

STIR を加えた骨髄 MRI の定量的評価

岩崎俊子¹, 河村泰孝¹, 木村浩彦¹, 前田正幸¹,
 伊藤 哲¹, 松田 豪¹, 林 信成¹, 山本和高¹,
 玉川洋一¹, 石井 靖¹, 岩崎博道², 中村 徹²

¹福井医科大学放射線医学, ²同 第1内科

はじめに

骨髄は造血の場であり, 造血管疾患の診断に骨髄の情報は必要不可欠である。現在, 骨髄の情報は主として骨髄穿刺あるいは骨髄生検に頼られている。しかし, これらは侵襲的であり, 結果が出るまでに時間がかかる上, 評価できる範囲は骨髄のごく一部に過ぎない。非侵襲的な検査手段としての画像診断が求められてきた。骨髄内は X 線吸収の高い骨梁が入り組んでおり, X 線を利用する検査は不适当である。そのため骨髄の画像診断としては古くから骨髄シンチが利用されてきたが, 投与後 2~3 日間待たねばならず, 画質も劣っている。

近年, 骨髄画像診断にも MRI が導入されている。骨のアーチファクトが少なく, また様々な撮影条件より, 多彩な像が得られることから, 骨髄画像診断の主流となりつつある。骨髄 MRI に関して現在まで種々の報告があり^{1)~6)}, 特に骨転移や骨髄腫など結節形成型の病変の検出に優れているとされている。白血病, 再生不良性貧血等の瀰漫性病変に対しては, 定量的評価が待たれていた。chemical shift を利用して骨髄脂肪成分を求める Dixon 法^{7)~10)}や SE 法あるいは IR

法をもとに T₁, T₂時間を求め, 骨髄を評価する方法^{11)~16)}などが報告されている。しかし, これらの撮像部位はほとんどが脊椎であり, 日常臨床的に骨髄穿刺あるいは骨髄生検を行う胸骨や腸骨の MR 像の報告は極めて少ない。

STIR (short TI inversion recovery) 法は生体組織中の水成分及び脂肪成分の緩和時間の差を利用して脂肪抑制画像を得る方法である¹⁷⁾。骨髄は脂肪, 造血細胞が混在しているため脂肪抑制画像が造血細胞の増減の判定に有用とされている^{18)~23)}。

今回我々は腸骨骨髄生検部に一致した部位を T₁, T₂強調 SE 像及び STIR 像で撮像し, 骨髄生検組織像との比較を行ったのでここに報告する。

対象および方法

症例は各種血液疾患 15 例である (表 1)。再生不良性貧血 5 例, 白血病 4 例, 骨髄腫 3 例, その他 3 例である。30 代 3 人, 50 代 3 人, 60 代 5 人, 70 代 2 人, 80 代 2 人であり, 男性 13 人, 女性 2 人であった。いずれも後上腸骨棘より骨髄生検が行われ, 病理組織学的に診断が確定している。

キーワード MRI, bone marrow, STIR

MRIはGE社Signa 1.5Tを使用し、ボディコイルを用いて撮像した。T₁強調像はTR=600 ms, TE=20 ms, T₂強調画像はTR=1800 ms, TE=80 ms, STIR像はTR=1800 ms, TE=20 ms, TIはプレスキャン画面上で脂肪信号が消える値を確認の上決定した。個人差はあるものの約130から170 msで撮像した。マトリックスは256×128, 2回加算でFOVは約30 cm, スライス厚は5~10 mmとした。通常骨髄生検部位である腸骨後上腸骨棘を含む骨盤部横断スライスを撮像した。

組織の信号強度は筋肉及び皮下脂肪を対照として評価することが多い^{24),25)}が, STIR像においては, 皮下脂肪は無信号となり, 比を求めることができないため, この検討では筋肉のみを対照とした。腸骨の後上腸骨棘に関心領域(ROI)を設定し, 骨髄信号強度と腸骨周囲の筋肉(臀筋)との比(信号強度比)を求め検討した。臀筋は腸骨に接して存在するため, FOV内の磁場の不均一によるアーティファクトの影響を受けにくい利点があった。また, 信号の視覚上の比較が容易でもあった。

生検標本は, 脱灰し, 型の如くパラフィン包埋した後薄切し, ヘマトキシリン-エオジンで染色した。カラー画像解析装置(オリンパス社製CIA-102)を用いて, 200倍の拡大視野で細胞成分の占める面積の割合を求め細胞密度とした。

生検標本の細胞密度とT₁, T₂強調像, 及び

STIR像の信号強度比との相関関係を検討した。

結 果

生検標本上, hypercellular bone marrowとされた細胞成分の多い骨髄はT₁強調像でiso intensity, STIR像でhigh intensityを示した。図1にhypercellular bone marrowを呈した1例として骨髄異形性症候群(MDS)症例のMR像を示した。本例では骨髄生検標本での細胞密度が98.6%であった。T₁強調像で骨髄は筋肉と近似した信号強度を示した。T₂強調像では骨髄は筋肉よりやや高信号を呈し, STIR像では著明な高信号を呈した。

生検上hypocellular bone marrowと診断された骨髄はT₁強調像で高信号, STIR像では低信号を示していた。図2は骨髄生検標本上細胞密度がほぼ0%であった再生不良性貧血症例のMR像である。図1と異なり骨髄はT₁強調像では皮下脂肪近似の信号強度で, STIR像では著明な低信号を示した。T₂強調像は図1のhypercellular bone marrowと同様筋肉よりやや高信号であり, 造血細胞成分の増減による差が顕著ではなかった。

図3で骨髄の細胞密度を横軸に, T₁強調像における骨髄の信号強度比を縦軸に取り, それらの相関を示した。細胞密度の増加に伴い信号強度比の低下が認められた。相関係数 $R = -0.603$ ($P < 0.01$)の負の相関が認められ回帰直線は $Y = -0.016X + 2.61$ で表された。

図4にT₂強調像における信号強度比と細胞密度の関係を示した。回帰直線は $Y = -0.007X + 2.215$ と求められたが, $R = -0.234$ ($P > 0.1$)であり, T₂強調像と細胞成分の間に有意な相関は得られなかった。

骨髄細胞密度とSTIR法による信号強度比の相関を図5に示した。細胞成分が増えるに従い, 信号強度比は増加した。回帰直線は $Y = 0.015X +$

表 1

再生不良性貧血	5 (男5, 女0)
白血病	4 (男3, 女1)
骨髄腫	3 (男3, 女0)
その他	3 (男2, 女1)
計	15 (男15, 女2)

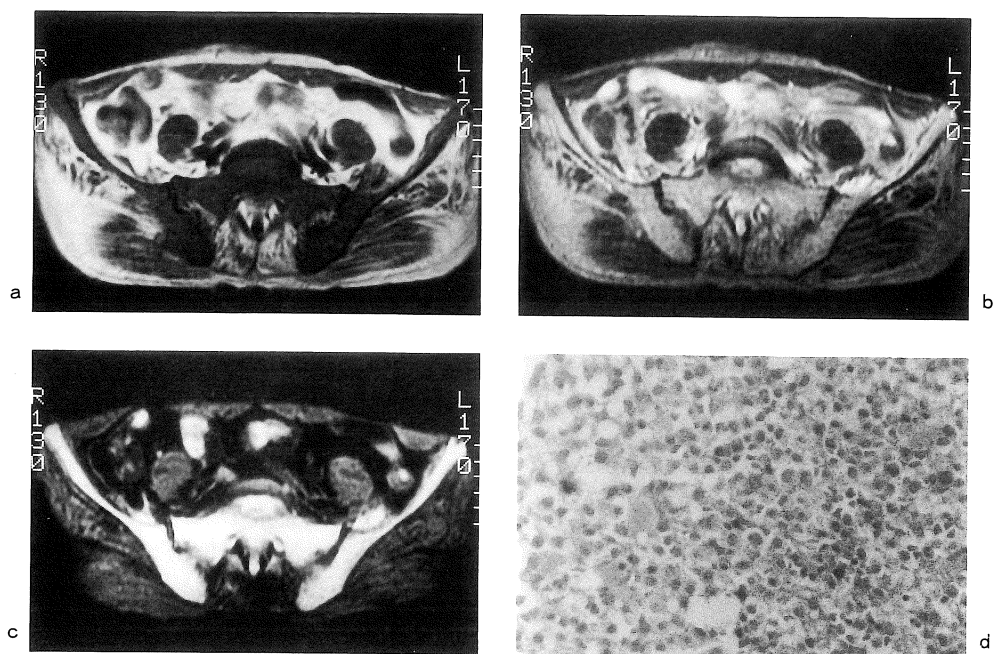


図1. 65歳, 男性, hypercellular bone marrow と診断された骨髄異形成症候群の症例. a: T₁強調像, 骨髄は筋肉とほぼ同じ信号強度を示している. b: T₂強調像, 骨髄は筋肉よりやや高信号を示している. c: STIR 像, 骨髄は著明な高信号を示している. d: 骨髄生検組織像(×200, HE 染色), 造血細胞成分の占める面積は98.6%であった.

0.154 であり $R=0.811$ ($P<0.01$) の正の相関を示した.

考 察

骨髄の MR 診断は現在広く臨床応用されており, その評価に関する報告も多い. 最近では T₁, T₂ 計算画像^{11)~16)}に加え, 脂肪信号を抑制する STIR 像^{18)~23)}や Dixon 法^{7)~10)}など新たな手法も多数報告されている. しかし, これらの撮像部位はほとんどが腰椎骨髄であり, 通常生検を行う腸骨での検討は少なく, 生検組織と同部位の MR 像とを直接対比した報告は極めて少ない.

T₂ 強調像においては, 生検標本における細胞密度と骨髄/筋信号強度比に有意な関係は認められず, 骨髄の瀰漫性変化の診断に T₂ 強調像は不相当と考えられた. T₂ 強調像では, 造血細胞成分の信号強度と, 脂肪の信号強度が類似して

いるため, 骨髄内の細胞構成の変化に伴う信号強度の差が現われにくく, またわずかではあるが骨梁による susceptibility の影響を受けるため, T₂ 強調像は骨髄の病態を反映しにくいものと考えられた.

Smith ら¹¹⁾は骨髄細胞成分と T₁ 時間の間には相関があるが, T₁ 強調像の信号強度との間には明らかな相関はないとしている. しかし, 彼等が対比したのは腰椎の骨髄 MR 像であり, 生検された骨髄との比較ではない. 今回の検討では生検部位に一致した骨髄の MR 像を撮像した. T₁ 強調画像上の信号強度比は細胞密度が増加に伴い減少する傾向を示し明らかな相関が見られた. 骨髄内の細胞が増えるにつれ脂肪が減るため, このような傾向を示すものと推測された. 回帰直線上細胞が 0% の点は信号強度比およそ 2.5 であり, これは皮下脂肪の信号強度比にほぼ一致した. また細胞が 100% の点は信号強度比が

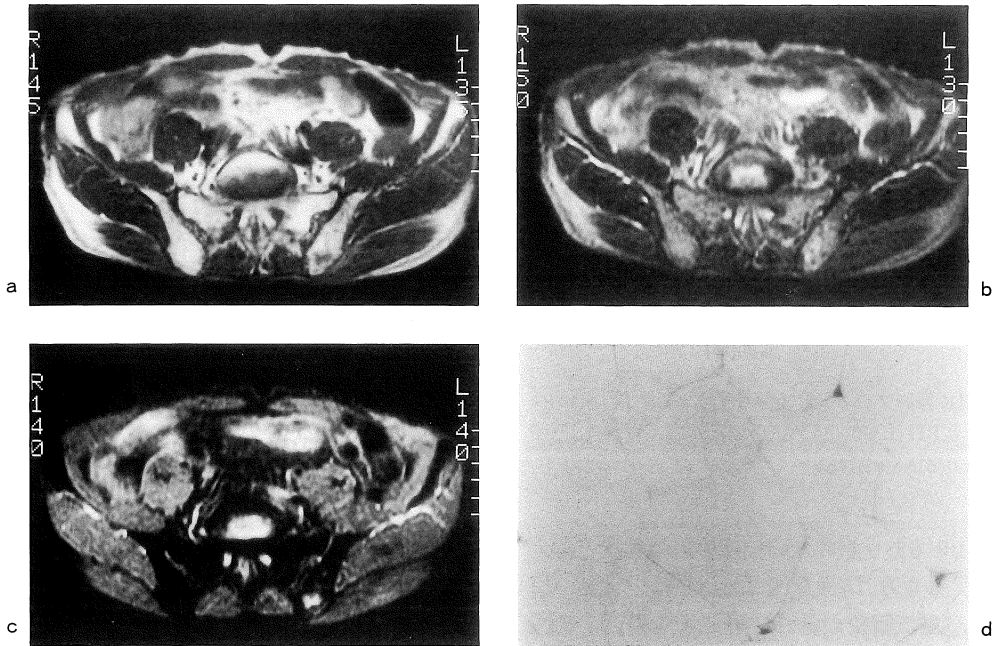


図 2 . 76歳, 男性, 再生不良性貧血の患者. a : T₁強調像, 骨髄は皮下脂肪とほぼ同程度の信号強度を示している. b : T₂強調像, 骨髄は筋肉よりやや高信号であり, 図 1 b の T₂強調像との違いはあまりない. c : STIR 像, 骨髄はほぼ無信号となっている. d : 骨髄生検組織像(×200, HE 染色), ほとんどが脂肪細胞で, 造血細胞は1.1%であった.

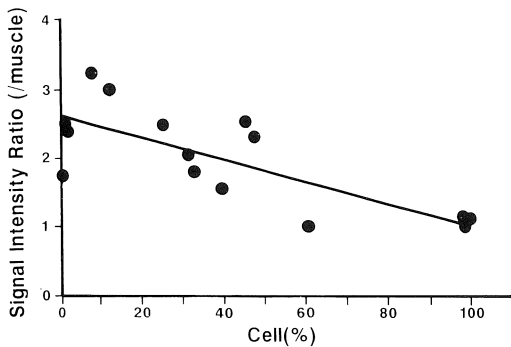


図 3 . T₁強調像における信号強度比と細胞成分の関係を示したグラフ. 横軸は骨髄生検標本における細胞の占める面積, 縦軸に骨髄の信号強度を取った. 相関係数 $R = -0.603$ ($P < 0.01$) の負の相関が認められた. 回帰直線は $Y = -0.016X + 2.61$

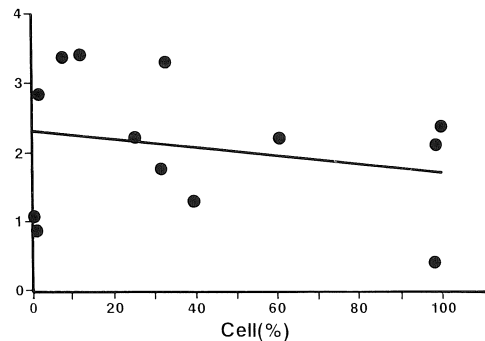


図 4 . T₂強調像における信号強度比と細胞成分の関係. T₂強調像と細胞成分の間に相関は認められなかった. 回帰直線 $Y = -0.007X + 2.215$, $R = -0.234$ ($P > 0.1$).

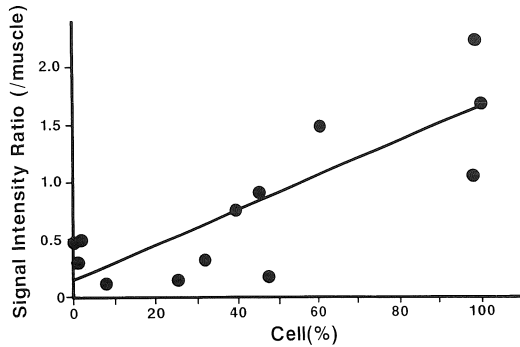


図5. STIR 像のグラフ. 骨髄信号強度と細胞成分の関係には $R=0.811$ ($P<0.01$) の正の相関が認められた. 回帰直線 $Y=0.015X+0.154$

およそ 1.0 であり筋肉と同程度の信号強度と考えられた。つまり T_1 強調像においては、骨髄の信号強度が皮下脂肪のそれに近似する場合、細胞密度の著明な低下が疑われ、筋肉の信号強度に近似する場合、細胞密度の増加が予測される。しかし、正常細胞密度よりの増減の判定は困難である。

STIR 像における骨髄の信号強度比は、細胞密度の増加に比例して高くなり、有意な正の相関が認められた。回帰直線は細胞密度が 40~60% 付近で信号強度比が 1 となる。正常の細胞密度は 30~50% であるから、細胞密度が正常範囲であれば、信号強度比 1、すなわち筋肉と同程度の信号強度を示すと考えられた。

以上より、 T_1 強調像に STIR 法を組み合わせた骨髄 MRI により、骨髄細胞密度の推測が可能と言えよう。しかし、これはあくまで量的な細胞の増減を表現しているのみであり、例えば芽球の割合など細胞の質的な判定をするのは困難であり、その診断的能力の限界も認めざるを得ない。しかし、骨髄細胞の量的診断が治療方針を左右する場合は日常診療上多くあり、この場合は不確実な骨髄穿刺や煩雑で時間のかかる骨髄生検に頼っているのが現状である。特に骨髄穿刺が dry tap に終わったとき迅速な診断を得るには画像診断が必要であり、非侵襲的な補助

手段として MRI が大きく期待される。STIR 法は骨髄細胞密度の正常よりの増減の判定が可能なことから骨髄 MRI 診断は不可欠であると思われる。

結 論

T_1 、STIR を組み合わせることにより、骨髄内の細胞密度の推測が可能であった。骨髄の非侵襲的な診断法の一つとして STIR 法を加えた MRI は極めて有用と考えられた。

文 献

- 1) Vogler III JB, Murphy WA : Bone marrow imaging. *Radiology*, 168 : 679-693, 1988.
- 2) Poter BA : MR may become routine for imaging bone marrow. *Diagnostic imaging*, 104-108, 1987.
- 3) d'Aglincourt L : Imaging offers early look at bone marrow disease. *Diagnostic imaging*, 92-101, 1989.
- 4) Moore SG, Bisset III GS, M. J. Siegel, et al. : Pediatric musculoskeletal MR imaging. *Radiology*, 179 : 345-360, 1991.
- 5) Linden A, Zankovich R, P. Theissen, et al. : Malignant lymphoma : Bone marrow imaging versus biopsy. *Radiology*, 173 : 335-339, 1989.
- 6) 吉田英夫 : 骨髄疾患. *画像診断*, 10 : 800-808, 1990.
- 7) Dizon WT : Simple proton spectroscopic imaging. *Radiology*, 153 : 189-194, 1984.
- 8) Wismer GL, Rosen BR, Buxton R, et al. : Chemical shift imaging of bone marrow : Preliminary experience. *AJR*, 145 : 1031-1037, 1985.
- 9) Rosen BR, Fleming DM, Kushner DC, et al. : Hematologic bone marrow disorders : Quantitative chemical shift MR imaging. *Radiology*, 169, 799-804, 1988.
- 10) Füchel F, Brix G, Semmler W, et al. Systemic bone marrow disorders : Characterization with proton chemical shift imaging. *J Comput Assist Tomogr*, 14 : 633-642, 1990.
- 11) Smith SR, Williams CE, Davies JM, et al. : Bone marrow disorders : Characterization with quantitative MR imaging. *Radiology*, 172 : 805-810, 1989.

- 12) Jensen KE, Sorensen PG, Thomsen C, et al. : Magnetic resonance imaging of the bone marrow in patients with acute leukemia during and after chemotherapy. *Acta Radiologica*, 31 : 361-369, 1990.
- 13) Sugimura K, Yamasaki K, Kitagaki H, et al. : Bone marrow disease of the spine : Differentiation with T_1 and T_2 relaxation times in MR imaging. *Radiology*, 165 : 541-544, 1987.
- 14) McKinsty 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.
- 15) Moore SG, Gooding CA, Brasch RC, et al. : Bone marrow in children with acute lymphocytic leukemia : MR relaxation times. *Radiology*, 160 : 237-240, 1986.
- 16) Doods GC, Fisher MR, Hricak H, et al. : Bone marrow imaging : Magnetic resonance studies related to age and sex. *Radiology*, 155 : 429-432, 1985.
- 17) Dwyer AJ, Frank JA, Sank VJ, et al. : Short-TI inversion-recovery pulse sequence : Analysis and initial experience in cancer imaging. *Radiology*, 168 : 827-836, 1988.
- 18) 石坂 浩, 栗原美貴子, 平敷淳子, 他 : Short TI IR 法による骨髄病態の評価—第 1 報—. *日本医放会誌*, 49 : 128-133, 1989.
- 19) 石坂 浩, 栗原美貴子, 平敷淳子, 他 : Short TI IR 法による骨髄病態の評価—第 2 報—. *日本医放会誌*, 49 : 134-138, 1989.
- 20) 藤本公則, 西村 浩, 内田政史, 他 : 多発性骨髄腫の MRI—特に STIR の有用性について—. *画像診断*, 10 : 81-89, 1990.
- 21) Olson D, Shields AF, Scheurich CJ, et al. : Magnetic resonance imaging of the bone marrow in patients with leukemia, aplastic anemia, and lymphoma. *Invest Radiol*, 21 : 540-546, 1986.
- 22) Porter BA, Shiedo AF, Olson DO, et al. : Magnetic resonance imaging of bone marrow disorders. *Radiol Clin North Am*, 24 : 269, 1986.
- 23) Daffner RH, Lupetin AP, Dash N, et al. : MRI in the detection of malignant infiltration of bone marrow. *AJR*, 146 : 353, 1986.
- 24) Eggin TK, Rummeny E, Stark DD, et al. : Hepatic tumors : Quantitative tissue characterization with MR imaging. *Radiology*, 176 : 107-110, 1990.
- 25) Kangaroo H, Dietrich RB, Taira RT, et al. : MR imaging of bone marrow in children. *J Comput Assist Tomogr*, 10 : 205-209, 1986.

Quantitative Analysis of Bone Marrow MRI Using STIR Technique

Toshiko IWASAKI¹, Yasutaka KAWAMURA¹, Hirohiko KIMURA¹,
Masayuki MAEDA¹, Satoshi ITOU¹, Tsuyoshi MATSUDA¹,
Nobushige HAYASHI¹, Kazutaka YAMAMOTO¹, Youichi TAMAGAWA¹,
Yasushi ISHII¹, Hiromichi IWASAKI², Tōuru NAKAMURA²

¹*Department of Radiology, Fukui Medical School*

²*1st Department of internal medicine, Fukui Medical School
23 Shimoaizuki, Matsuoka-cho, Yoshida-gun, Fukui, 910-11*

Bone marrow consists of hematopoietic tissue, and practically examined by means of biopsy. However, this technique is invasive and provides informations of only localized area of bone marrow. Recently, several studies have demonstrated the potential usefulness of magnetic resonance imaging (MRI) in the evaluation of bone marrow.

In this study, fifteen patients with various hematologic disorders underwent MRI of their iliac bones using spin echo (SE) method and short TI inversion recovery (STIR) technique. We compared the biopsy specimens obtained from iliac crest of the patients, with the signal intensities of their bone marrow standardized with gluteal muscle. A significant positive correlation was seen between bone marrow cellularity and STIR signal intensity. At the same time, a significant inverse relation was revealed between bone marrow cellularity and T₁-weighted signal intensity. There was no significant relation between bone marrow cellularity and T₂-weighted signal intensity.

In cases where bone marrow specimens were widely replaced by fatty tissue, the T₁-signal intensity of bone marrow was similar to that of subcutaneous fat. On the other hand, in bone marrow specimens mostly occupied with hematopoietic tissue, the T₁ signal intensity was same as that of muscle. In patients with normal cellularity, the STIR signal intensity of bone marrow was similar to that of muscle. We concluded that both T₁-weighted and STIR images were useful for evaluating bone marrow cellularity.