OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	拡散強調画像における骨軟部腫瘍の良悪性鑑別の有用性
Author(s)	長田, 周治; 西村, 浩; 内田, 政史 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2005, 65(1), p. 30-36
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15486
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

拡散強調画像における骨軟部腫瘍の良悪性鑑別の有用性

長田　周治[1)]　西村　浩[2)]　内田　政史[1)]　早渕　尚文[1)]

1)久留米大学放射線科　2)福岡済生会二日市病院放射線科

Usefulness of Diffusion-weighted MRI in Differentiating Benign from Malignant Musculoskeletal Tumors

Shuji Nagata[1)], Hiroshi Nishimura[2)], Masafumi Uchida[1)], and Naofumi Hayabuchi[1)]

Purpose: To evaluate the usefulness of diffusion-weighted MRI in distinguishing different components and in differentiating benign from malignant musculoskeletal tumors.
Materials and Methods: Fifty-seven patients with musculoskeletal tumors underwent MR at our institution from October 1999 to April 2002. We evaluated 57 tumors (9 bone tumors and 48 soft tissue tumors). All tumors were classified into 8 groups (myxomatous, fibrous, cystic, cartilaginous, fatty components, hematomas, other benign tumors, and other malignant tumors). MR examinations were performed with a 1.5-Tesla system. Diffusion-weighted single-shot EPI images were obtained in all patients. Apparent diffusion coefficients (ADCs) were calculated by using b factors of 0 and 1,000 sec/mm^2.
Results: ADC values of myxomatous, cystic, and cartilaginous components were significantly higher than those of other tumors. In cartilaginous tumors, malignant tumor ADC values (2.33 ± 0.44) were higher than those of benign tumors (2.13 ± 0.13). However, there was no significant difference between benign and malignant tumors. Except for high-intensity components on T1-weighted imaging and low or homogeneously very high intensity components on T2-weighted imaging, there was a significant difference in ADC between malignant (1.35 ± 0.40) and benign (1.97 ± 0.50) tumors.
Conclusion: Within the limited number of cases, there was a significant difference in ADC between malignant and benign tumors.

Research Code No.: *209.2*

Key words: *MRI, DWI, ADC, Musculoskeletal Tumor*

Received Jun. 8, 2004; revision accepted Dec. 6, 2004

1) Department of Radiology, Kurume University School of Medicine
2) Department of Radiology, Fukuoka Saiseikai Futsukaichi Hospital

別刷請求先
〒830-0011　久留米市旭町67
久留米大学放射線科
長田　周治

はじめに

骨軟部腫瘍の質的診断には粘液成分，線維成分，石灰化，軟骨成分，脂肪成分などの内部性状の把握が重要であり，その点においてMRIは有用な検査方法であることは周知の事実である．しかし，良悪性の鑑別においては，これまでいろいろな試みがなされてきたが，多種多様な組織型が含まれるこの領域においては困難な症例も多い．ところで，みかけの拡散係数（apparent diffusion coefficients: ADCs）は拡散傾斜磁場（motion probing gradient: MPG）を印加していないT2強調画像とMPGの強さの目安であるb値（s/mm^2）数回変えて測定した拡散強調画像の信号強度の対数減弱曲線から算出したものであり，それぞれの組織や生理学的状態により固有の値を有し，中枢神経系，頭頸部領域の腫瘤性病変にはすでに有用性が報告されている[1), 2)]．今回このADCを内部性状の複雑な骨軟部腫瘍に応用し，内部性状の把握，さらには良悪性の鑑別における有用性を検討する．

対象および方法

1．対象

1999年10月から2002年4月までの間に当施設においてMRI検査が施行された骨軟部腫瘤57例である．そのうち手術および生検で病理学的に診断されたものは37例，臨床症状や経過，MRI所見をもとに診断したものは20例である．腫瘤の内訳は骨腫瘤が9例でそのうち，良性は5例で悪性は4例，軟部腫瘤が48例でそのうち，良性は37例で悪性は11例である．良性の骨腫瘤は内軟骨腫（3例），動脈瘤様骨嚢腫（1例），骨嚢胞（1例），悪性の骨腫瘤は軟骨肉腫（2例），悪性線維性組織球症（1例），脊索腫（1例）である．良性の軟部腫瘤は血管腫（9例），血腫（5例），脂肪腫（3例），神経鞘腫（4例），肉芽腫性病変（2例），血管平滑筋腫（2例），類腱腫（2例），神経線維腫（2例），線維腫症（1例），破裂性滑膜嚢胞（1例），腫大リンパ節（1例），項部線維腫（1例），ガングリオン（1例），Baker嚢胞（1例），類表皮腫（1例），皮膚隆起性線維肉腫（1例）であり，悪性の軟部腫瘤は

粘液型脂肪肉腫(3例)，悪性リンパ腫(2例)，悪性線維性組織球症(1例)，線維肉腫(1例)，平滑筋肉腫(1例)，滑膜肉腫(1例)，胞巣状軟部肉腫(1例)，リンパ節転移(1例)である．性別は男性31例，女性26例で年齢は4～87歳(平均49.3歳)，腫瘍の大きさは1.2～24.0cmまで(中央値5.0cm)である．

2．検査方法

使用装置は1.5T MRI(Signa MR/i; GE Medical Systems)を用いた．撮像方法は腫瘤全体を撮像範囲としT1強調画像(Fast spin echo(SE)法 TR/TE = 600/7 – 10 msec，echo train length(ETL) = 3)，T2強調画像(Fast SE法 TR/TE = 4000/100 – 12 msec，ETL 24)と経静脈的にGadolinium-diethylenetriamine pentaacetic acid(Gd-DTPA)0.2ml/kgを投与したダイナミック造影MRI，拡散強調画像(DWI)を撮像した．DWIはSingle shot echo planar imaging(EPI)SE型(TR/TE = 3200/100 – 120 msec)でb値は0，200，1,000を用いて0と1,000の像よりADC値を測定しADC mapも作成した．いずれもマトリックス256×512，FOV 120～360mm，スライス厚4～6mm，ギャップ1～2mmである．

拡散強調画像の撮像時間は約13秒であった．

MRIはT1強調画像，T2強調画像，dynamic studyと病理診断が得られたものは病理像をもとに，ほぼ均一な腫瘤に対しては1カ所，不均一な腫瘤に対しては2～4カ所，関心領域ROI(region of interest)を測定し平均値を求めた．嚢胞性腫瘤以外の腫瘤においては可能な限り壊死部や嚢胞変性部，出血部をさけ，充実性部分を測定した．なお，血管腫などの内部信号が全体的に不均一な腫瘤の場合は出来るだけ大きくROIをとり1カ所測定した．

ADC値は以下の式にて算出した．

$$ADC値 = -Log\{(SI_{b=1000}/SI_{b=0})/1000\}$$

$SI_{b=1000}$はb値1000での腫瘤の信号で$SI_{b=0}$はb値0での腫瘤の信号である．

統計はpost-hoc testとしてScheffe法を使用し，危険率は5%とした．

3．検討方法

全ての病変は大部分を占める主なコンポーネントをもとに8群に分類した．なお，分類にあたり手術および生検が施行されなかった良性腫瘤についてはMRI所見をもとに分類した．粘液腫成分を主に含む粘液型腫瘤群(3例)，軟骨成分を主に含む軟骨性腫瘍群(6例)，嚢胞成分を含む嚢胞性腫瘤群(5例)，脂肪成分を含む脂肪性腫瘍群(3例)，膠原線維に富む線維性腫瘤群(3例)，血腫群(5例)に分類し，さらに上記のいずれにも分類できず，特徴的な所見に乏しい腫瘤をその他の良性腫瘤群(23例)とその他の悪性腫瘍群(9例)に分類した(Table 1)．

Table 1　All tumors classified into eight groups

Tumor group	tumor	n=57
Myxomatous tumors		
	myxoid liposarcoma	3
Cartilaginous tumors		
	enchondroma	3
	chondrosarcoma	2
	chordoma	1
Cystic tumors		
	Baker cyst	1
	ruptures synovial cyst	1
	solitary bone cyst	1
	epidermal cyst	1
	ganglion	1
Fatty tumors		
	lipoma	3
Fibrous tumors		
	desmoid	2
	fibromatosis	1
Hematomas		
	hematoma	5
Other benign tumors		
	hemangioma	9
	schwannoma	4
	neurofibroma	2
	granuloma	2
	angiomyoma	2
	aneurysmal bone cyst	1
	lymphadenopathy	1
	tenosynovitis	1
	DFP	1
Other malignant tumors		
	MFH	2
	malignant lymphoma	2
	leiomyosarcoma	1
	synovial sarcoma	1
	ASPS	1
	lymphmetastasis	1
	fibrosarcoma	1

検討項目は以下の2項目である．

1．腫瘤群間でのADC値の差異
　各腫瘤群間でADC値に有意な差があるか．
2．ADC値による良悪性の鑑別
(1)全ての病変を対象とした場合，ADC値による良悪性の鑑別が可能であるか．
(2)MRI診断において特徴的な所見が少なく，良悪性の鑑別が特に難しかったその他の良性腫瘤群(23例)とその他の悪性腫瘍群(9例)の32例においてADC値による良悪性の鑑別が可能であるか．
(3)軟骨性腫瘤群においてADCによる良悪性の鑑別が可能であるかと軟骨肉腫のgradeでADC値に違いがあるか．

結　果

1．腫瘍群間でのADC値の差異

各腫瘤群間でのADC値はTable 2に示した通りで，高い順

Table 2 Differences in ADC values among tumor groups

Tumor group	ADC value (mean±SD) ($\times10^{-3}$mm/sec)
Cystic tumors	2.67±0.21
Myxomatous tumors	2.51±0.84
Cartilaginous tumors	2.23±0.31
Other benign tumors	1.97±0.50
Other malignant tumors	1.35±0.37
Fibrous tumors	1.19±0.27
Hematomas	1.12±0.55
Fatty tumors	0.41±0.18

There were statistically significant difference between hematomas and myxomatous tumors, hematomas and cystic tumors, fatty tumors and other benign tumors, fatty tumors and cartilaginous tumors, fatty tumors and myxomatous tumors, fatty tumors and cystic tumors.

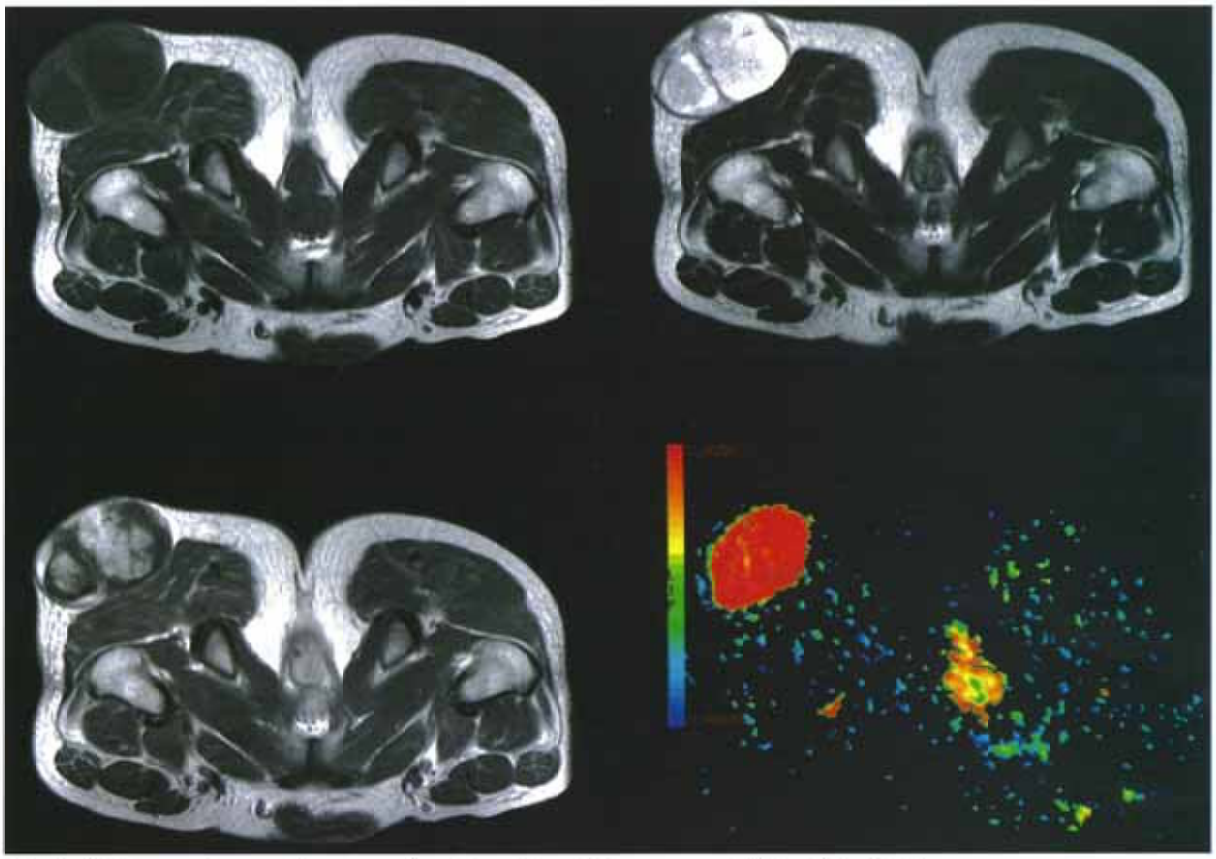

Fig. 1 A 46-year-old man with myxomatous tumor (myxoid liposarcoma) in the left buttock.
A: T1-weighted axial image shows a well-defined subcutaneous tumor with signal intensity equal to muscle.
B: T2-weighted axial image.
C: Contrast-enhanced T1-weighted axial image shows moderate heterogeneous enhancement.
D: The ADC value is 2.5×10^{-3} mm²/sec.

A	B
C	D

に粘液型腫瘤群(Fig. 1)，嚢胞性腫瘤群，軟骨性腫瘤群，その他の良性腫瘤群，その他の悪性腫瘍群(Fig. 2)，線維性腫瘤群，血腫群，脂肪性腫瘤群であった．

統計学上，血腫群と粘液性腫瘤群，血腫群と嚢胞性腫瘤群，脂肪性腫瘤群とその他の良性腫瘤群，脂肪性腫瘤群と軟骨性腫瘤群，脂肪性腫瘤群と粘液性腫瘤群，脂肪性腫瘤群と嚢胞性腫瘤群の6群間で有意差を認めたが，その他の22群間では有意差を認めなかった．

2. ADC値による良悪性の鑑別

(1)全ての病変を対象とした場合のADC値による良悪性の鑑別

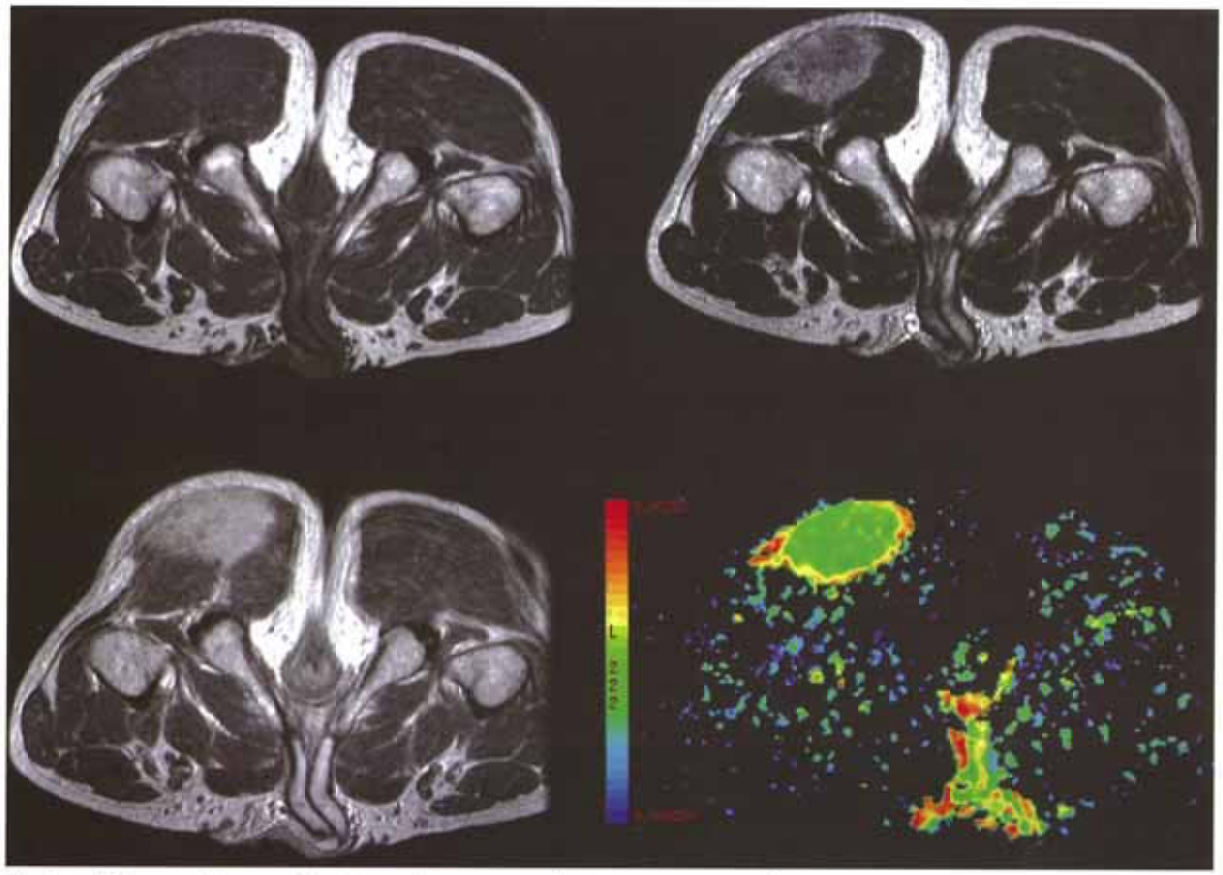

Fig. 2　A 60-year-old man with other malignant tumor (malignant lymphoma) in the left buttock.
A: T1-weighted axial image shows a homogeneous low signal intensity tumor in the gluteus maximus muscle.
B: T2-weighted axial image shows a tumor of slightly high signal intensity.
C: Contrast-enhanced T1-weighted axial image shows homogeneous enhancement.
D: ADC value of this tumor is 1.1×10^{-3} mm²/sec.

A	B
C	D

全ての良性腫瘤群は$1.78 \pm 0.74 \times 10^{-3}$で全ての悪性腫瘍群は$1.81 \pm 0.68 \times 10^{-3}$であった．両者に統計学上，有意な差は認められなかった($p = 0.883$)．

(2)その他の良性腫瘤群とその他の悪性腫瘍群のADC値による鑑別(Table 3)．

その他の良性腫瘤群は$1.97 \pm 0.50 \times 10^{-3}$でその他の悪性腫瘍群は$1.35 \pm 0.40 \times 10^{-3}$であった．その他の良性腫瘤群はその他の悪性腫瘍群と比較してADC値が高い傾向にあったが両者に統計学上，有意な差を認めた($p = 0.002$)．

(3)軟骨性腫瘤群内でのADC値による良悪性の鑑別

軟骨性腫瘤群において良性は$2.13 \pm 0.13 \times 10^{-3}$で悪性は$2.33 \pm 0.44 \times 10^{-3}$であった．悪性が良性よりも高い傾向にあったが，両者に統計学上，有意な差は認めなかった($p = 0.489$)(Table 4)．悪性は3例とも軟骨肉腫(grade 1～2)の症例であり同一腫瘍内にgrade Iとより悪性度が高いgrade IIが混在する症例ではgrade Iに相当する部分のADC値は2.3×10^{-3}に対し，grade IIに相当する部分のADC値は2.7×10^{-3}と高値を示した(Fig. 3)．

考　察

拡散強調画像は1980年代中ごろより臨床応用がなされ，超高速撮像が可能なecho planer imaging(EPI)法の実用化により急速に発達していった．90年代以降には骨軟部領域ではLe Bihanらによる大腿骨の骨肉腫の症例の検討[3]，Baurらによるsteady-state free precession(SSFP)法でb値165を用いた正常骨軟部組織のADC値の検討や拡散強調画像による良性の圧迫骨折と転移性腫瘍に伴う病的骨折との鑑別の検討[4,5]，Langらによる SE法でb値52と1,316を使用しラットを用いた骨原発肉腫の充実性腫瘍部と壊死部の鑑別が可能との報告[6,7]，BaurらのSSFP法を用いた骨盤，四肢の軟部腫瘍の術後再発，術後ヒグローマ，筋肉の炎症性変化のADC値に有意な差を認めたとの報告[8]，前田らのLine scan法というやや特殊な撮像法でb値1,000を用いた骨粗鬆症，転移性悪性腫瘍による椎体の圧迫骨折のADC値の検討[9]などがある．しかし，拡散強調の撮像法の違いや用いたb値の違いのため，その評価自体に問題も多かった．最近では，MR装置のハード，ソフトの向上に伴いEPI法による拡散強調像で，b値を1,000程度まで高くしたADC値を評価することで拡散以外の潅流やT2 shine throughなどによる影響を極力少なく

Table 3 Differential diagnosis in other benign and other malignant tumors using ADC value

Tumor group	tumor (n=32)	mean±SD ($\times10^{-3}$mm/sec)	p value
Other benign tumors	23	1.97±0.50	.002
Other malignant tumors	9	1.35±0.37	

Other benign tumors and other malignant tumors had no especially component, for example, fatty, myxomatous, cystic, cartilaginous, hematomatous and fibrous region.

Table 4 Differences in ADC values in cartilaginous groups

Tumor group	tumor (n=6)	mean±SD ($\times10^{-3}$mm/sec)	p value
Benign tumor	3	2.13±0.13	.48
Malignant tumor	3	2.33±0.45	

There was no statistically significant difference between benign and malignant tumors in cartilaginous groups.

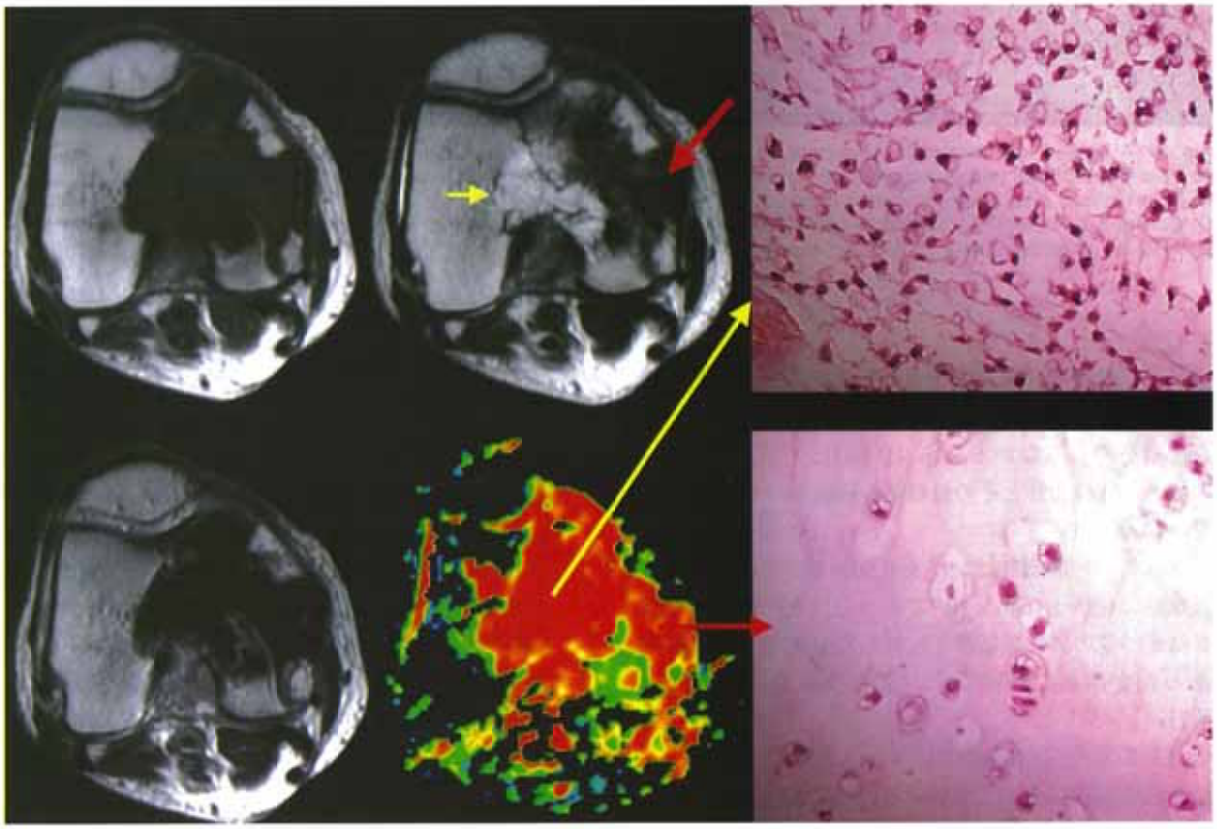

Fig. 3 A 77-year-old woman with chondrosarcoma of the right distal femur.
A: The mass has low signal intensity on T1-weighted axial image.
B: T2-weighted axial image shows a very inhomogeneous mix of high and low signal intensity. In particular, the medial condyle of the femur shows low intensity (long arrow), and the intercondylar fossa of the femur shows high signal intensity (short arrow) on the T2-weighted fast spin-echo MR image.
C: Contrast-enhanced T1-weighted axial image shows inhomogeneous enhancement.
D: ADC map shows the ADC value of the medial condyle as yellow and that of the intercondylar fossa as red. The ADC value of the intercondylar fossa, which is 2.7×10^{-3} mm²/sec, is Grade II (E), and that of the medial condyle, which is 2.3×10^{-3} mm²/sec, is Grade I (F). A high ADC value probably represents higher cellularity and poorer cartilaginous component than a low ADC value.

A	B	E
C	D	F

でき真の拡散係数に近い値を算出することが可能になり，本法が腫瘤性病変に関しての頭部のみならず全身の拡散強調像の一般的な撮像法になりつつある．

WangらはEPI法でb値1,000を用いて頭頸部腫瘍を悪性リンパ腫，上皮性癌，良性充実性腫瘍，良性嚢胞腫瘍に分類しADC値を検討した結果，ADC値は良性嚢胞腫瘍$2.05 \pm 0.62 \times 10^{-3}$，良性充実性腫瘍$1.56 \pm 0.51 \times 10^{-3}$，上皮性癌$1.13 \pm 0.43 \times 10^{-3}$，悪性リンパ腫$0.66 \pm 0.17 \times 10^{-3}$であり，ADC値を$1.22 \times 10^{-3}$未満を悪性の指標とした場合accuracyは86%，sensitivityは84%，specificityは91%であったとしている[10]．ADC値に影響を及ぼす要因として細胞外液と灌流があるが，灌流による影響を極力抑えた高いb値を使用しているため，主に細胞外液の多寡がADC値に大きな影響を与えると考えられる．一般的には，良性腫瘍のほうが悪性腫瘍より細胞外腔が広く，拡散しやすくADC値が高い傾向にあり，逆に悪性腫瘍では豊富な腫瘍細胞により細胞外腔が狭くなり，拡散しにくくADC値が低い傾向にあると考えられている．

今回，われわれもEPI法でb値1,000を用いて骨軟部腫瘍57例を8群に分けてADC値を測定し検討を行った．その結果，血腫群と粘液性腫瘤群，血腫群と嚢胞性腫瘤群，脂肪性腫瘤群とその他の良性腫瘤群，脂肪性腫瘤群と軟骨性腫瘤群，脂肪性腫瘤群と粘液性腫瘤群，脂肪性腫瘤群と嚢胞性腫瘤群の6群間で有意差を認めた．この違いは拡散を障害する様な組織の微細構造や細胞密度，細胞間隙の多寡，粘稠度などによるものが大きく，いままでのT1強調画像，T2強調画像，dynamic studyでは得られなかった情報であり，腫瘍の内部性状を推測する上で有用となるものと考えられた．しかし，上記以外の22群間では有意差を認めておらず，ADCのみでの各腫瘤群の完全な鑑別は困難であるという結果であった．

すべての腫瘤を対象とした場合にはWangらの報告とは異なり良性腫瘍と悪性腫瘍のADC値に有意な差は認められなかった．これは，骨軟部腫瘍の組織型の多彩性に関与することが多く，対象となった症例の中のADC値の高い粘液型や軟骨性の悪性腫瘍，ADC値の低い線維成分や脂肪に富む良性腫瘍の比率にもより，種類のある程度限定された頭頸部の腫瘍とは異なった結果になったものと思われる．最近，Rijswijkらの補正した拡散係数(true diffusion)を用いた軟部腫瘍23症例の良悪性のADC値を検討した報告で，良性腫瘍は$1.71 \pm 0.26 \times 10^{-3}$，悪性腫瘍は$1.08 \pm 0.23 \times 10^{-3}$と統計学上，有意な差が認められたとしているが対象となった症例の内訳をみてみると組織型が多彩であり，たまたま有意差がでたものと思われる[11]．よく遭遇する脂肪腫と粘液型脂肪肉腫の数が多く含まれていれば逆の結果になっていることは明白である．すなわち，ADC値のみでの骨軟部腫瘍の良悪性の鑑別は不可能と思われる．

しかし，骨軟部腫瘍のMRIによる質的診断は症例の蓄積により最近ではその診断能も向上してきているので，粘液型，軟骨性，嚢胞性，脂肪性，線維性，血腫などの診断に関しては，通常のT1強調画像，T2強調画像やダイナミック造影検査からある程度の診断は可能である[12]．そこでわれわれは腫瘤の大半が脂肪または出血と考えられるT1強調画像で高信号を呈する腫瘤(脂肪性腫瘤群，血腫群)，線維成分と考えられるT2強調画像にて低信号を呈する腫瘤(線維性腫瘤群)，粘液軟骨，嚢胞と考えられる均一に著明な高信号を呈する腫瘤(粘液性腫瘤群，軟骨性腫瘤群，嚢胞性腫瘤群)を除いた，T1強調画像，T2強調画像やダイナミック造影検査では特徴が少ない腫瘤，すなわちその他の良性腫瘤群とその他の悪性腫瘍群に限定してADC値による差があるか否かを検討した．その結果，その他の良性腫瘤群$1.97 \pm 0.50 \times 10^{-3}$，その他の悪性腫瘍群$1.35 \pm 0.37 \times 10^{-3}$と良悪性間に有意な差を認めることができた($p = 0.002$)．このように通常の撮像で特徴の少ない症例に限定すると良悪性の鑑別の可能性が示唆され，これまでのMRI検査で良悪性の鑑別が困難とされていた症例の一助になる可能性が示唆された．

今回検討した各腫瘤群の中で，その他の良性腫瘤群とその他の悪性腫瘍群以外で症例数が多かった軟骨性腫瘤群で良性と悪性のADC値の差異を検討した．結果は良性が悪性よりADC値は低い傾向にあったものの両者に有意差は認めなかった．同一の軟骨肉腫内にgrade Iとより悪性度が高いgrade IIが混在した例では，grade Iに相当する部分のADC値は2.3×10^{-3}に対し，grade IIに相当する部分のADC値が2.7×10^{-3}と高値を示した．また，以前のわれわれの基礎研究において正常軟骨成分のADC値は1.90×10^{-3}であった[13]ことやgrade IIでは粘液腫様の変化を呈する[14]ことなどより，軟骨性腫瘍のADC値は悪性度の指標として利用できる可能性が示唆された．これに関しては今後症例を増やし検討する必要があると考える．

骨軟部腫瘍においてT1強調画像，T2強調画像，造影のdynamic studyなどによる主コンポーネントの推測は質的診断の決め手として重要である[12]．今回，通常の撮像で特徴が少なかった腫瘤群で良悪性群にADC値の違いが認められたことはADC値の測定が主コンポーネントの推測の精度向上や良悪性鑑別につながる可能性があるものと考える．

今回のADC値の測定における問題点として腫瘤が小さい場合や腫瘤が皮膚に近い部分にある場合ではsusceptibility artifactの影響で拡散強調画像($b = 1000$)では病変の同定が難しい場合があり，正確なADC値を測定することが困難であったことや内部が非常に不均一な良性腫瘤や壊死を伴う悪性腫瘍では，可能な限り壊死や変性のない充実部分を計測したが，追試が困難な場合があると考えられることなどである．また，良性腫瘤の中には手術や生検が行われていなかった症例があり，臨床症状や経過，MRI所見をもとに分類しなければならなかったことも問題点の一つと考える．今後は病理組織とADC値の対比をすることで骨軟部腫瘍における拡散強調画像のさらなる有用性を検討していく必要があると思われた．

susceptibility artifactに関してはparallel imagingの手法を用いることで幾分は改善されるものと期待される．

まとめ

骨軟部腫瘤におけるADC値測定は，内部性状の推測能向上とともに，通常のMRI検査では診断に苦慮する症例に限定した場合，すなわち腫瘍の大半がT1強調画像で高信号，T2強調画像にて低信号，均一に著明な高信号(脂肪と同等以上)の腫瘤を除いた腫瘍については良悪性の鑑別の一助になる可能性が示唆された．また，軟骨性腫瘍においては，悪性度の指標としてADC値が利用できる可能性が示唆された．

文　献

1) Tsuruda J, Chew W, Moseley M, et al: Diffusion-weighted MR imaging of the brain: Value of differentiating between extraaxial cysts and epidermoid tumors. AJNR 11: 925–931, 1990
2) Okamoto K, Ito J, Ishikawa K, et al: Diffusion-weighted echo-planar MR imaging in differential diagnosis of brain tumors and tumor-like conditions. Eur Radiol 10: 1342–1350, 2000
3) Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al: Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR image. Radiology 168: 497–505, 1988
4) Baur A, Reiser MF: Diffusion-weighted imaging of the musculoskeletal system in humans. Skeletal Radiol 29: 555–562, 2000
5) Baur A, Sabler A, Bruning R, et al: Diffusion-weighted MR imaging of bone marrow; Differentiation of benign versus pathologic compression fractures. Radiology 207: 349–356, 1998
6) Lang P, Wendland MF, Saeed M, et al: Osteogenic sarcoma: Noninvasive in vivo assessment of tumor necrosis with diffusion-weighted MR imaging. Radiology 206: 227–235, 1998
7) Lang P, et al: Advances in MR imaging of pediatric musculoskeletal neoplasmas. Magn Reson Imaging Clin North Am 6: 579–604, 1998
8) Baur A, Huber A, Arbogast S, et al: Diffusion-weighted imaging of tumor recurrencies and posttherapeutical soft-tissue changes in humans. Eur Radiol 11: 828–833, 2001
9) Maeda M, Sakuma H, Stephan EM, et al: Quantitative assessment of diffusion abnormalities in benign and malignant vertebral compression fractures by Line Scan diffusion-weighted imaging. AJR 181: 1203–1209, 2003
10) Wang J, Takashima S, Takayama F, et al: Head and neck lesions: Characterization with diffusion-weighted echo-planar MR imaging. Radiology 220: 621–630, 2001
11) van Rijswijk CSP, Kunz P, Hogendoorn PCW, et al: Diffusion-weighted MRI in the characterization of soft-tissue tumors. J Magn Reson Imaging 15: 302–307, 2002
12) 西村　浩，長田周治，大熊一彰，他：軟部腫瘍のMRIダイナミック造影パターン，T2値，MT比，ADC値による総合評価．臨床放射線 48：1466–1472，2003
13) 長田周治，西村　浩，内田政史，他：骨軟部領域のMT比とADC値．映像情報 34：982–986，2002
14) 飯島宗一：骨・軟部．町並陸生編：組織病理アトラス，412–430，1995，文光堂，東京