



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 椎体病変におけるMRIの有用性-緩和時間による鑑別について-  |
| Author(s)    | 杉村, 和朗; 山崎, 克人; 北垣, 一他  |
| Citation     | 日本医学放射線学会雑誌. 1987, 47(5), p. 714-721  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/15652">https://hdl.handle.net/11094/15652</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 椎体病変における MRI の有用性

### —緩和時間による鑑別について—

神戸大学医学部放射線医学教室

杉村 和朗\* 山崎 克人 北垣 一  
田中 豊 河野 通雄

（昭和61年5月12日受付）

（昭和61年10月23日最終原稿受付）

## Magnetic Resonance Imaging of the Spine —Differentiation by T1 and T2 Relaxation Time—

Kazuro Sugimura, Katsuhito Yamasaki, Hajime Kitagaki,  
Yutaka Tanaka and Michio Kono  
Department of Radiology, Kobe University School of Medicine

---

Research Code No. : 505

---

Key Words : MRI, Relaxation time, Spine, Metastatic bone tumor, Tissue characterization

---

Twenty six patients have undergone the preoperative studies for a variety of lesions in the vertebral body employing a 0.15-T MR system. Sixteen patients were found to have the malignant metastatic lesion (Group 1) and ten patients were non-neoplastic lesion (Group 2). The differentiating capacity of the MR system of these vertebral lesions was compared in these two groups. For the spin-echo images, the conditions were settled as TR 2100 msec, TE 40 and 80 msec. At these TEs, the signal intensity was variable in both groups suggesting the longer TR image was not useful in differentiation of the lesions.

For the inversion recovery images as T1 weighted image, the conditions were settled as TR 2100 msec, and TI 500 msec. The lesion being not hypointense on the IR was not seen in Group 1 patients at all. However, this could not be defined as the characteristic of metastatic lesion, because one half of the patients of Group 2 had the lesion of the same character. IR may be useful to detect metastatic lesion, but may provide false positive information in the benign lesions. Both T1 and T2 relaxation times were not significant in these two groups. However, the index created by T1 divided by T2 (T1/T2) was significant in the differentiation in these two groups, which was higher in the Group 1. The determination of T1/T2 may be useful for differential diagnosis.

### 緒　　言

骨転移の診断において、骨シンチグラフィは sensitivity が高く、screening としては優れた検査法であるが、false positive 例が多く、specificity

が低くなる点が問題である。そこで、骨髓シンチグラフィ、ガリウムシンチグラフィ、CT 等を併用することにより、specificity の上昇が試みられている<sup>1,2)</sup>が、現在のところ満足できる方法が無く、有用な検査法の開発が望まれている。そこで、転移性骨腫瘍を含む椎体疾患に MRI を施行し、骨

---

\*現在 島根医科大学放射線部

転移診断における MRI の有用性について検討したので報告する。

#### 対象並びに方法

昭和60年4月18日より昭和60年12月7日までに、神戸大学放射線科で椎体のMRIを施行した、悪性腫瘍椎体転移16例(男性9例、女性7例)、非腫瘍性椎体病変10例(男性3例、女性7例)、正常5例(男性3例、女性2例)の計31例を検討の対象とした。

使用したMR装置はピッカー社常電導型(静磁場強度0.15T、共鳴周波数6.4MHz)である。パルス系列は、 $T_1$  weighted imageとしてInversion Recovery(TR 2,100msec, TI 500msec)：以下IR、 $T_2$  weighted imageとしてSpin Echo(TR 2,100msec, TE 80msec)：以下SE、 $T_1$ および $T_2$ 計算画像を得るためのSE(TR 2,100msec, TE 40msec)の3種類について検討した。スキャンは、椎体矢状断像を1cm間隔に、スライス厚さ1cmで8枚の画像を得た。 $T_1$ 計算画像はIR(TR 2,100msec, TI 500msec)と、SE(TR 2,100msec, TE 40msec)から、 $T_2$ 計算画像はSE(TR 2,100msec, TE 40msec)とSE(TR 2,100msec, TE 80msec)から得た。

計算画像上で、病巣および非病巣椎体をできるだけ大きく含むような関心領域を設定し、 $T_1$ 値、 $T_2$ 値を測定した。非病巣椎体の $T_1$ 値、 $T_2$ 値は画像上の全ての非病巣椎体を測定し、平均値をその値とした。3回のスキャンから $T_1$ 値、 $T_2$ 値を測定するため、その間の体動で $T_1$ 値、 $T_2$ 値が得られなかつた例があり、それらの症例については、検討から除外した。

次いで病巣椎体の $T_1$ 値、 $T_2$ 値を対象間で正規化するため、病巣椎体の $T_1$ 値、 $T_2$ 値をその患者の非病巣椎体のそれで除し、 $T_1$  Ratio、 $T_2$  Ratioとした。また病巣椎体の $T_1$ 値を $T_2$ 値で除した値( $T_1/T_2$ )、及び病巣椎体の $T_1$  Ratioを $T_2$  Ratioで除した値( $T_1$  Ratio/ $T_2$  Ratio)についても検討した。

#### 結 果

##### 1) 症 例

症例1 (Fig. 1)

昭和62年5月25日

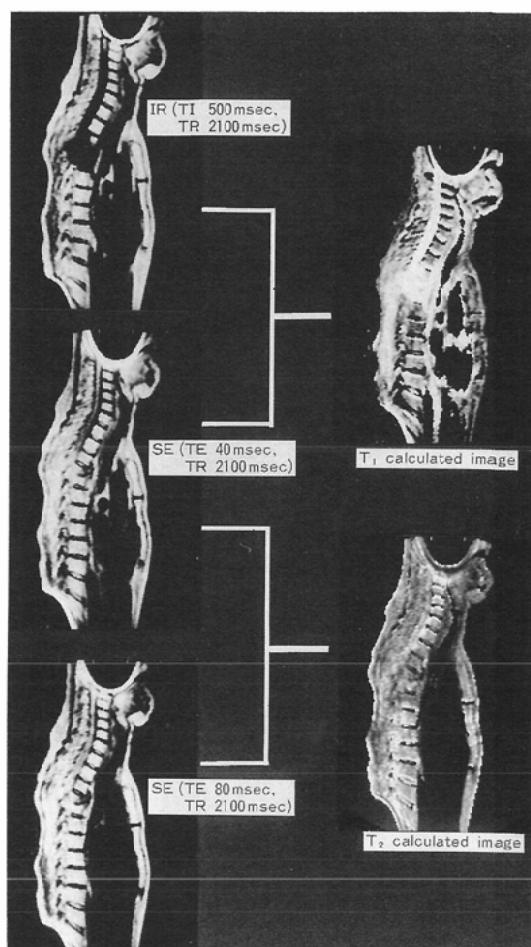


Fig. 1 A 57 year male with metastases from lung cancer. Sagittal section of thoracic vertebral column. Spin echo image (TR 2,100msec, TE 40, 80msec), inversion recovery image, and  $T_1$  and  $T_2$  calculated image were shown.

57歳男性。肺癌骨転移例。 $^{99m}\text{Tc}$ -HMDPによる骨シンチグラフィで、胸椎椎体に強い集積像を認める。MRIでは、第5、第6、第7胸椎はIR(TR 2,100msec, TI 500msec)で強いlow intensityとして描出されているが、SE(TR 2,100msec, TE 40, 80msec)ではほぼiso intensityである。

病巣の $T_1$ 値は $480 \pm 35$ msec、 $T_2$ 値は $80 \pm 10$ msecで、非病巣椎体の平均 $T_1$ 値247msec、平均 $T_2$ 値92msecに比べて $T_1$ 値は著明に延長、 $T_2$ 値はやや短縮している。 $T_1$  Ratioは1.94、 $T_2$  Ratioは0.87、 $T_1$  Ratio/ $T_2$  Ratioは2.23、 $T_1/T_2$ は6.00

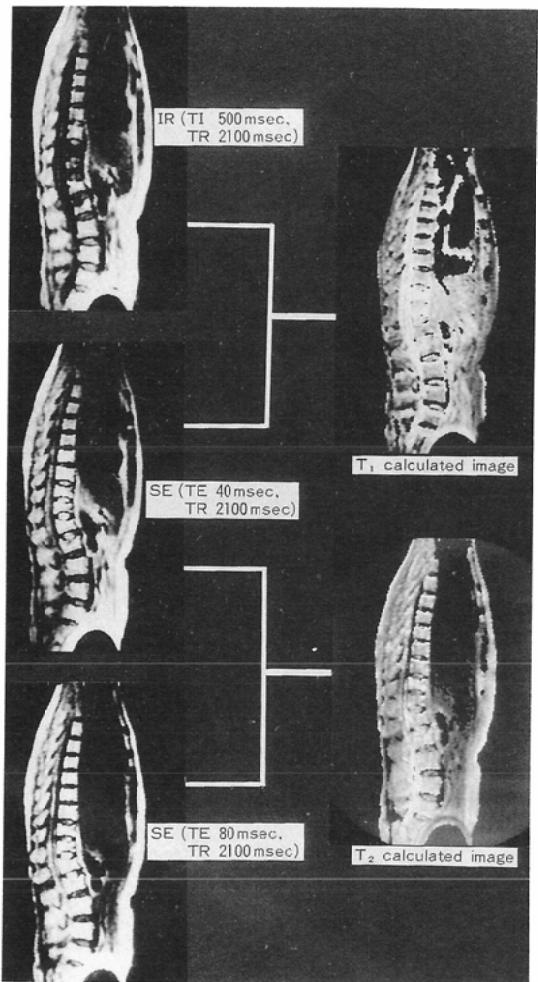


Fig. 2 A 74 year female with osteoporosis of the thoracic spine. Sagittal section of thoracic vertebral column. Spin echo image (TR 2,100msec, TE 40, 80msec), inversion recovery image, and  $T_1$  and  $T_2$  calculated image were shown.

である。

#### 症例2 (Fig. 2)

74歳女性。骨粗鬆症。 $^{99m}\text{Tc}$ -HMDP骨シンチグラフィで8、11胸椎に強い集積を認める。MRIではIRで11、12胸椎がlow intensityとして描出されているが、SE(TR 2,100msec, TE 40, 80msec)では11胸椎はhigh intensityに、12腰椎は変形のみでiso intensityとして描出されている。

病巣の $T_1$ 値は $613 \pm 53$ msec、 $T_2$ 値は $122 \pm 50$ msecで、非病巣椎体の平均 $T_1$ 値は349msec、平均

$T_2$ 値71msecで、 $T_1$ 、 $T_2$ 値共に延長している。 $T_1$  Ratioは1.76、 $T_2$  Ratioは1.72、 $T_1$  Ratio/ $T_2$  Ratioは1.02、 $T_1/T_2$ は5.02である。

#### 2) 画像 Intensity での評価 (Table 1)

病巣の画像 Intensity を正常椎体の画像 intensity と比較し、high, iso, low および、high から low まで様々な画像 intensity を呈する mixed の4型に分類した。

悪性腫瘍椎体転移例は、SE (TR 2,100msec, TE 40, 80msec) で、low intensity を呈する例が最も多いが、low intensity を呈さない例が、SE (TR 2,100msec, TE 40msec) で5/15 (33%)、SE (TR 2,100msec, TE 80msec) で3/15 (20%) あった。一方、IR ではすべての病巣が low intensity として描出された。

非腫瘍性椎体病変例では、SE (TR 2,100msec, TE 40msec) では iso intensity に描出する例が最も多かったが、非腫瘍性病変の50%にすぎず、high, low, mixed intensity と様々な intensity を呈した。SE (TR 2,100msec, TE 80msec), IR でも同様に high, iso, low, mixed intensity と様々な intensity を呈し、一定の傾向を見出せなかった。

#### 3) 緩和時間に関する検討 (Table 2~3, Fig. 3~8)

$T_1$ 値は悪性腫瘍椎体転移が15例、非腫瘍性椎体病変例が9例、 $T_2$ 値は、転移が12例、非腫瘍性病変例が8例測定できた。

転移例の $T_1$ 値は372msecから636msecで、平均 $\pm$ S.D.は $499 \pm 75$ msecであった。非腫瘍性病変の $T_1$ 値は245msecから613msec、平均 $\pm$ S.D.は $439 \pm 117$ msecで、転移例と非腫瘍性病変の間に統計学的には有意の差を認めなかった。異常椎体の $T_1$ 値を正常椎体の $T_1$ 値で除して得た $T_1$  Ratioは、転移例が $1.57 \pm 0.36$ 、非腫瘍性病変が $1.40 \pm 0.33$ で、 $T_1$ 値単独と同じく統計学的には有意の差を認めなかった。

転移例の $T_2$ 値は80msecから156msec、平均 $\pm$ S.D.は $103 \pm 25$ msecであった。非腫瘍性病変の $T_2$ 値は84msecから165msec、平均 $\pm$ S.D.は $119 \pm 23$ msecで、転移と非腫瘍性病変の間に統計学

Table 1 Signal intensity in various pulse sequences. At T2 weighted image, the signal intensity was variable in the malignant metastatic lesion and non-neoplastic lesion suggesting the T2 weighted image was not useful in differentiation of the lesions. Whereas at the IR images, the lesion being not hypointense on the IR was not seen in malignant metastatic patient at all.

| Intensity              | Malignant Metastatic Lesion |     |     |       | Non-Neoplastic Lesion |     |     |       |
|------------------------|-----------------------------|-----|-----|-------|-----------------------|-----|-----|-------|
|                        | High                        | Iso | Low | Mixed | High                  | Iso | Low | Mixed |
| SE<br>(TR2100, TE40)   | 1                           | 4   | 10  | 0     | 1                     | 5   | 3   | 1     |
| SE<br>(TR2100, TE80)   | 1                           | 2   | 11  | 1     | 3                     | 5   | 1   | 0     |
| IR<br>(TR2100, TI 500) | 0                           | 0   | 16  | 0     | 2                     | 2   | 5   | 1     |
| Total                  | 2                           | 6   | 37  | 1     | 6                     | 12  | 9   | 2     |

Table 2 T1 relaxation time, T2 relaxation time, T1 ratio, T2 ratio and T1/T2 in malignant metastatic lesion.

| No        | Age | Sex | T1 Relaxation Time |        |           | T2 Relaxation Time |        |           | T1 Ratio /T2 Ratio | T1 /T2    | Pathology            |
|-----------|-----|-----|--------------------|--------|-----------|--------------------|--------|-----------|--------------------|-----------|----------------------|
|           |     |     | Normal             | Lesion | T1 Ratio  | Normal             | Lesion | T2 Ratio  |                    |           |                      |
| 1         | 57  | M   | —                  | —      | —         | —                  | —      | —         | —                  | —         | Oropharyngeal Cancer |
| 2         | 57  | M   | 247                | 480±35 | 1.94      | 92                 | 80±10  | 0.87      | 2.23               | 6.00      | Lung Cancer          |
| 3         | 71  | M   | 290                | 537±45 | 1.85      | 85                 | 116±22 | 1.36      | 1.36               | 4.63      | Lung Cancer          |
| 4         | 75  | M   | —                  | 557±81 | —         | —                  | 91±27  | —         | —                  | 6.12      | Prostatic Cancer     |
| 5         | 41  | F   | 416                | 543±42 | 1.31      | 82                 | 108±14 | 1.32      | 0.99               | 5.03      | Gastric Cancer       |
| 6         | 64  | F   | 259                | 525±44 | 2.03      | —                  | —      | —         | —                  | —         | Uterine Cancer       |
| 7         | 67  | M   | 327                | 484±90 | 1.48      | 122                | 156±45 | 1.28      | 1.16               | 3.10      | Renal Cell Cancer    |
| 8         | 75  | M   | 283                | 527±47 | 1.86      | 85                 | 106±42 | 1.25      | 1.49               | 4.97      | Prostatic Cancer     |
| 9         | 50  | F   | 338                | 513±19 | 1.52      | 95                 | 136±65 | 1.43      | 1.06               | 3.77      | Uterine Cancer       |
| 10        | 61  | M   | 380                | 365±25 | 0.96      | 105                | 81±17  | 0.77      | 1.25               | 4.51      | Renal Cell Cancer    |
| 11        | 63  | M   | 299                | 636±47 | 2.13      | 83                 | 111±59 | 1.34      | 1.59               | 5.73      | Esophageal Cancer    |
| 12        | 70  | M   | 332                | 496±39 | 1.49      | —                  | —      | —         | —                  | —         | Prostatic Cancer     |
| 13        | 72  | M   | 339                | 372±49 | 1.10      | 93                 | 87±15  | 0.94      | 1.17               | 4.28      | Lung Cancer          |
| 14        | 38  | F   | 336                | 589±38 | 1.75      | —                  | —      | —         | —                  | —         | Breast Cancer        |
| 15        | 50  | F   | 310                | 445±59 | 1.44      | 100                | 96±40  | 0.96      | 1.50               | 4.64      | Breast Cancer        |
| 16        | 69  | F   | 355                | 417±30 | 1.17      | 85                 | 67±29  | 0.79      | 1.48               | 6.22      | Uterine Cancer       |
| Mean±S.D. |     |     | 322±46             | 499±75 | 1.57±0.36 | 93±12              | 103±25 | 1.12±0.25 | 1.39±0.34          | 4.92±0.97 |                      |

的に有意の差を認めなかった。また  $T_1$  Ratio と同様の方法で求めた  $T_2$  Ratio にも有意の差を認めなかった。

一方病巣椎体の  $T_1$  値を病巣椎体の  $T_2$  値で除した  $T_1/T_2$  は、転移例の平均±S.D. が  $4.92 \pm 0.97$  であったのに対し、非腫瘍性病変は  $3.57 \pm 0.71$  で、統計学的に 0.5% の危険率で有意の差を認めた。同様に  $T_1$  Ratio/ $T_2$  Ratio も転移例の平均±S.D.

が  $1.39 \pm 0.34$  であったのに対し、非腫瘍性病変は  $1.02 \pm 0.12$  で、1% の危険率で同様に統計学的に有意の差を認めた。

尚、正常 Volunteer 5 例の  $T_1$  値は、279msec から 469msec 平均 338msec、 $T_2$  値は 68msec から 87msec 平均  $79 \pm 12$ msec であった。

### 考 察

転移性骨腫瘍の診断における、骨シンチグラ

Table 3 T1 relaxation time, T2 relaxation time, T1 ratio, T2 ratio and T1/T2 in malignant metastatic lesion.

| No        | Age | Sex | T1 Relaxation Time |         |           | T2 Relaxation Time |         |           | T1 Ratio /T2 Ratio | T1 /T2    |
|-----------|-----|-----|--------------------|---------|-----------|--------------------|---------|-----------|--------------------|-----------|
|           |     |     | Normal             | Lesion  | T1 Ratio  | Normal             | Lesion  | T2 Ratio  |                    |           |
| 1         | 74  | F   | 349                | 613±53  | 1.76      | 71                 | 122±50  | 1.72      | 1.02               | 5.02      |
| 2         | 71  | M   | 343                | 526±55  | 1.53      | 106                | 165±147 | 1.56      | 0.98               | 3.19      |
| 3         | 80  | M   | 339                | 381±42  | 1.12      | 98                 | 121±36  | 1.23      | 0.91               | 3.15      |
| 4         | 66  | F   | —                  | —       | —         | —                  | —       | —         | —                  | —         |
| 5         | 80  | F   | 255                | 245±20  | 0.96      | 82                 | 84±15   | 1.02      | 0.94               | 2.92      |
| 6         | 67  | F   | 323                | 342±32  | 1.06      | 84                 | 102±25  | 1.21      | 0.88               | 3.35      |
| 7         | 69  | F   | 333                | 446±74  | 1.34      | 100                | 124±16  | 1.24      | 1.08               | 3.60      |
| 8         | 70  | F   | 287                | 528±37  | 1.84      | —                  | —       | —         | —                  | —         |
| 9         | 79  | F   | 279                | 356±88  | 1.28      | 103                | 115±36  | 1.12      | 1.06               | 3.10      |
| 10        | 77  | M   | 300                | 517±45  | 1.72      | 88                 | 122±58  | 1.39      | 1.25               | 4.24      |
| Mean±S.D. |     |     | 312±33             | 439±117 | 1.40±0.33 | 92±12              | 119±23  | 1.31±0.23 | 1.02±0.12          | 3.57±0.71 |

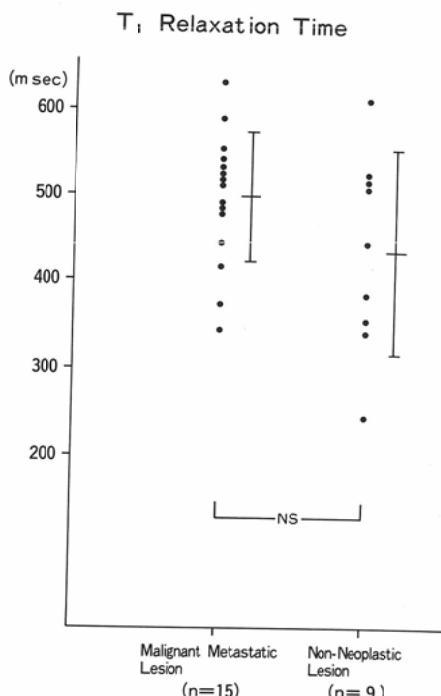


Fig. 3 T<sub>1</sub> relaxation times was not significant between malignant metastatic lesion and non-neoplastic lesion.

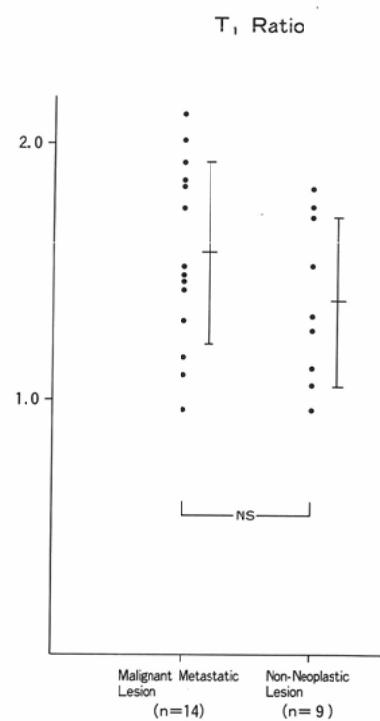


Fig. 4 T<sub>1</sub> ratio created by T<sub>1</sub> in the lesion divided by T<sub>1</sub> in the normal vertebra was not significant in these two groups.

フィの有用性は確立しているといえるが、sensitivityは非常に高い反面、specificityが低いという欠点を有している。特に今回検討した椎体に

しては、変形性変化への集積が多く、悪性腫瘍の発生年齢と重複するため、その鑑別が重要な問題となってくる。一方CTは、軟部組織への進展や

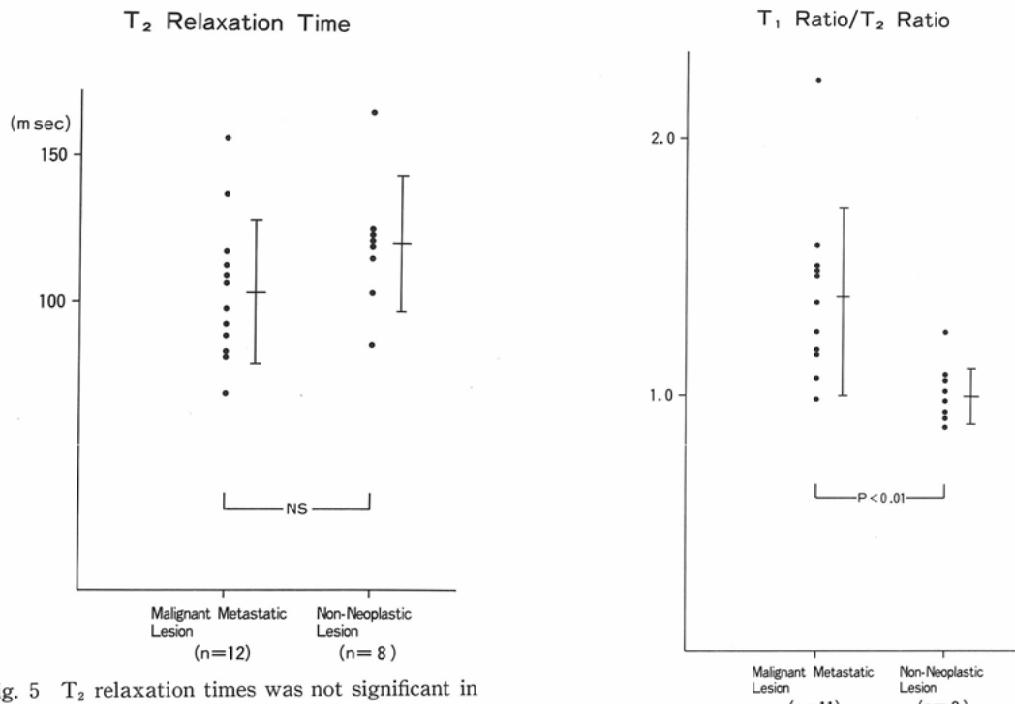


Fig. 5  $T_2$  relaxation times was not significant in both groups.

Fig. 7  $T_1$  ratio/ $T_2$  ratio was significant in the differentiation in these two groups, which was higher in malignant metastatic lesion ( $p < 0.01$ ).

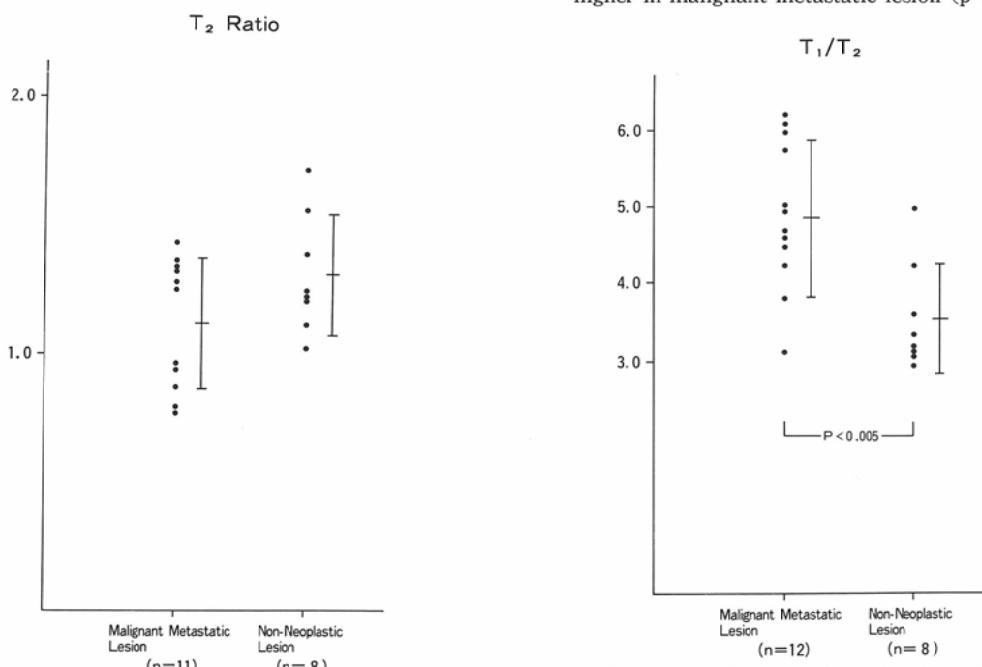


Fig. 6  $T_2$  ratio created by  $T_2$  in the lesion divided by  $T_2$  in the normal vertebra was not significant in these two groups.

Fig. 8  $T_1$  relaxation time/ $T_2$  relaxation time was significant in the differentiation in these two groups, which was higher in malignant metastatic lesion ( $p < 0.005$ ).

石灰化の有無の判定には有用だが、必ずしも骨転移の早期診断に有用とはいえない。そこで sensitivity を保ったまま specificity を上げる努力がなされているが、簡便で診断率の高い方法はいまだ確立されていない。

最近新らしい Modality として MRI が登場し、種々の疾患での有用性が報告されているが、骨病変に対する有用性の評価はいまだ定まって<sup>3)~14)</sup>いないといえる。今回検討した椎体に関する報告も散見するが、tissue characterization に関して詳細な検討を行なった報告は殆どない。MRI は組織のプロトンの存在状態を画像にしているので、MRI を用いて tissue characterization を行なう為には、プロトンの存在状態を把握する必要がある<sup>14)</sup>。プロトンの状態を反映する因子には、プロトン密度、血流、T<sub>1</sub>値及び T<sub>2</sub>値がある。NMR 信号すなわち画像 intensity は、これらの因子を反映しているので、画像 intensity を検討する事により<sup>17)</sup>、tissue characterization が可能であるとの報告もある。しかしながら画像 intensity は、撮像条件や撮像する部位によって複雑に変化する為、intensity からプロトンの状態を推測し、tissue characterization を行なう事はかなり困難であるといえる。

従来の椎体に関する報告では、病巣部は low intensity として描出する事が多く、特に T<sub>1</sub> weighted image で low intensity として描出されるとしているが、病理学的な違いによる intensity の差に関する検討はほとんどなされていない。今回の検討では、転移例は IR で全例 low intensity に描出されたが、変形例も 50% が low intensity として描出された。そこで、両者の鑑別における画像 intensity の意義は、IR で iso, mixed ないし high intensity に描出した場合、転移の可能性が低いという点にとどまると思われる。

1972 年 Canadian が<sup>15)</sup>悪性腫瘍における T<sub>1</sub> 値の延長を報告した後、tissue characterization における T<sub>1</sub> 値、T<sub>2</sub> 値の有用性に関しての検討が行なわれているが、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 値の生物学的意義がいまだ不明な点が多く、現時点ではその臨床的意義は定まっていない。

骨及び骨髄における T<sub>1</sub> 値、T<sub>2</sub> 値に関しても、Cherryman らの骨腫瘍についての報告<sup>7)</sup>、Brady らの giant-cell tumor における報告<sup>8)</sup>、また Zimmer らの骨腫瘍に関する報告<sup>9)</sup>があるが、何れも検討した症例数も少なく、腫瘍では T<sub>1</sub> 値が延長する傾向があるとの報告にとどまっている。

今回の検討では、T<sub>1</sub> 値の平均は非腫瘍性病変に比べて転移例が延長、T<sub>2</sub> 値は非腫瘍性病変の方が延長していたが、統計学的にはどちらも有意の差を認めなかった。この結果より、従来の報告と同じく転移例では T<sub>1</sub> 値が延長する傾向にあるが、椎体病変における良悪の鑑別は、緩和時間だけでは困難であることがわかった。

正常例でも年齢等によって、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 値がばらつくことが知られている<sup>12)</sup>。そこで緩和時間に差がでなかつた原因が個体差にあるとも考えられるので、個々の症例での差を無くすために算出した T<sub>1</sub> ratio、T<sub>2</sub> ratio についても検討したが、やはり有意の差を認めず、個体差を除外しても、一方の緩和時間だけでは鑑別が困難なことがわかった。

一方、T<sub>1</sub> 値を T<sub>2</sub> 値で除した T<sub>1</sub>/T<sub>2</sub>、及び T<sub>1</sub> ratio/T<sub>2</sub> ratio は変形例と転移例の間で、危険率 0.5%，及び 1% で統計学的に有意の差を認め、悪性腫瘍椎体転移と非腫瘍性椎体病変の鑑別に有用であることがわかった。そこで、この原因について次のように考察する。

悪性腫瘍では、通常自由水の結合水に対する割合が増加する為、T<sub>1</sub> 値が延長するとされている。一方プロトンの運動性を反映する τ<sub>c</sub>（回転相関時間）と T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 値の関係は<sup>18)</sup>、自由水分画の多い、即ち τ<sub>c</sub> が短縮する時 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 値共に延長するが、その変化率が T<sub>1</sub> 値の方が T<sub>2</sub> 値に比べて大きいと言われている。そこで、自由水が増加、即ち τ<sub>c</sub> が短縮すると、T<sub>1</sub> 値は著明に延長するが、T<sub>2</sub> 値の延長は軽度な為、T<sub>1</sub>/T<sub>2</sub> は、T<sub>1</sub> 値や T<sub>2</sub> 値の延長以上に変化が大きくなり、T<sub>1</sub> 値や T<sub>2</sub> 値単独では出なかった有意差が出てきた可能性が高いと考えられる。

今回の検討でも明らかのように、単純な緩和時間の差での tissue characterization には限界がある。そこで最近 T<sub>1</sub> 値ないし T<sub>2</sub> 値から成る計算

式を想定し、tissue characterizationを行なおうとする努力<sup>16)</sup>が為されている。今回の報告もその一つといえるが、簡便に算出でき、悪性腫瘍と変形性変化を比較的良好に鑑別できる点から、臨床的に有用な指標になると期待できると考え報告した。

### 結 語

1) 悪性腫瘍椎体転移16例、非腫瘍性椎体病変10例にMRIを施行し、椎体病変におけるMRIの有用性を検討した。

2) IRでLow Intensityを呈さない時転移の可能性が低いが、Intensityの差だけで、悪性腫瘍椎体転移と非腫瘍性椎体病変を鑑別する事は困難であった。

3) 緩和時間単独( $T_1$ 値、 $T_2$ 値及び $T_1$ Ratio、 $T_2$ Ratio)による悪性腫瘍椎体転移と非腫瘍性椎体病変の鑑別は困難であった。

4)  $T_1/T_2$ 、 $T_1$ Ratio/ $T_2$ Ratioは悪性腫瘍椎体転移と非腫瘍性椎体病変の間に有意の差を認め、両者の鑑別において有用であった。

本論文の要旨の一部は第72回北米放射線学会(シカゴ)にて発表した。また本研究は文部省科学研究費(60770837)の援助を受けた。

### 文 献

- 1) 大塚信昭、福永仁夫、森田陸司、曾根照喜、米光達志、柳本真一、村中 明：前立腺癌の骨転移における骨髓シンチグラフィの有用性について。核医学, 22: 169-176, 1985
- 2) Israel, O., Front, D., Frenkel, A. and Kleinhaus, U.: 24-hour/4-hour ratio of technetium-99m methylene diphosphonate uptake in patients with bone metastases and degenerative bone changes. J.N.M., 26: 237-240, 1985
- 3) Zimmer, W.D., Berquist, T.H., LcLeod, R.A., Sim, F.H., Pritchard, D.J., Shives, T.C., Wold, L.E. and May, G.R.: Bone tumors: Magnetic resonance imaging versus computed tomography. Radiol., 155: 709-718, 1985
- 4) Modic, M.T., Weinstein, M.A., Pavlicek, W., Boumphrey, F., Starnes, D. and Duchesneau, P. M.: Magnetic Resonance Imaging of the Cervical Spine: Technical and Clinical Observations. A.J.R., 141: 1129-1136, 1983
- 5) Modic, M.T., Feiglin, D.H., Piraino, D.W. Boumphrey, F., Weinstein, M.A., Duchesneau, P.M. and Rehm, S.: Vertebral osteomyelitis: Assessment using MR. Radiol., 157: 157-166, 1985
- 6) Atlan, H., Sigal, R., Hadar, H., Chisin, R., Cohen, I., Lanir, A., Soudry, M., Machtey, Y., Schreiber, R. and Benmair, J.: Nuclear magnetic resonance proton imaging of bone pathology. J.N.M., 27: 207-215, 1986
- 7) Chryaman, G.P. and Smith, F.W.: NMR scanning for skeletal tumours. Lancet, 23: 1403-1404, 1984
- 8) Brady, T.J., Gebhardt, M.C., Pykett, I.L., Buonanno, F.S., Newhouse, J.H., Burt, C.T., Smith, R.J., Mankinm, H.J., Kistler, J.P., Goldman, M.R., Hinshaw, W.S. and Pohost, G.M.: NMR imaging of forearms in healthy volunteers and patients with giant-cell tumor of bone. Radiology, 144: 549-552, 1982
- 9) Moon, K.L., Genant, H.K., Helms, C.A., Chafetz, N.I., Crooks, L.E. and Kaufman, L.: Musculoskeletal applications of nuclear magnetic resonance. Radiology, 147: 161-171, 1986
- 10) 中谷理子、関谷 透、畠 雄一、森 豊、安田晶信、川上憲司、多田信平：椎体病変における骨シンチグラフィとNMRの比較検討。核医学, 22: 177-184, 1985
- 11) Cohen, M.D., Klatte, E.C., Baehner, R., Smith, J. A., Simmerman, P.M., Carr, B.E., Provisor, A. J., Weetman, R.M., Coates, T., Siddiqui, A., Weisman, S.J., Berkow, R., McKenna, S. and McGuire, W.A.: Magnetic Resonance Imaging of bone marrow disease in children. Radiol., 151: 715-718, 1984
- 12) Dooms, G.C., Fisher, M.R., Hricak, H., Richardson, M., Crooks, L.E. and Genantm, H.K.: Bone marrow imaging: Magnetic resonance studies related to age and sex. Radiol., 155: 429-432, 1985
- 13) Modic, M.T., Masaryk, T.J. and Weinstein, M. A.: Magnetic resonance imaging of the spine. Magnetic resonance annual. 37-54, 1986, Raven Press, New York
- 14) 山田健嗣、小澤大樹、山田 進、吉岡清郎、小野修一：Carr-Purcell-Meiboom-Gill法による頭部NMR画像の特徴と $T_1$ 、 $T_2$ 緩和時間の測定。日医放会誌, 45: 1462-1470, 1985
- 15) Damadian, R.: Tumor detection by nuclear magnetic resonance. Science, 171: 1151-1153, 1971
- 16) 小沢義典、山浦 晶、福田信男、池平博夫、館野之男、高島常夫、橋本隆裕：脳腫瘍の $T_1$ 分布及び結合水分画(BWF)。NMR 医小, 5: 52-60, 1985
- 17) Grazer, G.M., Woolsey, E.J., Borrello, J., Francis, I.R., Aissen, A.M., Bookstein, F., Amendola, M.A., Gross, M.D., Bree, R.L. and Martel, W.: Adrenal tissue characterization using MR imaging. Radiol., 158: 73-79, 1986
- 18) Farrar, T.C. and Becker, E.D.: Pulse and fourier transform NMR: Introduction to theory and methods, 3rd ed. 111-127, 1971, Academic Press, New York and London