

高速 MRI と MDCT : 現状と今後の使い分け —骨軟部 : MRI の立場から—

西村 浩^{1,2}, 長田周治²

¹久留米大学画像診断センター ²同医学部放射線科

はじめに

MDCT の登場により骨軟部領域においても多くの恩恵を受けることが可能になった。ただし、他の領域とは若干異なり、元来単純 X 線が診断の基本であったこと、MRI の有用性が非常に高い領域であること、被曝の問題などの理由からその利用はある程度限定されるものと推察される。MRI は使い方によっては多くの情報を一回の検査で提供できる能力を有しており、この領域において単純 X 線のほかに MDCT か MRI のいずれか一つしか検査できないと仮定した場合、現時点では MRI が選択される例が多いのではないと思われる。単純 X 線ではわかりにくい X 線の情報が必要な場合に今後 MDCT の使用を考慮していけば十分ではないかと考えている。なお、今回のテーマである使い分けに関しては、骨軟部領域の診断においては単純 X 線の情報は不可欠であることから、単純 X 線が施行されていることを前提として MRI の立場から現時点のいろいろな状況別の検討を行い、また我々の施設で現在行っている事例を提示しながら MRI の新技術および骨軟部領域への応用について解説する。

現在の状況別使い分け

1. 知りたい対象による使い分け

骨皮質、石灰化に関しては MRI では描出が不良であり単純 X 線での情報が不十分な場合は CT 又は MDCT を利用する。軟部組織、軟骨、骨髄に関しては MRI を使用する、血管、関節、ミエログラフィーに関しては両者の描出能はほぼ同等と思われるため臨機応変に使い分ける。あえて MDCT を優先的に撮像する必要はない。

2. 分解能からみた使い分け

よく知られているように、空間分解能、時間分解能に優れる CT とコントラスト分解能に優れる MRI では、当然ながらそれらを生かした使い方が基本となる。ただし、MRI の空間分解能、時間分解能も徐々に向上してきており、装置のもっている最大限の機能を引き出し CT に近づけるように努力することで、余分な CT 検査を減少させることは現時点でも可能である。

3. 被曝の面からの使い分け

得られる情報に大きな差がないと考えられる場合や頻回の経過観察などが必要になる患者、特に小児や生殖可能な女性の検査には MRI に

この総説は、第 31 回日本磁気共鳴医学会大会シンポジウム「高速 MRI と MDCT : 現状と今後の使い分け」での講演を中心にまとめたものである。

キーワード MRI, MDCT, musculoskeletal tumors, diffusion weighted image, magnetization transfer image

よる検索を主体に行うことが基本となる。広範囲の撮像が診断上有用な全脊椎・脊髄や血管情報については最新の MRI 装置を有する施設で

は、MDCT とほぼ同等な情報が得られる場合が多いので MRI を第一選択にすべきである。

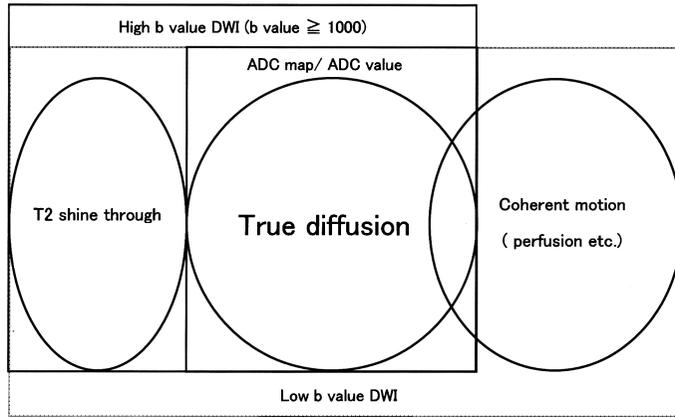


Fig. 1. True diffusion, ADC value and factors of influencing diffusion weighted image

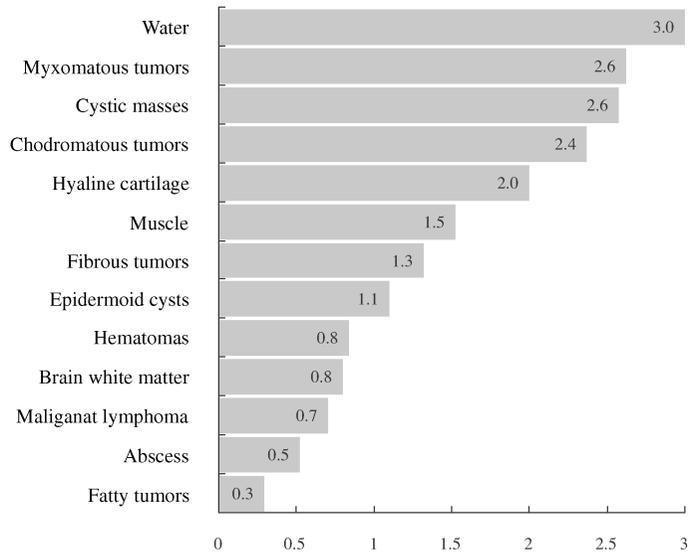


Fig. 2. Bar graph of ADC values of musculoskeletal masses and normal tissues ($\times 10^{-3}$) (b value = 1,000)

2004年3月30日受理

別刷請求先 〒830-0011 福岡県久留米市旭町67 久留米大学画像診断センター/放射線科 西村 浩

4. 造影剤の使用における使い分け

腫瘍性病変などで造影検査が必要な場合，ヨード禁忌，腎機能の中程度障害者では，他の領域同様 MRI の独壇場である。

5. 病変による使い分け

特に，肋骨，顔面骨，手足関節，脊椎，胸骨などの骨折の評価，全身外傷の評価，脊椎における骨棘，靱帯の骨化，椎間関節，神経孔の描出，関節を構成する骨の立体関係の評価，関節軟骨下骨病変，関節内遊離体の描出，CT myelography などにおいては MRI 以上に MDCT が威力を発揮できる症例も多い。それ以外の多くの骨軟部疾患では MRI が第一選択である。

Table 1. Diffusion Weighted Imaging Sequence and Calculating Method of ADC Value

MRI machine : 1.5T
• Single shot EPI (SE)
• TR 3200 ms, TE 100-120 ms
• b value : 0, 1000 s/mm ²
• Scan time : 13 s
ADC value = $-\text{LN} (S_{b=1000}/S_{b=0})/1000$

骨軟部領域において今後期待される MRI 新技術

1. 高コントラスト分解能をさらに有効利用する技術

MRI の利点である高コントラスト分解能を今後さらに有効に利用していくために，CT では得られない情報を提供する必要がある。実例として腫瘍病理像推察の精度向上の視点から拡散強調像から得られる ADC (apparent diffusion coefficient : みかけの拡散係数) 値と磁化移動画像から得られる MT (magnetization transfer) 比の応用について解説する¹⁾。

Table 2. Magnetization Transfer Imaging Sequence and Calculating Method of MT Ratio

MRI machine : 1.5T
• MT (-) : 2D GE ; TR 420 ms, TE 14 ms, Flip angle 15°
• MT (+) : 2D GE ; TR 420 ms, TE 14 ms, Flip angle 15°
• Off-resonance frequency : 1500 Hz
• Scan time : 36 s × 2
MT ratio = $(SI_{MT(-)} - SI_{MT(+)})/SI_{MT(-)}$

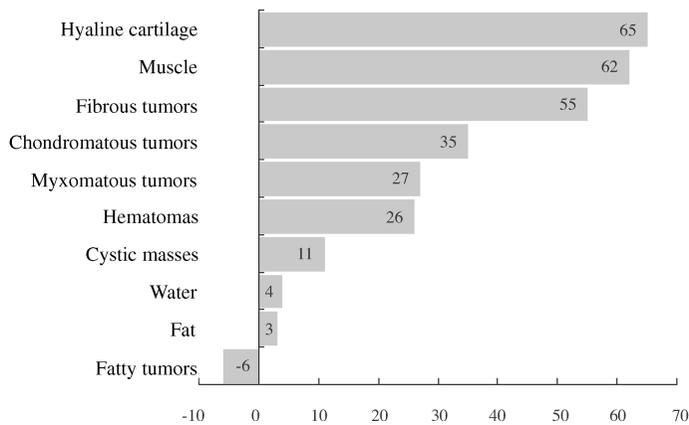


Fig. 3. Bar graph of MT ratio of musculoskeletal masses and normal tissues (%)

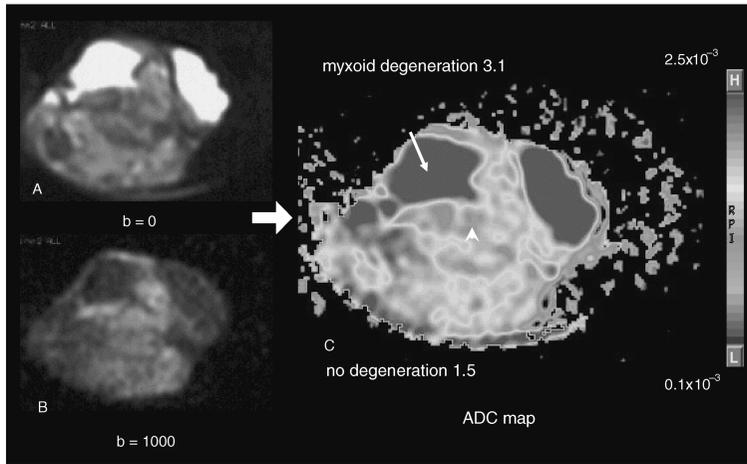


Fig. 4. DWI and ADC map : 49-year-old man with leiomyosarcoma in left thigh (See page 103.)

A: DWI ($b=0$), B: DWI ($b=1000$), C: ADC map shows heterogeneous tumor with myxoid degeneration part (ADC value = 3.1×10^{-3}) (arrow) and no degeneration part (ADC value = 1.5×10^{-3}) (arrowhead).

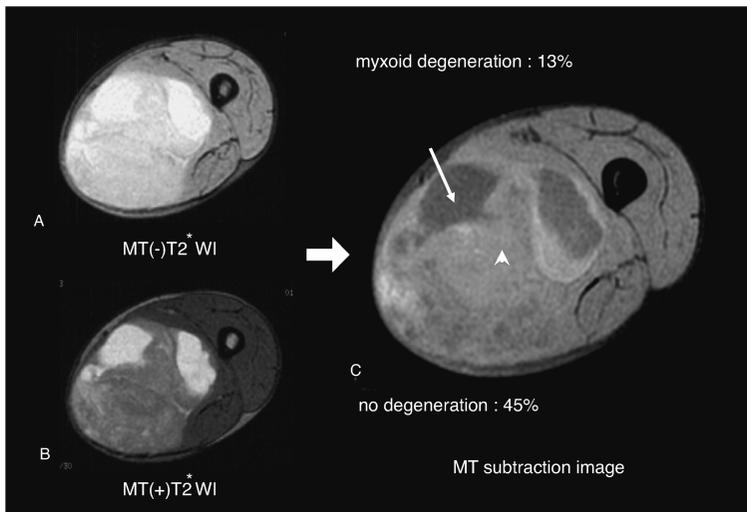


Fig. 5. MT subtraction image : 49-year-old man with leiomyosarcoma in left thigh

A: T_2^* WI without magnetization transfer contrast, B: T_2^* WI with magnetization transfer contrast, C: MT subtraction image shows heterogeneous tumor with myxoid degeneration part (MT ratio = 13%) (arrow) and no degeneration part (MT ratio = 45%) (arrowhead).

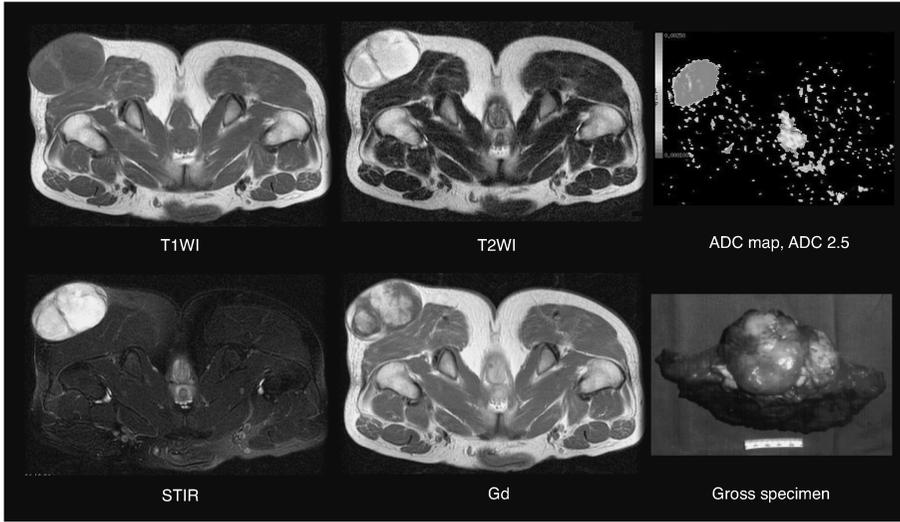


Fig. 6. 46-year-old man with myxoid liposarcoma in left buttock
Myxoid matrix has high ADC value (2.5×10^{-3}).

Table 3. MRI Findings of Intratumoral Structures and Normal Tissues

	T ₁	T ₂	Gd	ADC value	MT ratio
Water/Cyst	VL	VH	—	VH	VL
Myxoid matrix	VL	VH	-~+	H	I
Hyaline cartilage	L	I~VH	—	I~H	VH
Collagen fibers/Muscle	L	L~VL	-~+	I	H~VH
Cortex/Calcification	VL	VL	—	—	—
Artery	Flow-void	Flow-void	++	H	—
Fat/Fatty bone marrow	VH	I~H	—	VL	VL
Hematoma	I~H	VL~VH	—	VL~L	I
Fluid rich in protein	I~H	VH (~L)	—	L~VH	H

VL : very low, L : low, I : intermediate, H : high, VH : very high

Table 4. MR Conventional and New Sequences for Musculoskeletal Masses

1. STIR or Fat-saturated T ₂ WI	2 min
2. T ₁ WI	2 min
3. T ₂ WI (Fast SE)	2 min
4. <u>DWI</u> : ADC value	13 s
5. <u>MT image</u> : MT ratio	72 s
6. Dynamic Gd-enhanced MRI·MRA	4 min
7. Gd-T ₁ WI or Gd-enhanced FatSat T ₁ WI	2 min

Table 5. Useful Sequences for Differential Diagnosis of Musculoskeletal Masses

- Detection of magnetism (hemosiderin etc.) : T₂*WI, EPI
- Decision of fatty component : Fat-saturated image (ChemSat > STIR)
- Suspected collagen fibers, cartilage : MT
- Detection of cyst (impossible case to use contrast media) : DWI, MT
- Suspected malignant lymphoma, epidermoid cyst, abscess : DWI
- Differentiation between cartilage and myxoid matrix : MT

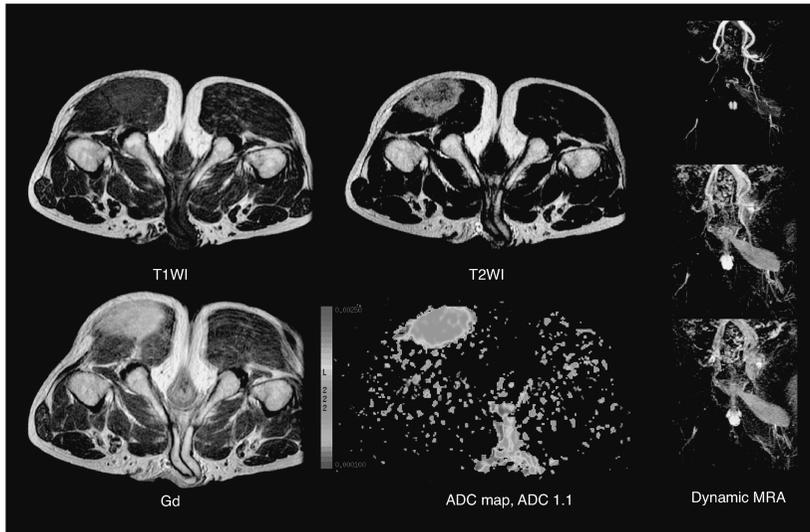


Fig. 7. 60-year-old man with malignant lymphoma in left buttock (See page 103.) Malignant lymphoma has low ADC value (1.1×10^{-3}).

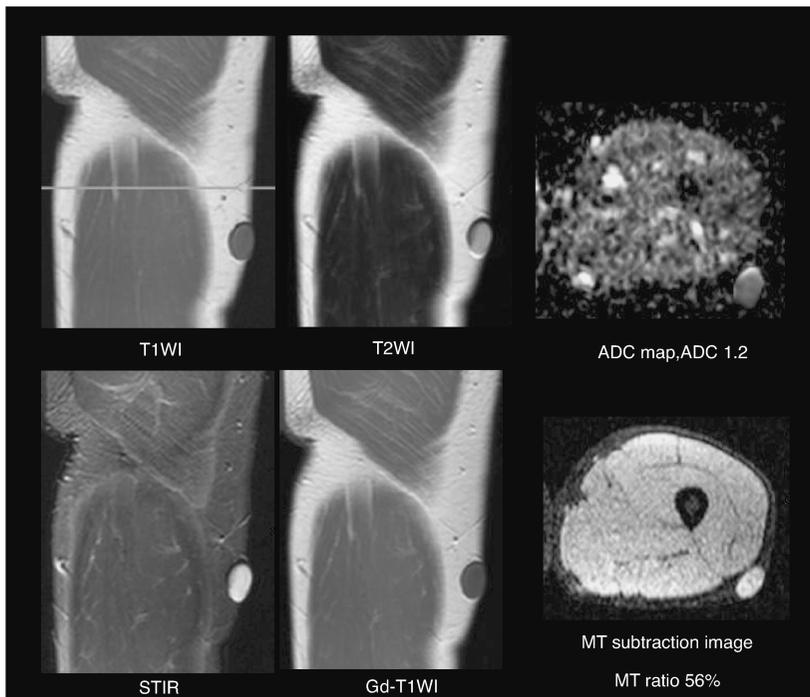


Fig. 8. 31-year-old man with epidermoid cyst in left thigh Epidermoid cyst has low ADC value (1.2×10^{-3}) and high MT ratio (56%).

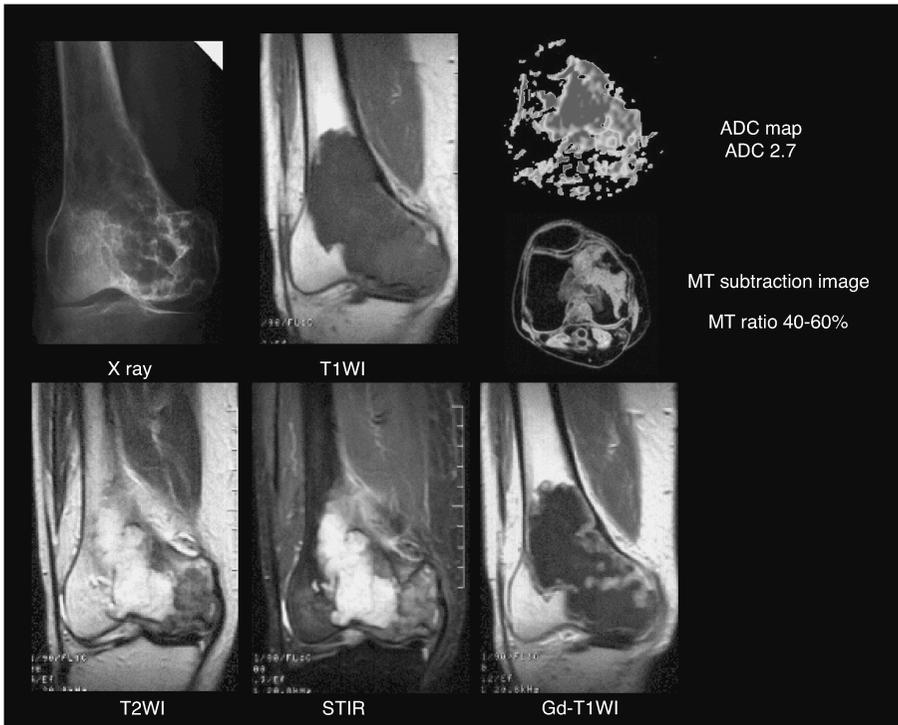


Fig. 9. 77-year-old woman with chondrosarcoma in right femur (See page 103.) Chondrosarcoma has high ADC value (2.7×10^{-3}) and high MT ratio (40-60%).

1) ADC 値

拡散の情報が腫瘍性病変の評価に有用であることは、中枢神経領域、頭頸部領域、乳房、骨盤領域などで多くの報告^{2)~6)}があるが、その拡散の情報をより正確に半定量的に評価する尺度として最近ではこのADC値が用いられている。Fig. 1に示すように、灌流などの動きやT₂緩和の影響(T₂ shine through)を極力抑え真の拡散係数に近くしたのがb値を1000程度に長くしたときのADC値であり、その分布を表示したのがADC mapである。我々はTable 1に示すような方法で検査を行っているが、検査時間が13秒と非常に短いため、若干の画像のゆがみは生じるものの診断の一助としての役割は大きい。

2) MT 比

磁化移動については、頭部のMRAでは通常

併用されている技術で脳実質の信号を落とすことでより細かな血管の描出能を向上させているが、この磁化移動の程度(蛋白などの高分子化合物の量)を定量化したのがMT比である。我々の方法をTable 2に示しているが、この値は同一条件下ではほぼ一定の値を呈するが撮像条件により変化し絶対的なものではないため、通常はMT比が高い筋肉や軟骨の値との比較程度の使い方が無難である。

3) ADC 値，MT 比を併用した病理推察の実際

Figs. 2, 3に示すようにADC mapとMT subtraction画像を作成しそれぞれにROIを設定しADC値とMT比を測定する。我々の経験¹⁾とこれまで報告された論文^{2)~14)}から、正常組織や各腫瘍群の平均値をグラフにしたのがFigs. 4, 5である。それぞれにある程度の差異が認められており、これらとこれまでの信号、

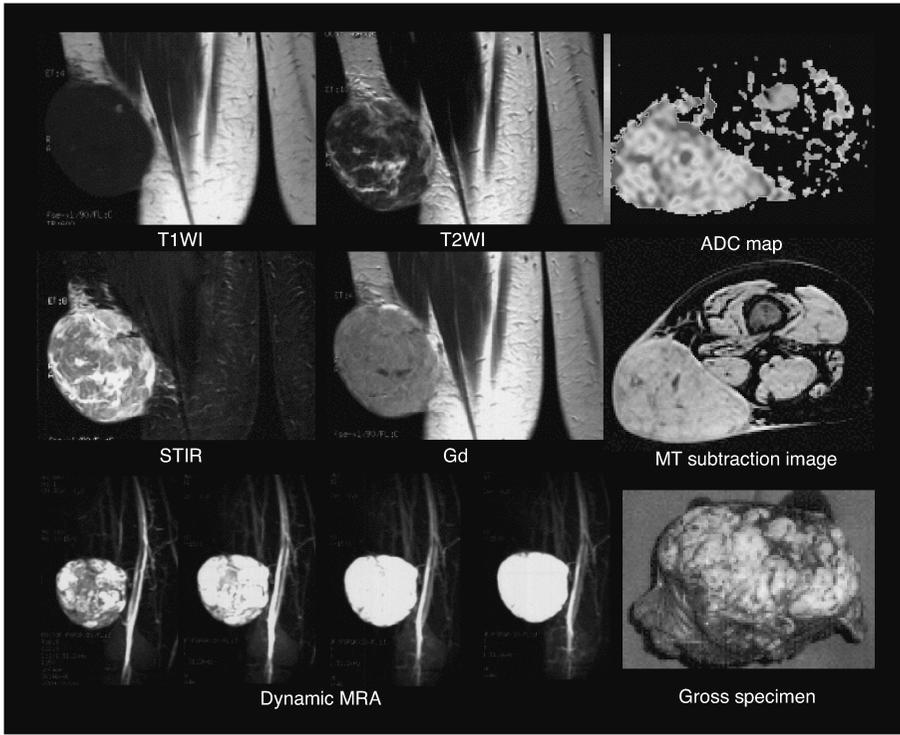


Fig. 10. 60-year-old woman with vascular leiomyoma in right thigh (See page 103.) Vascular leiomyoma has intermediate ADC value and high MT ratio (65%).

造影パターンの組み合わせから Table 3 に示すような内部性状の 9 個の要素をより正確に推察可能と考えている。我々はある限りこれらを組み合わせた撮像を Table 4 に示すような順序で行っているが、撮像時間延長や造影剤使用不可などの問題がある場合には目的を絞ってこれらを上手に利用することをお奨めする (Table 5)。特に有用と思われた例を Figs. 6~10 に提示する。

2. 空間分解能をできるだけ CT に近づける

マイクロコイルなどの利用で膝靭帯、手三角線維靭帯、指関節、趾関節などの高い空間分解能が要求される領域でも鮮明な画像を得ることが可能になってきている (Fig. 11)¹⁵⁾。最近では、コイルを複数装着し、通常の範囲の撮像後に、マイクロコイルのみでの精密検査が可能になってきているので非常に使い勝手が向上して

いる (Fig. 12)。SN 比を稼ぐために若干時間が延長するのは致し方ないが、これまでわかりにくかった病変が診断できるようになる例が少なからず認められるという点では、今後有効に使用されるべき手法と思われる。

3. 高コントラストかつ高空間分解能画像

この高コントラストかつ高空間分解能画像を短時間で得ることが MRI の最終目標ではないかと思われるが、ここでは我々の施設で行っている磁化移動画像を利用した等方性ボクセルに近い 3 次元の関節軟骨撮像法 (主に膝関節) について紹介する。これまで MRI での軟骨撮像法については数多くの報告が認められるが、磁化移動画像を利用したものは少なく、また 3 次元表示のものは非常に少ない^{16),17)}。Table 6 と Fig. 13 に実際の撮像条件と描出法を示す。許されるぎりぎりの検査時間 (5 分) で、回転

<ADC map>

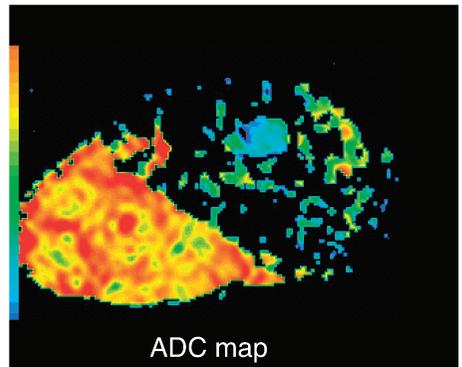
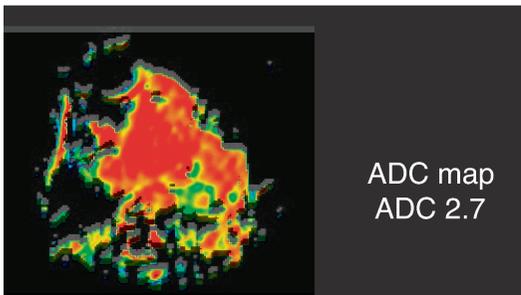
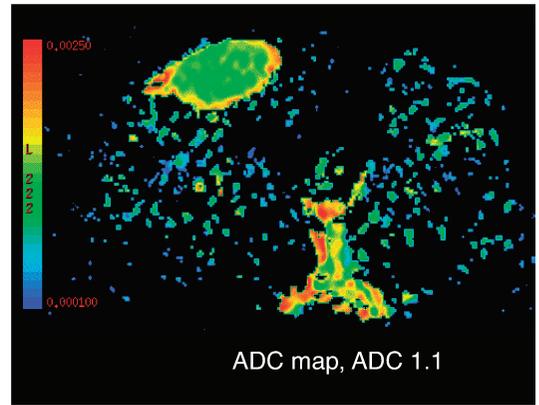
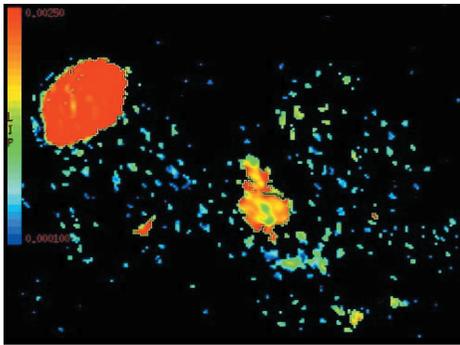
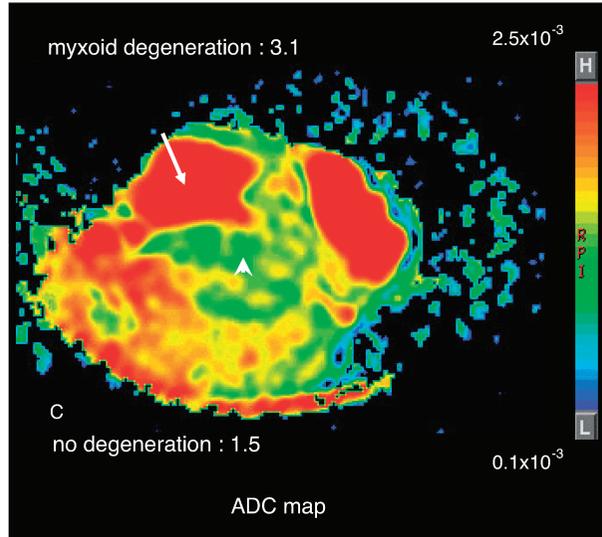




Fig. 11. MR imaging of triangular fibrocartilage using micro-coil
T₁WI and ChemSat T₂*WI using micro-coil show in detail normal triangular fibrocartilage.

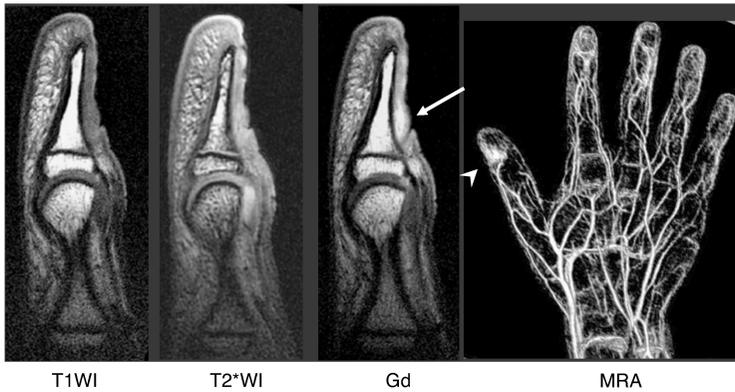


Fig. 12. 13-year-old boy with Glomus tumor in right 1st finger
T₁WI, T₂*WI and Gd enhanced T₁WI using micro-coil show in detail this tumor (arrow). MRA (1st phase) without micro-coil shows the entire image of right hand artery with early-enhanced area (arrowhead) in 1st finger.

Table 6. Sequence Protocol for High Resolution 3D MT Subtraction Image

- MR machine : 1.5T
- MT (-) : 3D GE ; TR 34 ms, TE 14 ms, Flip angle 15°
- MT (+) : 3D GE ; TR 34 ms, TE 14 ms, Flip angle 15°
- Matrix : 256 × 167 (Display matrix : 512 × 334)
- Voxel size : 0.7 × 0.6 × 1.0 mm
- Band width : 260 Hz
- Off-resonance : 1500 Hz
- Scan time : 2 min 30 s × 2

表示させても違和感のないレベルの等方性ボックスに近い3次元画像が得られるため (Fig. 14), これまで軟骨病変のチェックが容易でなかった一般読影医や臨床医にも比較的簡単に病変が指摘できるようになった. また, 多発性病変やわずかな変化の見落としが減少することも期待される. 代表症例を Fig. 15 に示す. 今後は変形性膝関節症の経年的変化や治療効果などの視覚的 (半定量的) 評価などへの応用も可能ではないかと検討中である.

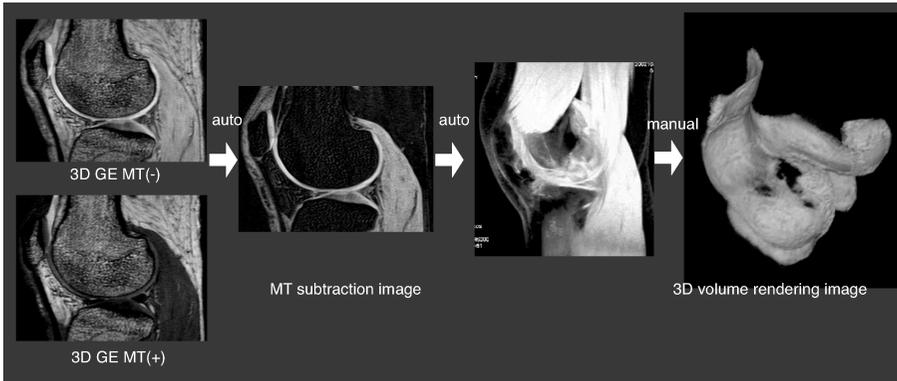


Fig. 13. 3D display technique of articular cartilage of knee using MT-subtraction image

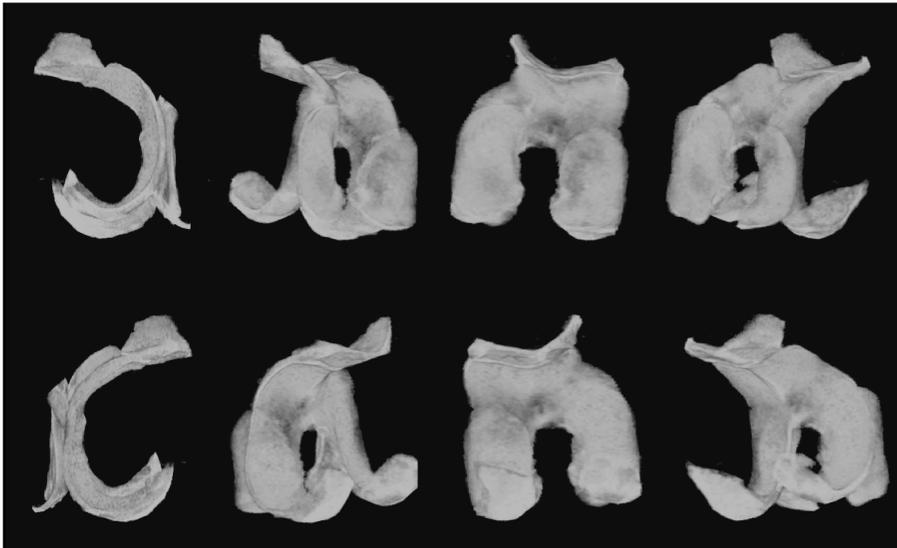


Fig. 14. MRI of articular cartilage : high resolution 3D display images

おわりに

今後、骨軟部領域においても整形外科医など臨床医の要望により MDCT の利用が増加することが予測される。しかし、単純 X 線と MDCT の組み合わせと単純 X 線と MRI の組み合わせで得られる情報の種類、量は後者が圧倒的に多いことを考えれば、我々放射線科医と

しては単純 X 線読影能向上に努め、MDCT の適応を十分に理解して過度の使用にならないように指導するべきである。また、MRI 側から考えれば撮像技術の工夫を重ねて臨床医に納得させるだけの質の高い画像を提供するように努力すべきではないかと思われる。さらに、3T 装置の登場は骨軟部領域の MRI 診断に大きな変化をもたらす可能性がある。

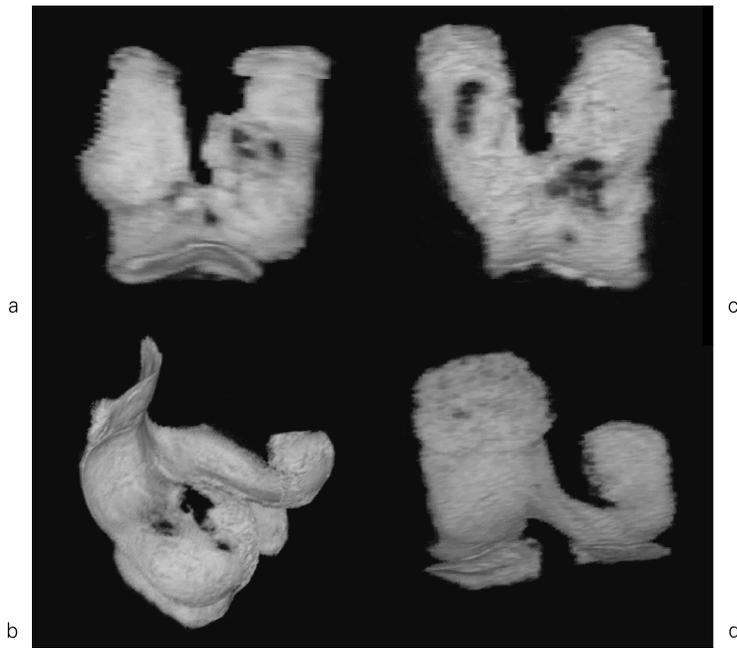


Fig. 15.

A : 15-year-old girl with osteochondritis dissecans in the right medial femoral condyle.

B : 31-year-old woman with multiple osteochondral fractures in the right femur.

C : 31-year-old man with chondromalacia in the left lateral femoral condyle.

D : 31-year-old woman with diffuse chondromalacia patellae.

文 献

- 1) 長田周治, 西村 浩, 内田政史, 早瀬尚文, 平岡弘二, 川田秀道, 打木薫和 : 骨軟部領域における MT 比と ADC 値. 映像情報 Medical 2002 ; 34 : 982-986
- 2) Sener RN : Diffusion MRI findings in neonatal brain abscess. J Neuroradiol 2004 ; 31 : 69-71
- 3) Hakyemez B, Yildiz H, Ergin N, Uysal S, Parlak M : Flair and diffusion weighted MR imaging in differentiating epidermoid cysts from arachnoid cysts. Tani Girisim Radyol 2003 ; 9 : 418-426
- 4) Sinha S, Lucas-Quesada FA, Sinha U, DeBruhl N, Bassett LW : *In vivo* diffusion-weighted MRI of the breast : potential for lesion characterization. J Magn Reson Imaging 2002 ; 15 : 693-704
- 5) Guo Y, Cai YQ, Cai ZL, Gao YG, An NY, Ma L, Mahankali S, Gao JH : Differentiation of clinically benign and malignant breast lesions using diffusion-weighted imaging. J Magn Reson Imaging 2002 ; 16 : 172-178
- 6) Zhou XJ, Leeds NE, McKinnon GC, Kumar AJ : Characterization of benign and metastatic vertebral compression fractures with quantitative diffusion MR imaging. AJNR 2002 ; 23 : 165-170
- 7) Wang J, Takashima S, Takayama F, Kawakami S, Saito A, Matsushita T, Momose M, Ishiyama T : Head and neck lesions : characterization with diffusion-weighted echo-planar MR imaging. Radiology 2001 ; 220 : 621-630
- 8) Chan JH, Peh WC, Tsui EY, Chau LF, Cheung KK, Chan KB, Yuen MK, Wong ET, Wong KP :

- Acute vertebral body compression fractures : discrimination between benign and malignant causes using apparent diffusion coefficients. *Br J Radiol* 2002 ; 75 : 207-214
- 9) Lang P, Wendland MF, Saeed M, Gindele A, Rosenau W, Mathur A, Gooding CA, Genant HK : Osteogenic sarcoma : noninvasive *in vivo* assessment of tumor necrosis with diffusion-weighted MR imaging. *Radiology* 1998 ; 206 : 227-235
 - 10) Baur A, Huber A, Arbogast S, Durr HR, Zysk S, Wendtner C, Deimling M, Reiser M : Diffusion-weighted imaging of tumor recurrences and postthrapeutical soft-tissue changes in humans. *Eur Radiol* 2001 ; 11 : 828-833
 - 11) van Rijswijk CS, Kunz P, Hogendoorn PC, Taminiau AH, Doornbos J, Bloem JL : Diffusion-weighted MRI in the characterization of soft-tissue tumors : *J Magn Reson Imaging* 2002 ; 15 : 302-307
 - 12) Tsukushi S, Takahashi M, Miyagi N, Matsu-shima S, Andoh M, Kinoshita Y : Magnetization transfer ratios of musculoskeletal tumors. *J Orthop Sci* 2002 ; 7 : 524-527
 - 13) Li KCP, Hopkins KL, Moore SG : Magnetization transfer contrast MRI of musculoskeletal neoplasms. *Skeletal Radiol* 1995 ; 24 : 21-25
 - 14) Seo GS, Aoki J, Karakida O : Role of magnetization transfer imaging in bone tumors. *Acad Radiol* 1998 ; 5 : 634-641
 - 15) Sofka CM, Potter HG : Magnetic resonance imaging of the wrist. *Semin Musculoskeletal Radiol* 2001 ; 5 : 217-226
 - 16) Laurent D, Wasvary J, Yin J, Rudin M, Pellas TC, O'Byrne E : Quantitative and qualitative assessment of articular cartilage in the goat knee with magnetization transfer imaging. *Magn Reson Imaging* 2001 ; 19 : 1279-1286
 - 17) 吉岡 大, Philipp Lang, 池田耕太郎, 新津守, 板井悠二 : 関節軟骨への 3D water-excitation transfer contrast MR 画像の試み. *日医放会誌* 2001 ; 61 : 545-547

The Role of Musculoskeletal Magnetic Resonance Imaging in Comparison with Multi-detector Computed Tomography

Hiroshi NISHIMURA, Shuji NAGATA

*Department of Radiology, Kurume University School of Medicine
67 Asahimachi, Kurume, Fukuoka 830-0011*

Musculoskeletal magnetic resonance imaging (MRI) using conventional and new techniques is developing. Multi-detector computed tomography (MDCT) is also developing rapidly. We currently believe that diagnoses made using MRI plus X-ray may be superior to those made using MDCT. MRI has the advantages of high contrast resolution for soft tissues, no irradiation, and significant data related to musculoskeletal diseases. MDCT is useful for bone cortex abnormality, faint calcification, fractures of rib and facial bones, traumatic systemic bone damage, and spinal osseous and articular diseases.

Providing high quality musculoskeletal MR images is very important. In this abstract, the new MR techniques of apparent diffusion coefficient (ADC) value, magnetization transfer (MT) ratio for estimating intratumoral structures, directions of micro-coil for detecting anatomy in detail, and 3D MT subtraction image for estimating visually articular cartilage, are introduced.