

四肢骨軟部腫瘍の Intravoxel Incoherent Motion Imaging

多上 智康¹, 佐久間 肇¹, 玉川 洋一², 塚元 鉄二³,
野村 新之¹, 竹田 寛¹, 紀ノ定保臣¹, 中川 毅¹,
木村 浩彦², 石井 靖², 吉留 英二³

¹三重大学医学部放射線科
³横河メディカル

²福井医科大学放射線科

はじめに

Intravoxel incoherent motion (IVIM) とは、生体組織中では主として水分子のブラウン運動に起因する diffusion と、組織の capillary network 内の血液の微小循環である perfusion から成る microscopic motion であり、これを検出する手法として IVIM imaging が注目されている^{1),2)}。我々は、骨軟部腫瘍に対して IVIM imaging を施行しその定性的評価を試み、併せて各腫瘍の apparent diffusion coefficient (ADC) の計測を行った。ADCは、water diffusion ばかりでなく、perfusion も反映する計測値であり、各腫瘍の性状との関係を検討した。一部症例については Gd-DTPA 造影 MRI も共に行って比較し、IVIM imaging の有する臨床的意義について検討したので報告する。

対 象

対象は、1989年6月から1990年8月まで、当院放射線科にて MRI の検査を行った骨軟部腫

瘍性疾患患者 16 例である。その内訳を表 1 に示す。嚢胞性病変 3 例、充実性腫瘍 12 例、両者の混在したもの 1 例で、うち 13 例では、Gd-DTPA による造影 MRI を行なった。

表 1. 対象

組織診断	例数	造影例
neurinoma	3	1
hemangioma	1	1
liposarcoma	1	1
aneurysmal bone cyst	1	1
giant cell tumor	2	2
granuloma	1	1
osteomyelitis	1	1
abscess	1	1
Baker's cyst	1	0
fibrous histiocytoma	1	1
synovial sarcoma	1	1
malignant lymphoma	1	1
squamous cell carcinoma	1	1

方 法

使用した装置は shielded gradient coil を装備

キーワード MRI, IVIM imaging, diffusion, perfusion, bone and soft tissue tumor

したGE-YMS社製1.5T Signaである。撮像に際しては peripheral gating を用いて心拍に同期させ、通常の spin-echo (SE) 像 [TR=2-3心拍, TE=100 m second (s), delay after trigger=200 ms] 及び duration 32 ms, amplitude 0.9 Gauss/cm の motion probing gradient を付加した SE 像 (diffusion weighted image) を一組として撮像した (図1)。さらに、腫瘤部および脂肪、骨髄、筋肉等に関心領域を定め、各々の像からの信号強度 S_0 , S_1 を求め、apparent diffusion coefficient (ADC) を次の式より算出した^{2),3)}。

$$ADC = \log(S_0/S_1) / (b_1 - b_0)$$

ここで b_0 , b_1 は、通常の SE image および diffusion weighted image でそれぞれ使用した gradient pulse の duration や intensity 等により定まる定数 (constant gradient factor) である。 S_0 は SE image における信号強度を、 S_1 は diffusion weighted image における信号強度を示す。Gd-DTPA 造影 MRI は 0.1 mmol/kg 注入直後から short SE (TR=400-500 ms, TE=20 ms) 法にて T_1 強調像を撮像した。

結 果

嚢胞性病変すなわち aneurysmal bone cyst, 膿瘍, 及び骨巨細胞腫の嚢胞部では、 T_2 強調像にて一般に均一で著明な高信号を示したが、diffusion weighted image では、均一な信号低下を示した (図2)。計測した ADC は、aneurysmal bone cyst と骨巨細胞腫の嚢胞部分では、それぞれ 2.89×10^{-3} , $2.74 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ と水に近い値を示したが、膿瘍では $1.82 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ の低値となった。この膿瘍で、他の2例より明らかな低値となった理由は、膿瘍内容液の性状

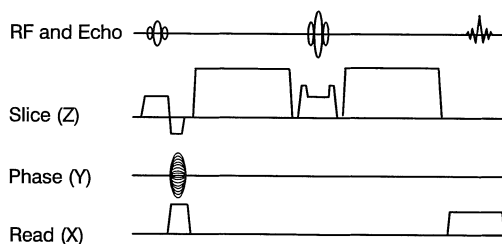


図1. 使用したdiffusion weighted image の pulse sequence

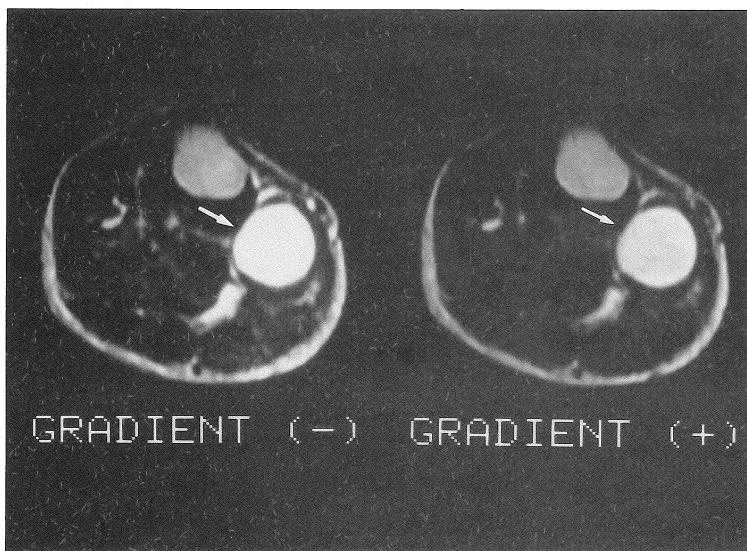


図2. 下腿部膿瘍
左: T_2 強調像
右: diffusion weighted image. 膿瘍 (矢印) 内は均一な信号低下がみられる。

が粘稠で water diffusion が他より制限されているためと考えられた。

充実性腫瘍のうち脂肪肉腫の症例では、腫瘍は組織学上、成熟した脂肪組織を主体とする部分と atypical lipoblast 及び線維組織の増生が大部分を占める部分の2つの成分からなっており、 T_1 強調像で前者は高信号、後者は低信号を示した。 $Gd-DTPA$ 造影像で lipoblast の増生した部分のみに造影効果が認められた (図3) が、その程度は弱く、一方、diffusion weighted

image で、lipoblast に富む部分は脂肪組織部分に比べ明らかに強い信号強度低下を示した (図4)。両部分のそれぞれの平均 ADC は、 0.46×10^{-3} , $2.02 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ であった。病理組織所見では、lipoblast に富む部分は、脂肪組織部分に比べ capillary network が発達しており、diffusion とともに perfusion の差も、高い ADC に反映されたものと推察される。

巨大な腫瘍を形成した下腿部の皮膚扁平上皮癌では、 T_1 強調像で均一な低信号を示し、 $Gd-$

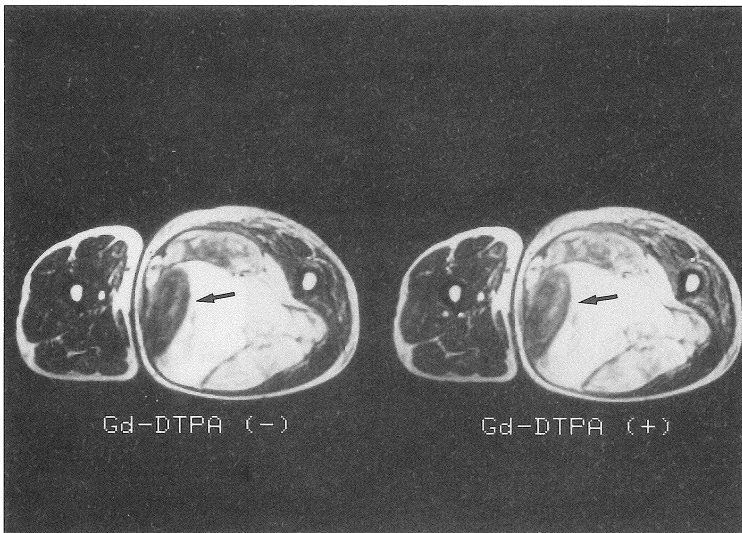


図3.
脂肪肉腫
左； T_1 強調像。腫瘍は、主に二つの部分に分けられる。
右； $Gd-DTPA$ 像。腫瘍内側部 (矢印) の弱い染まりがみられる。

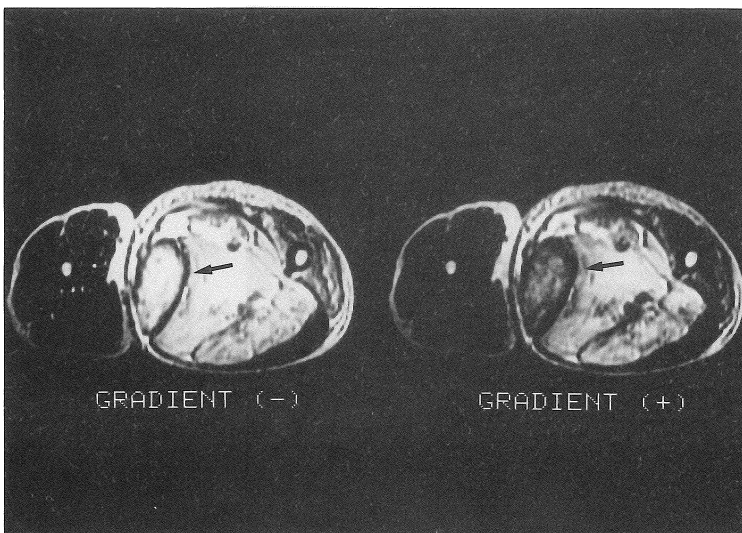


図4.
図3と同一症例。
左； T_2 強調像。
右；diffusion weighted image. 腫瘍内側部 (矢印) の明らかな信号低下を認める。

DTPA 造影により複雑な縞模様を示す濃染がみられた (図5) . 腫瘤は, T_2 強調像でほぼ均一な高信号を示したが, diffusion weighted image では, 同様の複雑な縞模様の信号低下を示した (図6) . すなわち, diffusion weighted image における信号強度の差の分布様式は, Gd-DTPA 造影による濃染様式にきわめて類似していることが示された.

Gd-DTPA 造影を行った 16 症例の腫瘤部から計測した ADC を図7 に示す (cystic な成分を持

つ骨巨細胞腫では, cystic な部分の ADC を, 脂肪肉腫では, lipoblast に富む成分の ADC を計測した) . Gd-DTPA で濃染されない嚢胞性病変内部の ADC は水に近い比較的高い ADC を示した ($1.82\sim 2.89\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$) . 一方充実性腫瘍では, 0.67×10^{-3} から最高 $2.51\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ までの広い分布を示したが, 病理組織により特定の値をとる傾向はみられなかった.

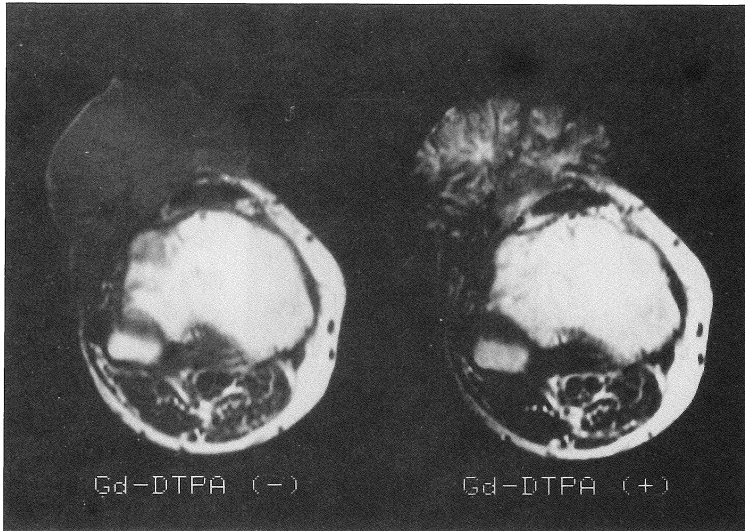


図5.
膝 squamous cell carcinoma
左; T_1 強調像.
右; Gd-DTPA 像. 縞模様の染まりがみられる.

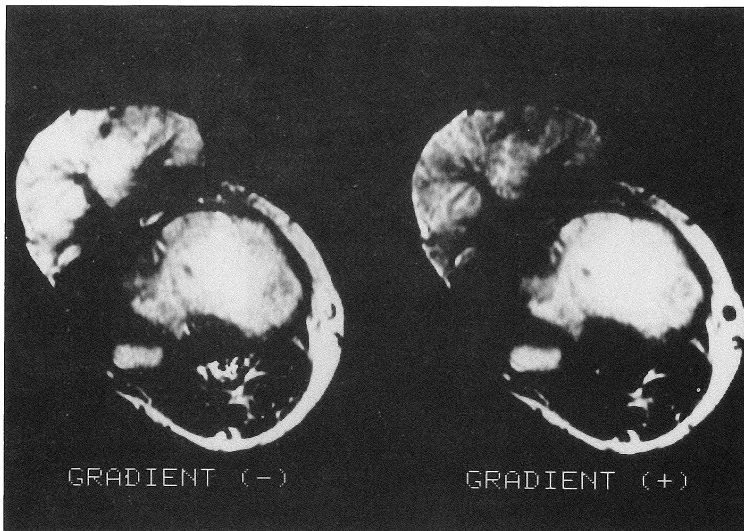


図6.
図5と同一症例.
左; T_2 強調像.
右; diffusion weighted image. Gd-DTPA 像と同様に縞模様が見られる.

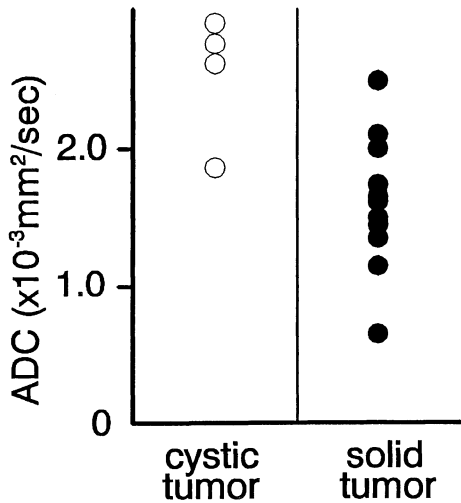


図7. 各腫瘍の ADC.

考 察

IVIM imaging は、water diffusion や capillary perfusion を、傾斜磁場による spin の位相の分散の増大に伴う信号強度の低下から観察するものである¹²⁾。そのような非常に緩やかな流れやわずかの動きを、通常 phase shift を利用した slow flow の測定法では検出できず、その点では本法は画期的な方法と云える。しかし逆に、心拍動や呼吸運動などの通常の動きに対しても鋭敏に影響を受けるため、それらの強い部位における diffusion, perfusion の評価は現在のところ困難である。しかし、四肢は頭部同様それらの影響は小さく、IVIM imaging の良好な適応部位と考えられる。ただし、血管の拍動の影響を除くため、心拍同期を行っている。

MRI は、骨軟部腫瘍診断において病変の拡がりの評価のみならず種々の組織成分の差を鋭敏に反映し、近年 CT よりも優先順位の高い検査法となりつつある。また、CT での造影と同様、Gd-DTPA による造影により組織の perfusion を評価することもある程度可能である。しかし、なお MRI における tissue characterization には限界があり、脂肪成分を含む腫瘍や血管腫を除

きその他の腫瘍では組織的な診断を行うことは困難である。

嚢胞性病変では、内容液の性状を評価するのに T_1 , T_2 値を求めて推測する方法も試みられてきたが、正確な T_1 , T_2 値を求めることが困難な上に、MR 装置により値のことなる可能性のあること等から本法には問題点が多い。IVIM imaging においては、嚢胞内ではわずかながら対流や血管拍動の影響はあるもの主として diffusion の差が反映され、perfusion の影響はない。それゆえ、内容液の diffusion の大小が鋭敏に評価し得るものと期待される。我々の症例では、水に近い ADC をとる aneurysmal bone cyst と、かなり低い ADC を示した膿瘍の判別が可能であった。まだ症例が少なく、どのような液体成分がどの程度の ADC を示すのかは更に症例を重ね検討していきたい。

一方、充実性腫瘍では IVIM imaging は組織の water diffusion に加えて perfusion の差も反映されるものと思われる。今回我々の用いた pulse sequence では、 $b=270 \text{ s/mm}^2$ と比較的強い motion probing gradient を付加しているため、perfusion よりも diffusion の影響を大きく受けて、信号強度の低下が起こると考えられ、中等度の diffusion weighted image が得られるものと思われる。Le Bihan らの仮定によれば、perfusion weighted image は、小さな motion probing gradient を使用すれば得られるはずである。しかし、IVIM 法による perfusion の検出は、SE 法による信号のうち capillary 内の flowing blood よりの信号がまず失われるという原理に基づいており、きわめてわずかな信号の変化から情報を導き出さねばならない。従って、MR 画像の S/N を考えると、さらに種々の motion の影響もあり、IVIM 法による精度の高い perfusion の計測は、diffusion の計測ほど容易ではない。今後、IVIM 法による perfusion 計測の可能性についても更に検討して行きたい。

ま と め

- (1) 骨軟部腫瘍 16 例に対し, diffusion weighted image を, 従来の T_1 及び T_2 強調像や Gd-DTPA 造影像と共に施行した。
- (2) 嚢胞性病変では, 嚢胞部分の diffusion が反映され, 嚢胞内容液の定量的性状評価が可能と思われた。
- (3) 充実性腫瘍では, diffusion weighted image は, T_2 強調像, Gd-DTPA 造影像とは必ずしも一致せず, 異なる情報が反映されている可能性が示唆された。
- (4) IVIM imaging により, 従来の MR 画像では得られない組織性状の情報が得られ, 臨床的有用性が高いと考えられた。

なお, 本論文の要旨は第 15 回日本磁気共鳴医学会大会 (平成 2 年 2 月, 岐阜) において発表した。

文 献

- 1) D. Le Bihan, E. Breton, D. Lallemand, et al. : MR imaging of intravoxel incoherent motions : Application to diffusion and perfusion in neurological disorders. *Radiology*, 161 : 401-407, 1986
- 2) D. Le Bihan, E. Breton, D. Lallemand, et al. : Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR imaging. *Radiology*, 168 : 497-505, 1988
- 3) 佐久間肇, 玉川洋一, 木村浩彦, 他 : 2T 小ボア径超電導実験用 MR による intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging の検討. *日医放誌*, 49 : 941-943, 1989

Intravoxel Incoherent Motion Imaging of Bone and Soft Tissue Tumors

Tomoyasu TAGAMI¹, Hajime SAKUMA¹, Youichi TAMAGAWA²,
Tetsuji TSUKAMOTO³, Yoshiyuki NOMURA¹, Kan TAKEDA¹,
Yasutomi KINOSADA¹, Tsuyoshi NAKAGAWA¹, Hirohiko KIMURA²,
Yasushi ISHII², Eiji YOSHITOME³,

¹*Department of Radiology, Mie University School of Medicine, 2-174, Edobashi, Tsu, Mie 514*

²*Department of Radiology, Fukui Medical School, ³Yokogawa Medical Systems*

This investigation was undertaken to evaluate IVIM imaging for tissue characterization of the bone and soft tissue tumors in comparison with conventional MR and Gd-DTPA enhancement images.

Sixteen patients with bone and soft tissue tumors (cystic : 3, solid : 12, mixed : 1) were studied. IVIM imaging was performed by 1.5 T Signa system and the diffusion weighted images were obtained (b value=270s/mm²). For quantitative analysis, apparent diffusion coefficient (ADC) was also calculated for individual tumor. Cystic tumors showed homogeneous signal attenuation according to the degree of diffusion of the fluid on diffusion weighted images. Mean value of ADC of abscess was considerably lower than other serous cysts. In solid tumors, inhomogeneous signal attenuation was visualized on diffusion weighted images, reflecting intratumoral inhomogeneity of diffusion and perfusion. These findings did not always coincide with those of Gd-DTPA enhancement study. ADC of solid tumors tended to be lower than cystic tumors.

IVIM imaging may be useful for tissue characterization of bone and soft tissue tumors.