - 26) Algra PR, Heimans JJ, Valk J: Do metastasis in vertebrae begin in the body or the pedicles? *AJR* 158: 1275-1279, 1992
 - 27) Crock HV, Yosizawa H: The blood supply of lumbar vertebral column. *Clinical Orthopaedics and related Research* 115: 6-21, 1976
 - 28) Wiley AM, Trueta J: The vascular anatomy of the spine and its relationship to pyogenic vertebral osteomyelitis. *J. Bone Joint Surgery* 41: 796-809, 1959
 - 29) Arguello F, Baggs RB, Duerst RE, et al: Pathogenesis of vertebral metastasis and epidural spinal cord compression. *Cancer* 65: 98-106, 1990
 - 30) 森脇昭介, 山本洋介, 高嶋成光, 他: 転移性骨腫瘍—とくに造骨溶骨機序について—病理と臨床 3: 895-904, 1985