



Title	成人の急性白血病における大腿骨骨髄のMR imaging所見の検討-FAB分類および予後との関連について-
Author(s)	田中, 修; 高木, 省治郎; 小林, 泰之 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1996, 56(13), p. 967-973
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15454
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

成人の急性白血病における大腿骨骨髓のMR imaging所見の検討

— FAB分類および予後との関連について —

田中 修¹⁾ 高木省治郎²⁾ 小林 泰之¹⁾
市川 珠紀¹⁾ 松浦 克彦¹⁾ 永井 純¹⁾

1)自治医科大学大宮医療センター放射線科 2)同血液科

MR Imaging of the Femoral Marrow in Adult Acute Leukemia: Correlation of MRI patterns with FAB subtype and prognosis

Osamu Tanaka¹⁾, Shojiro Takagi²⁾,
Yasuyuki Kobayashi¹⁾, Tamaki Ichikawa¹⁾,
Katsuhiko Matsuura¹⁾ and Jun Nagai¹⁾

MR imaging of the femoral marrow was performed in 36 patients with untreated acute myeloid leukemia (AML) and 7 patients with acute lymphocytic leukemia (ALL). The MRI appearance was classified into five patterns: 1) fatty marrow; 2) faint signal; 3) nodular pattern; 4) heterogeneous infiltration; and 5) diffuse infiltration. The MRI patterns of the femoral marrow were compared among the FAB subtypes of acute leukemia, and the MRI patterns were correlated with prognosis.

All five MRI patterns were observed in the femoral marrow in adult acute leukemia, and diffuse infiltration was most commonly seen (41.9%). A completely fatty marrow was also depicted in two cases (4.7%) and faint signal in four cases (9.3%) in spite of untreated acute leukemia. The M2 subtype of AML tended to be demonstrated as a minimally abnormal MRI finding, which was significantly different from the other types of AML. The patients who showed fatty marrow or faint signal were thought to have a good prognosis, while diffuse or heterogeneous infiltration was regarded as a poor prognostic sign. However, there were some exceptions to these rules, and no significant differences were revealed in prognosis between minimally abnormal and advanced MRI patterns.

We concluded that MRI of the femoral marrow could be useful in the assessment of tumor volume of adult acute leukemia, and that there were limitations to predicting prognosis on the basis of the MRI manifestations.

Research Code No. : 509.9

Key words : Leukemia, Bone marrow, MR imaging

Received Mar. 29, 1996; revision accepted Jun. 28, 1996

1) Department of Radiology, Jichi Medical School Omiya Medical Center
2) Division of Hematology, Jichi Medical School Omiya Medical Center

はじめに

急性白血病に対して近年FAB (French-American-British)グループによる分類¹⁾が用いられるようになり、未分化な骨髓性の芽球が腫瘍性に増殖する急性骨髓性白血病(acute myeloid leukemia; AML)は、細胞の分化の方向や成熟の程度によって、M0~M7の亜型に細分される^{2),3)}。また、急性リンパ性白血病(acute lymphocytic leukemia; ALL)もL1~L3の3つに分けられるが¹⁾、L1とL2の鑑別が難しいことや、治療効果に差がみられないことから、ALLのFAB分類は形態学的な特徴を示す表現以外にはあまり重要視されない傾向にある³⁾。

白血病における骨髓MRIの有用性については、すでに多くの報告があるが⁴⁾⁻¹²⁾、従来、骨髓のMRIは脊椎を検査対象にすることが多かった。しかし、脊椎では成人になっても造血髄が残存しているため、正常でもT1強調像で低信号、STIR像で高信号を示す領域がみられ、異常骨髓との鑑別が困難な場合も少なくない。これに対して、大腿骨の骨髓は25歳以上の成人ではほとんど脂肪髄化しているため¹³⁾、血液疾患の出現で、脂肪髄から造血髄への再転換や腫瘍などによる置換が起こり¹⁴⁾、脊椎よりも大きなMRI所見の変化が観察される。したがって、大腿骨骨髓のMRIの方が脊椎よりも、白血病などの造血器腫瘍の病態を評価するうえで有用な場合が多いと予想される¹⁵⁾。

今回われわれは、AMLおよびALLと診断された未治療の成人例に対して大腿骨骨髓のMRIを行い、MRIパターンと急性白血病のFAB分類との対比、ならびに白血病の予後の予測における大腿骨MRIの有用性について検討した。

対象および方法

1990年1月より1995年12月までに、自治医科大学大宮医療センターにて、急性白血病と診断された未治療の成人例で、大腿骨骨髓のMRIが施行されたAML 36症例(男性23例、女性13例)、およびALL 7症例(男性4例、女性3例)を対象とした。FAB分類によりAMLはM0~M7、ALLはL1~L3の亜型に分けられるが、症例のFAB分類の内訳を

Table 1 The French-American-British (FAB) classification of acute leukemia³⁾

	Subtype	No. of patients
AML (n = 36)	M0 minimally differentiated	2
	M1 myeloblastic, without maturation	6
	M2 myeloblastic, with maturation	17
	M3 hypergranular promyelocytic	3
	M4 myelomonocytic	1
	M5 a) monoblastic b) monocytic	4
	M6 erythroleukemia	2
ALL (n = 7)	M7 megakaryoblastic	1
	L1 small lymphoblast, monomorphic	3
	L2 large lymphoblast, heterogeneous	4
	L3 Burkitt cell-type	0

Table 1に示す。AML患者の年齢分布は21～80歳(平均53.5歳)で、ALLは29～64歳(平均49.0歳)である。

使用したMRI装置は東芝製 MRT-200FX/II(静磁場強度1.5 Tesla)で、撮像法はT1強調SE法400/20/2(TR/TE/excitation)とSTIR法1500/150/20/1(TR/TI/TE/excitation)を用い、大腿骨の長軸に沿った冠状断像を撮像した。受信コイルには躯幹用コイルを使用し、スライス厚10mm, matrixは256×256, FOV(field of view)は40cmとした。

大腿骨骨髓のMRI所見については、T1強調SE像で低信号、STIR像で高信号を示す領域を異常信号域とし、その信号強度、形態および広がりによって、次の5つのパターンに分類した(Fig.1)。

I. 脂肪髓型：異常信号域がまったくみられず、骨髓腔全体がT1強調SE像で均等な高信号、STIR像で低信号を示すもの。

II. 軽度信号型：近位骨幹端～骨幹部の限局した骨髓腔内にT1強調SE像で淡い低信号、STIR像で不均等な高信号を呈するもの。

III. 結節型：大腿骨近位部の脂肪髓の中に多発性の結節状の異常信号域の集簇を認めるもの。

IV. 不均等浸潤型：近位骨幹部を中心にT1強調SE像で不

均等な低信号、STIR像で高信号を示す領域を認め、その範囲が大腿骨近位1/2を越えるもの。

V. びまん浸潤型：広範なびまん性、かつ均等な異常信号域を認め、遠位骨幹または骨幹端部にまで進展しているもの。

骨髓所見の分類は、放射線科医3名により臨床情報を伏せて行い、読影者間で判定結果が異なった症例については、討論の上、多数決で決めた。AMLおよびALLにおけるFAB分類各亜型の大腿骨骨髓のMRI所見を比較し、それぞれの病型に特徴的な所見があるか否かを検討した。

また、大腿骨のMRIパターンと急性白血病の予後との関連について、初診後2年以上経過を追うことができた37症例を対象に検討した。予後良好群と不良群の2つに分けたが、化学療法により寛解導入および維持に成功し、2年以上再発を認めなかったものを予後良好群とし、寛解導入できなかった例や経過観察中に再発したり感染症などで死亡した症例を予後不良群とした。

結 果

AMLとALLの各亜型における大腿骨骨髓のMRI所見ならびに予後についての結果をまとめたのがTable 2である。急性白血病では、初診時の大腿骨MRIにて、びまん浸潤型、不均等浸潤型、結節型、軽度信号型さらに脂肪髓型の5型すべてのパターンが認められた。びまん浸潤型を示したものが43症例中18例(41.9%)で最も多かったが、異常信号がまったくみられない脂肪髓型が2例(4.7%)、軽度信号型も4例(9.3%)に認められた。

AMLのFAB分類別の比較では、びまん浸潤型などの比較的高度のMRI像を示すことが多いM2以外の病型に対して、M2では広範な骨髓浸潤像を呈する例が少なく、比較的軽微な所見を示す傾向がみられた。AMLをM2とM2以外の病型に分けると、両群間の大腿骨のMRIパターンには5%の危険率で有意の差が認められた($p = 0.0465$: Mann-Whitney's U

test)(Table 3)。ALLでは、びまん浸潤型または不均等浸潤型などの広範な骨髓浸潤像を認めるものが多く、結節型、軽度信号型および脂肪髓型を呈した例はなかった。

急性白血病における大腿骨のMRIパターン別の予後の良悪についてまとめたのがTable 4である。脂肪髓型、軽度信号型または結節型を示したものをA群、不均等浸潤型またはびまん浸潤型を呈したものをB群として2群に分けると、後者で予後不良の例が多く認められた。しかし、両群間に統計学的に有意な差異は認められなかった($p > 0.05$: Chi-square testおよびFischer's exact

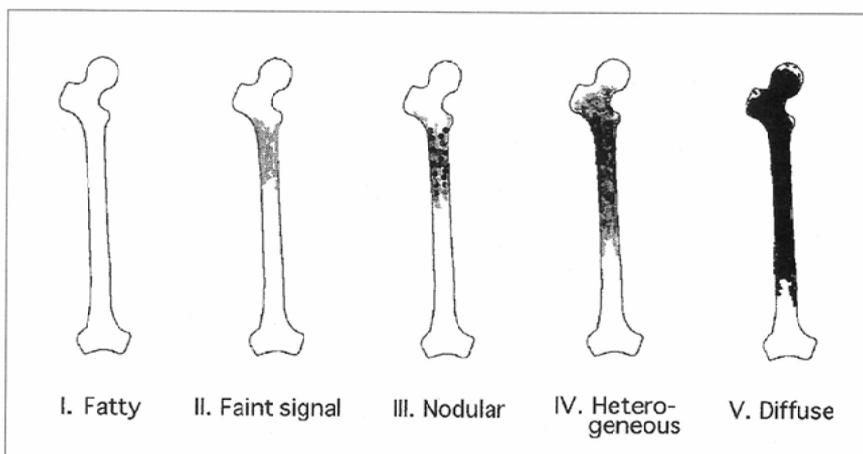


Fig.1 MRI patterns of the femoral bone marrow.

Table 2 MRI patterns of the femoral marrow and prognosis in acute leukemia

FAB subtype	MRI patterns					Prognosis (Good/Poor)
	Fatty	Faint signal	Nodular	Heterogeneous	Diffuse	
M0 (n=2)	0	1	0	0	1	1/0
M1 (n=6)	0	0	1	2	3	2/4
M2 (n=17)	1	3	3	7	3	11/5
M3 (n=3)	1	0	1	0	1	2/0
M4 (n=1)	0	0	0	0	1	0/0
M5 (n=4)	0	0	0	2	2	2/2
M6 (n=2)	0	0	0	1	1	1/1
M7 (n=1)	0	0	0	0	1	0/1
L1 (n=3)	0	0	0	1	2	1/1
L2 (n=4)	0	0	0	1	3	2/1
Total	2(4.7%)	4(9.3%)	5(11.6%)	14(32.6%)	18(41.9%)	22/15

probability test). 比較的軽微なMRI所見を呈したA群でも、初診後2年以内に死亡したものが11例中3例(27.3%)あった。これらは、いずれも化学療法が奏効していったんは完全寛解に至ったものの、再発または感染症の併発により死亡した症例であった。また、広範な骨髓浸潤型を示したB群でも、寛解導入および維持に成功し、2年以上生存している例が半数以上(26例中14例, 53.8%)を占めた。

症 例

急性白血病における大腿骨骨髓のMRIにて代表的なMRIパターンを示した症例を呈示する。

症例 1 (Fig.2)

65歳, 女性. 分化した骨髓芽球からなるM2のAMLで、大腿骨骨髓のMRIにて脂肪髄型のパターンを呈した症例。未治療のAMLにもかかわらず、大腿骨では骨髓腔全体がT1強調SE像で均等な高信号、STIR像で低信号を示し、異常信号はまったくみられなかった。化学療法が奏効し、末梢血にて芽球が消失し、骨髓でも1.0%未満に減少した。しかし、化学療法に伴う無顆粒球症から回復できず、肺炎および脳膿瘍を併発して死亡した。

症例 2 (Fig.3)

59歳, 男性. M2のAMLで、大腿骨の骨髓にて軽度信号型のMRIパターンを示した症例。大腿骨のMRIでは初診時より、近位骨幹部~骨幹部の限局した領域にT1強調SE像で淡い低信号、STIR像でも軽微な高信号域を認めるのみであった。寛解導入および維持に成功し、発病後2年9カ月経過しているが、再発もなく、予後良好であった。

症例 3 (Fig.4)

52歳, 男性. 未分化な骨髓芽球からなるM1のAML例で、結節型のMRIパターンが描出さ

れた症例。大腿骨骨髓のMRIでは、脂肪髄を背景にして、近位部の骨髓腔内にT1強調SE像で小結節状の低信号域の集簇がみられ、STIR像でも限局した領域に不均等な高信号域が認められた。化学療法が奏効し、いったんは完全寛解の状態に至ったものの、その後再発し、初診から1年3カ月後に死亡した。

症例 4 (Fig.5)

53歳, 男性. FAB分類でM1のAMLで、大腿骨骨髓のMRIにて不均等浸潤型を示した症例。大腿骨では、近位骨幹部を中心にT1強調SE像で不均等な低信号、STIR像で高信号を示す領域がみられ、異常信号域が両側対称性に下方へ進展しているのが認められた。本症例は治療に抵抗性で、いったんは寛解導入に至ったものの、すぐに再発し、予後不良であった。

症例 5 (Fig.6)

70歳, 男性. 成熟傾向が認められる単球性のAMLで、FAB分類ではM5bに分類され、びまん浸潤型のMRIパターンを呈した症例。大腿骨の近位骨幹部を中心にT1強調SE像でびまん性に均等な低信号、STIR像で高信号を示す領域が認められ、その範囲が近位1/2を越えて遠位骨幹部にまで進展していた。化学療法がよく奏効し、完全寛解の状態でも2年6カ月以上生存しており、良好な経過を示した。

Table 3 MRI patterns of the femoral marrow in acute leukemia

Dx.	MRI patterns					
	Fatty	Faint signal	Nodular	Heterogeneous	Diffuse	
AML	M2 (n=17)	1	3	3	7	3
	non-M2 (n=19)	1	1	2	5	10
ALL (n=7)		0	0	0	2	5

p : Mann-Whitney's U test tied-P-value

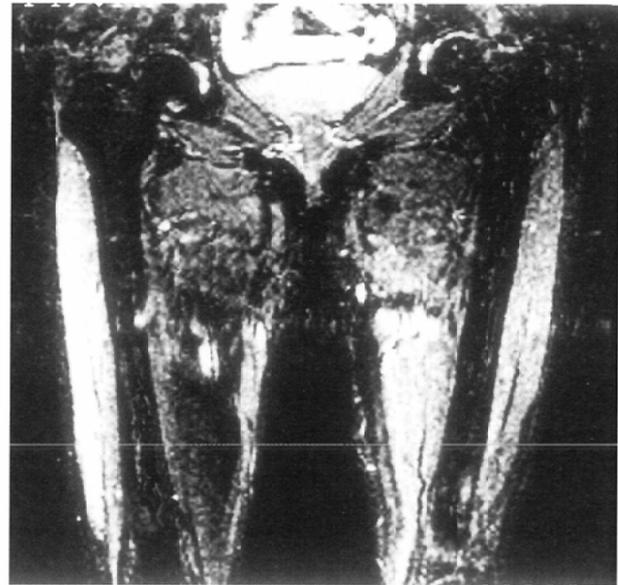
Table 4 MRI patterns of the femoral marrow in relation to the prognosis of acute leukemia

MRI patterns	Prognosis	
	Good	Poor
Fatty (n=2)	1	1
Faint signal (n=4)	3	1
Nodular (n=5)	4	1
Heterogeneous (n=12)	6	6
Diffuse (n=14)	8	6
Total	22	15

p : Chi-square P-value (Fisher's exact P-value)



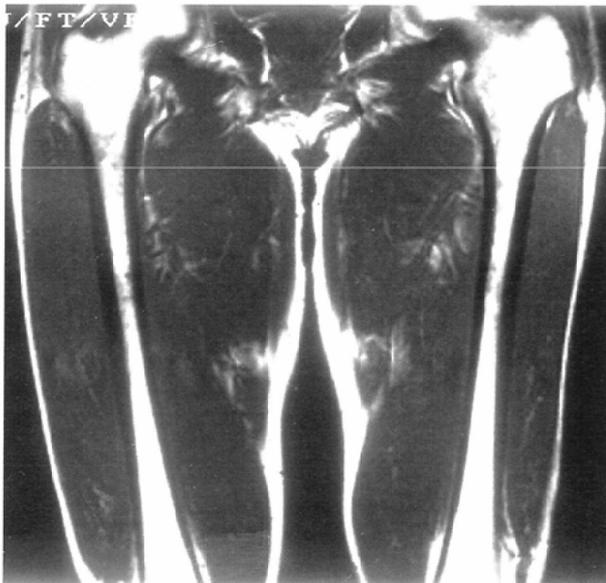
(A)



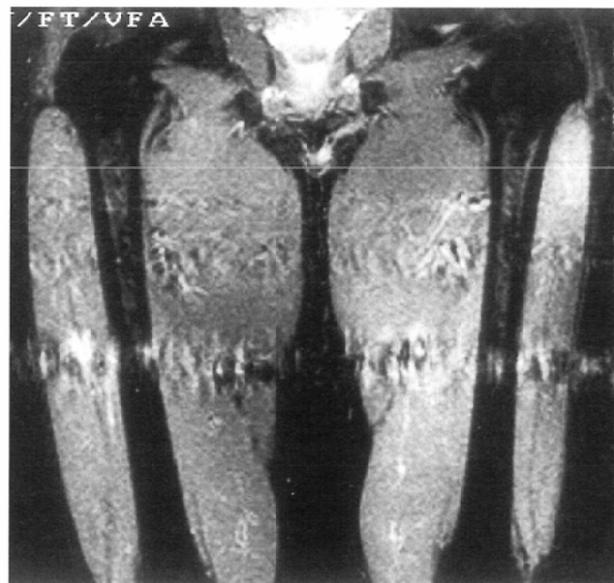
(B)

Fig.2 Case 1. Fatty marrow pattern. 65-year-old female with AML (M2).
(A) T1-weighted SE image (400/20). (B) STIR image (1500/150/20).

The entire marrow space of the femur shows a uniformly high signal intensity on T1-weighted SE image and a low signal on STIR image.



(A)



(B)

Fig.3 Case 2. Faint signal pattern. 59-year-old male with AML (M2).
(A) T1-weighted SE image (400/20). (B) STIR image (1500/150/20).

T1-weighted SE image shows a faint low signal intensity, and STIR image shows a minimal high signal in the proximal femoral marrow bilaterally.

考 察

血液疾患に伴う骨髓病変のMRI所見は一般に非特異的であることが多く、結節性増殖を特徴とする多発性骨髓腫などの一部の疾患を除いて、各疾患に特徴的な所見はない^{14),16)}。急性白血病における大腿骨骨髓のMRIでは、近位骨幹部を中心にした領域にびまん性で均等な異常信号域を認めることが最も多いが、不均等浸潤型、結節型、軽度信号型、脂肪髓型などの種々のパターンもみられる。大腿骨におけるびまん浸潤型のMRI像は、急性白血病の他に、慢性骨髓性またはリンパ性白血病¹⁷⁾、悪性リンパ腫¹⁸⁾、骨髓線維症や真性赤血球増加症などの骨髓増殖性疾患¹⁹⁾などでも認められ

る。また、高度の骨髓過形成を来した鉄欠乏性や溶血性の重症貧血例でも、白血病と同様のびまん性の異常信号を呈する場合がある²⁰⁾。今回の検討では、びまん浸潤型は全症例の半数以下を占めるに過ぎず、未治療の白血病としては予想外に少ない頻度であった。前白血球状態と考えられる骨髓異形成症候群(myelodysplastic syndrome, 以下, MDS)²¹⁾においても、RAEB (refractory anemia with excess of blasts) やRAEB-T (RAEB in transformation) などの病型では、1/3以上の症例にびまん性で均等な異常信号が認められており²²⁾、白血病とMDSをMRIにて明確に区別することは困難といえる。

今回の検討結果で最も注目されることは、未治療の急性

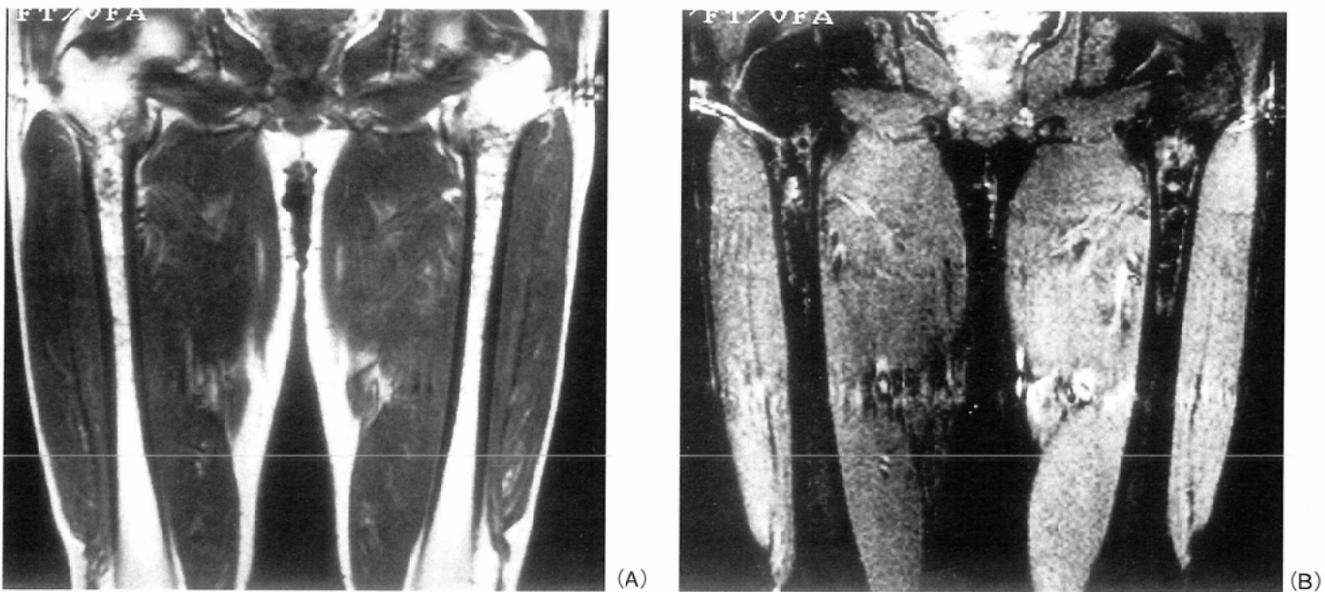


Fig.4 Case 3. Nodular pattern. 52-year-old male with AML (M1). (A)T1-weighted SE image (400/20). (B)STIR image (1500/150/20). A cluster of small abnormal signals, low intensity on T1-weighted SE image and high intensity on STIR image, are noted in the proximal marrow of the femurs.

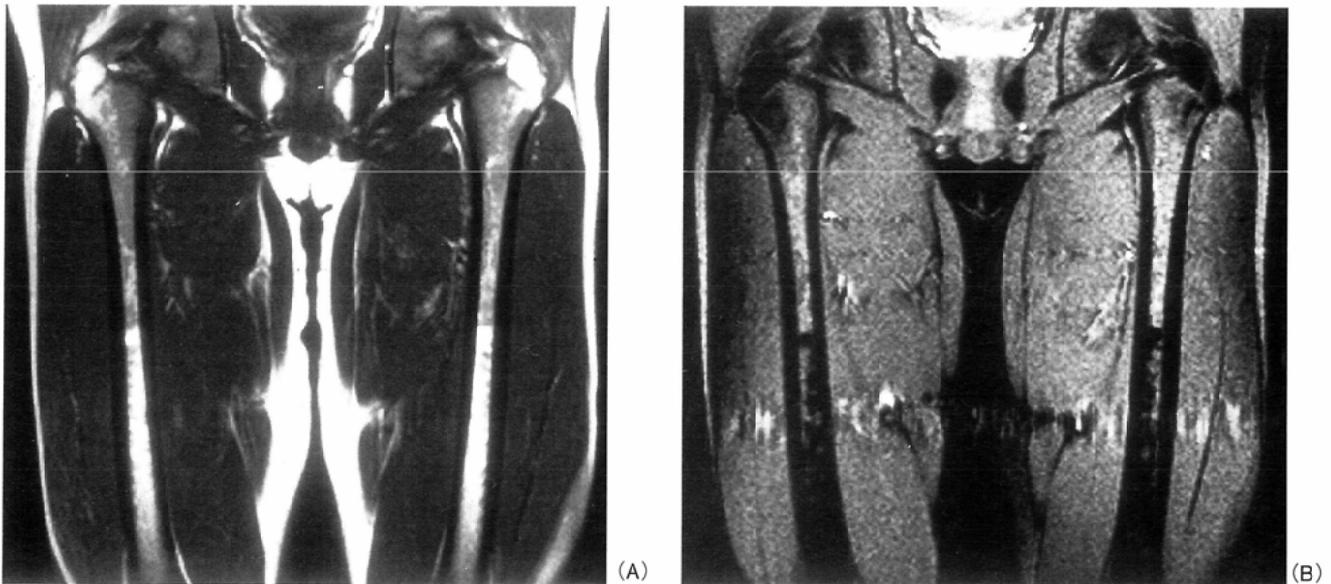


Fig.5 Case 4. Heterogeneous infiltration pattern. 53-year-old male with AML (M1). (A)T1-weighted SE image (400/20). (B)STIR image (1500/150/20). Heterogeneous cellular infiltration, which extends downward beyond the middle of the femur, is depicted in the proximal femoral marrow symmetrically.

白血病であるにもかかわらず、異常信号域をまったく認めない脂肪髄型が2例、軽度信号型が4例にみられた点である。6例中4例は腰椎のMRIも同時に行われているが、M2以外の病型では、腰椎椎体の骨髄はびまん性または不均等な骨髄浸潤型を呈していた。腸骨の骨髄穿刺でも過形成の骨髄像が確認されており、いずれも低形成性の白血病というわけではなかった。このことは、大腿骨骨髄のMRIが、白血病のtumor volumeを推測するうえで有用な指標になり得る可能性を示唆していると思われる。すなわち、白血病などの造血器腫瘍は、造血髄が残存する躯幹骨の骨髄でまず腫瘍細胞の増殖が始まるため、tumor volumeの大小に関係なく、脊椎ではびまん性の骨髄浸潤像がMRIにて描き

れることが多い。それに対して、成人期には脂肪髄化している大腿骨では、腫瘍による骨髄の置換が遅れて起こるため、tumor volumeを反映したMRI像が得られるものと考えられる。未治療の白血病でありながら、大腿骨のMRIで脂肪髄型や軽度信号型などの軽微な所見を示す場合は、tumor volumeが小さく、化学療法に対しても容易に寛解導入できる可能性が高いと予想される。逆に、大腿骨で広範なびまん性の異常信号がみられる場合は、high tumor volumeといえることができる。仮に化学療法に対する白血病細胞の感受性が等しいとすると、tumor volumeが大ききものは、治療に抵抗性で寛解率が低く、再発の可能性も高いと予測される。

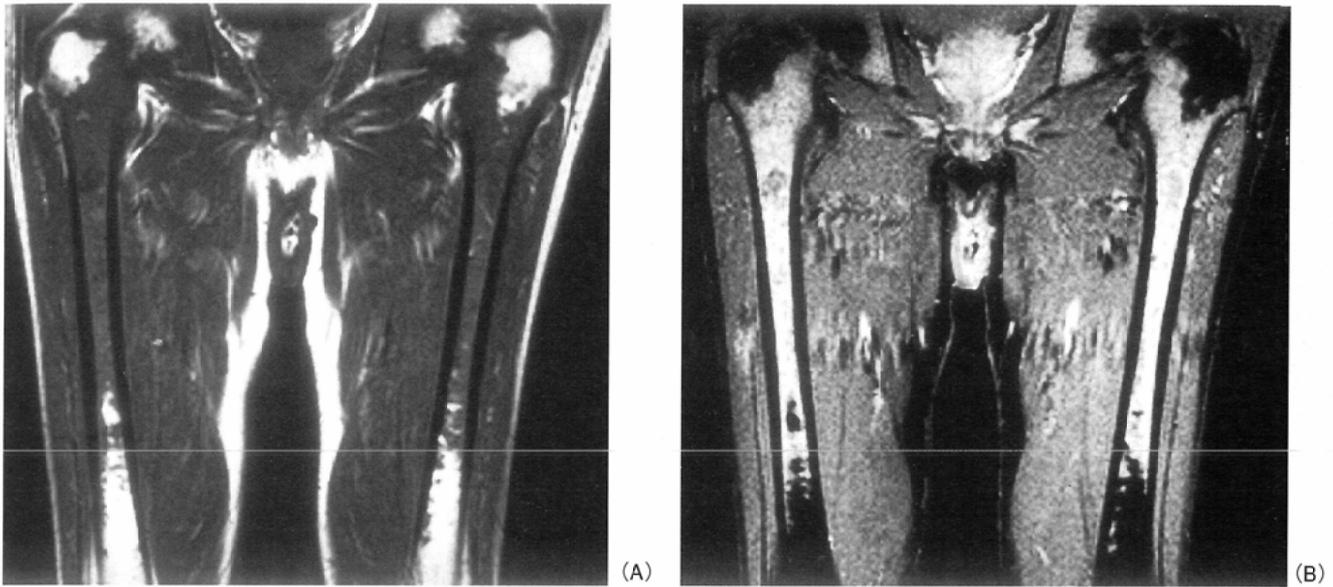


Fig.6 Case 5. Diffuse infiltration pattern. 70-year-old male with AML (M5b).
(A) T1-weighted SE image (400/20). (B) STIR image (1500/150/20).

Diffuse marrow involvement with total replacement of fatty marrow is noted in the upper two-thirds of the marrow space of the femurs bilaterally.

今回の急性白血病における大腿骨骨髓の検討により、AMLのFAB分類におけるM2とそれ以外の病型で見られるMRIパターンに違いがあることが明らかになった。分化した骨髓芽球からなるM2では、軽度信号型などの比較的軽微な所見を呈するものが有意に多く認められた。治療によく反応し、予後もAML中最も良好なM2では、他の亜型に比べ、tumor volumeが小さく、骨髓腔内の細胞密度も低い例が多いと考えられる。AMLのM2以外の病型については、それぞれの病型に特徴的なMRI所見は指摘できなかった。また、ALLでは、びまん浸潤型などの高度なMRIパターンを呈する頻度がAMLより多く認められた。しかし、ALLは小児に好発する疾患であり、成人例を対象にした今回は症例数が少なく、AMLとALLの大腿骨骨髓のMRI像に有意の差異があるかどうかは不明である。MRIにてAMLとALLを鑑別したり、FAB分類の亜型を区別する臨床的な意義はないが、AMLのM2で大腿骨内の白血病細胞の分布に特徴がみられた点は新しい知見といえる。

広範な骨髓浸潤像を示す急性白血病は、治療に抵抗性で寛解導入が困難であったり、再発するものが多く、大腿骨のMRIにて白血病の予後を予測できる可能性が期待される。しかし、脂肪髄型、軽度信号型、結節型を呈したA群と、不均等浸潤型またはびまん浸潤型を示したB群の間に、予後に関して統計学的な有意差は認められなかった。両群間に有意な偏りが得られなかった1つの原因は、経過観察期間が最短例でわずか2年であったため、B群における再発例が少なかったためと思われる。しかし、骨髓のMRIにて、急性白血病の短期の予後を予測するには、限界があることも確かである。白血病の場合、化学療法が奏効して寛解導入には成功したものの、感染症などの合併症で死亡する例も多く、たとえ軽微なMRI所見であっても、必ずしも予後良好というわけではない。また、化学療法が進歩した

今日、寛解率も飛躍的に向上し、びまん浸潤型などの高度のMRI像を呈した症例が、長期間生存することも稀ではない。再発率や生存率については引き続きフォローアップ中であり、MRIパターンとの関連については、今後さらに経過を追って検討していきたい。

急性白血病の大腿骨骨髓のMRIでは、MDSの場合と同様に²²⁾、造血髄が残存する近位骨幹部にまず異常信号が出現し、芽球の増加に伴って異常信号域の遠位側への拡大が左右対称性に認められる。近位側への拡大もみられるが、大腿骨の大転子や骨頭部にまで異常信号が及ぶことは少ない。また、MRIで描出される異常信号がすべて白血病細胞が浸潤した領域とは限らず、反応性に増殖した造血髄をみている可能性も否定できない。浮腫や線維化などの組織学的変化を示している可能性も考えられる。MRIでは細胞の種類や幼若性、芽球の割合などの質的診断を行うことは不可能であり、異常信号は単に骨髓中の細胞成分や間質の水分量の増減をみているに過ぎない。しかし、治療が奏効した場合、芽球の消失とともにMRI所見の改善が認められることから、異常信号域の大部分は白血病細胞が存在する領域を示していると推測される。白血病細胞の浸潤部と反応性の造血髄を鑑別するためには、正常の網内系細胞に取り込まれる超常磁性の酸化第二鉄微粒子²³⁾などの新しい造影剤の臨床応用が期待される。

Smithら⁹⁾は腰椎骨髓のT1値と腸骨骨髓の細胞数の間には正の相関が得られると報告している。また、岩崎ら²⁴⁾は腸骨でのT1強調SE像およびSTIR像での信号強度比(対筋肉)と細胞密度の間に相関がみられ、MRIにて骨髓の細胞密度の推定が可能であると述べている。しかし、今回の検討では、大腿骨骨髓のMRI像と血液学的所見が一致しないことも少なくなく、骨髓穿刺では過形成であったものの、大腿骨のMRIでは軽微な所見しか呈さない例も多く認められた。白

血病の診断において、末梢血液像ならびに骨髓穿刺による組織学的検査が不可欠であることは言うまでもない。しかし、骨髓穿刺は、腸骨や胸骨などの一部の骨髓組織の変化をみているに過ぎず、全身の骨髓像を反映しているわけではない。大腿骨の所見が白血病のtumor volumeの指標になり得るとすると、大腿骨骨髓のMRIは、白血病の病態評価において、重要な役割を果たすことになると考えられる。

まとめ

1. 成人の未治療の急性骨髄性白血病(AML)および急性リンパ性白血病(ALL)を対象に、大腿骨骨髓のMRI所見とFAB分類との対比、ならびにMRIによる予後の予測の可能性について検討した。
2. 急性白血病では、大腿骨骨髓のMRIにてびまん浸潤型を示したものが最も多かったが(41.9%)、不均等浸潤型、結節

型、軽度信号型などの種々のMRIパターンが認められ、脂肪髄型も2例(4.7%)にみられた。

3. AMLにおける大腿骨のMRIでは、FAB分類によるM2とM2以外の病型間に有意差が認められ、びまん浸潤型を呈することが多いM2以外のAMLに対して、M2では軽微な所見を示す傾向が認められた。
4. ALLでは、MRIにて広範な骨髄浸潤像がみられることがAMLより多かったが、M2以外のAML群との間には大きな差異は確認できなかった。
5. 脂肪髄型、軽度信号型または結節型を呈した群と不均等浸潤型またはびまん浸潤型を示した群を比較すると、後者で予後不良である場合が多かったが、両群間に有意差はみられなかった。
6. 大腿骨骨髓のMRI所見より、白血病のtumor volumeを推測し得る可能性が示唆されたが、予後を予測するには限界があると考えられた。

文 献

- 1) Bennett JM, Catovsky D, Daniel MT, et al: Proposals for the classification of the acute leukaemias: French-American-British cooperative group. *Br J Haematol* 33: 451-458, 1976
- 2) Bennett JM, Catovsky D, Daniel MT, et al: Proposed revised criteria for the classification of acute myeloid leukemia. *Ann Intern Med* 103: 620-625, 1985
- 3) Lukens JN: Classification and differentiation of the acute leukemias. (In) Lee GR, Bithell TC, Foerster J, et al ed: *Wintrobe's clinical hematology*. 9th ed. 1873-1891, 1993, Lea & Febiger, Philadelphia
- 4) Olson DO, 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
- 5) Moore SG, Gooding CA, Brasch RC, et al: Bone marrow in children with acute lymphocytic leukemia: MR relaxation times. *Radiology* 160: 237-240, 1986
- 6) 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
- 7) Thomsen C, Sørensen PG, Karle H, et al: Prolonged bone marrow T1-relaxation in acute leukemia: in vivo tissue characterization by magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance Imaging* 5: 251-257, 1987
- 8) Henkelman RM, Messner H, Poon PY, et al: Magnetic resonance imaging for monitoring relapse of acute myeloid leukemia. *Leukemia Res* 12: 811-816, 1988
- 9) Smith SR, Williams CE, Davies JM, et al: Bone marrow disorders: Characterization with quantitative MR imaging. *Radiology* 172: 805-810, 1989
- 10) Jensen KE, Sørensen PG, Thomsen C, et al: Magnetic resonance imaging of the bone marrow in patients with acute leukemia during and after chemotherapy: Changes in T1 relaxation. *Acta Radiologica* 31: 361-369, 1990
- 11) Jensen KE, Thomsen C, Henriksen O, et al: Changes in T1 relaxation processes in the bone marrow following treatment in children with acute lymphoblastic leukemia: A magnetic resonance imaging study. *Pediatr Radiol* 20: 464-468, 1990
- 12) Gerard EL, Ferry JA, Amrein PC, et al: Compositional changes in vertebral bone marrow during treatment for acute leukemia: Assessment with quantitative chemical shift imaging. *Radiology* 183: 39-46, 1992
- 13) Moore SG, Dawson KL: Red and yellow marrow in the femur: Age-related changes in appearance at MR imaging. *Radiology* 175: 219-223, 1990
- 14) Vogler JB III, Murphy WA: Bone marrow imaging. *Radiology* 168: 679-693, 1988
- 15) 田中 修, 小林泰之, 市川珠紀, 他: 骨髄性白血病および骨髄異形成症候群のMRI—腰椎椎体と大腿骨骨髓の比較—. *画像医学誌* 14: 49-61, 1995
- 16) Mouloupoulos LA, Varma DGK, Dimopoulos MA, et al: Multiple myeloma: Spinal MR imaging in patients with untreated newly diagnosed disease. *Radiology* 185: 833-840, 1992
- 17) Takagi S, Tanaka O, Miura Y: Magnetic resonance imaging of femoral marrow in patients with myelodysplastic syndrome or leukemia. *Blood* 86: 316-322, 1995
- 18) Linden A, Zankovich R, Theissen P, et al: Malignant lymphoma: Bone marrow imaging versus biopsy. *Radiology* 173: 335-339, 1989
- 19) Kaplan KR, Mitchell DG, Steiner RM, et al: Polycythemia vera and myelofibrosis: Correlation of MR imaging, clinical, and laboratory findings. *Radiology* 183: 329-334, 1992
- 20) 田中 修, 市川珠紀, 小林泰之, 他: びまん性骨髄病変における骨髄の緩和時間の検討—白血病と反応性造血髄の鑑別について—. *日本医放会誌* 56: 539-545, 1996
- 21) Bennett JM, Catovsky D, Daniel MT, et al: Proposals for the classification of the myelodysplastic syndromes. *Br J Haematol* 51: 189-199, 1982
- 22) 田中 修, 高木省治郎, 松浦克彦, 他: 骨髄異形成症候群における大腿骨骨髓のMR imaging 所見の検討. *日本医放会誌* 55: 837-844, 1995
- 23) Senéterre E, Weissleder R, Jaramillo D, et al: Bone marrow: Ultrasmall superparamagnetic iron oxide for MR imaging. *Radiology* 179: 529-533, 1991
- 24) 岩崎俊子, 河村泰孝, 木村浩彦, 他: STIRを加えた骨髄MRIの定量的評価. *日磁医誌* 11: 420-426, 1991