

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 2T小ボア径超電導実験用MRによるIntravoxel Incoherent Motion(IVIM)Imagingの検討                       |
| Author(s)    | 佐久間, 肇; 玉川, 洋一; 木村, 浩彦 他  |
| Citation     | 日本医学放射線学会雑誌. 1989, 49(7), p. 941-943  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/17635">https://hdl.handle.net/11094/17635</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

研究速報

## 2T 小ボア径超電導実験用 MR による intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging の検討

福井医科大学放射線科

佐久間 肇 玉川 洋一 木村 浩彦 林 信成  
中津川重一 小鳥 輝男 石井 靖

（平成元年 4 月 18 日受付）

（平成元年 5 月 19 日最終原稿受付）

### Intravoxel Incoherent Motion (IVIM) Imaging Using an Experimental MR Unit with Small Bore

Hajime Sakuma, Youichi Tamagawa, Hirohiko Kimura, Nobushige Hayashi,  
Shigekazu Nakatsugawa, Teruo Odori and Yasushi Ishii  
Department of Radiology, Fukui Medical School

---

Research Code No. : 501.9

---

Key Words : MRI, Diffusion, Perfusion, Blood flow

---

IVIM images were constructed from a pair of spin echo (SE) sequences on a 2T MR unit with small bore. In the current study, two types of SE were used: the standard SE and the other sensitized to microscopic incoherent motion by adding motion probing gradient on either side of 180° pulse. IVIM images of water and acetone phantoms were generated, and the diffusion coefficients obtained from these materials were consistent with the literature values. IVIM images of implanted human tumor in nude mouse showed relatively high apparent diffusion coefficient ( $2.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sec}$ ). However, in the sacrificed mouse, diffusion coefficient in the tumor was markedly decreased ( $0.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sec}$ ), which suggested the considerable contribution of perfusion to ADC.

In conclusion, IVIM imaging was thought to be highly valuable because it can provide functional information about tumor perfusion.

#### はじめに

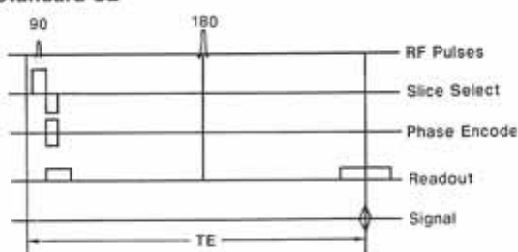
磁場勾配法による self diffusion の計測は in vitro においてはかなり古くから行われている<sup>1)2)</sup>。近年、この原理を spin echo (SE) imaging に応用した、intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging と呼ばれる方法が Le Bihan らによって提案され、注目されている<sup>3)~6)</sup>。IVIM による計測値 (apparent diffusion coefficient, ADC) は water diffusion ばかりでなく perfusion の影響を大きく反映し、従来の MRI では検出で

きない新たな情報をもたらすものと期待されている。我々は実験用 MR を用いて小動物腫瘍の imaging を行い、IVIM image が腫瘍内 perfusion の評価に有用と思われたので報告する。

#### 方 法

使用した装置は大塚電子社製 BEM 250/80型超電導 MR (ボア径30cm, 2T) で、撮像にあたっては通常の SE 法と motion probing gradient pulse を加えた SE 法を 1 組として用いた (Fig. 1)。撮像条件は、繰り返し時間 (TR) 2sec, エコー時間

## Standard SE



## SE with Unipolar Motion Probing Gradient

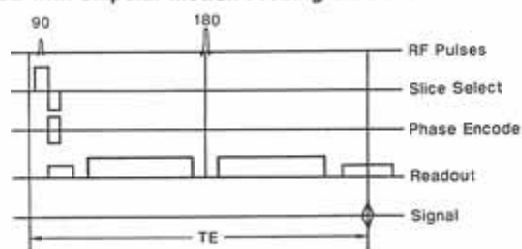
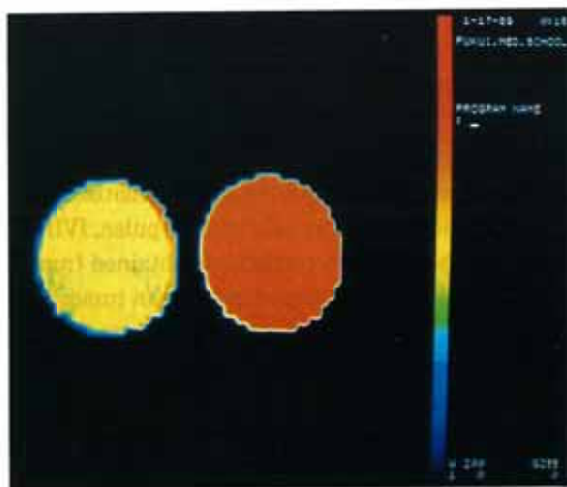


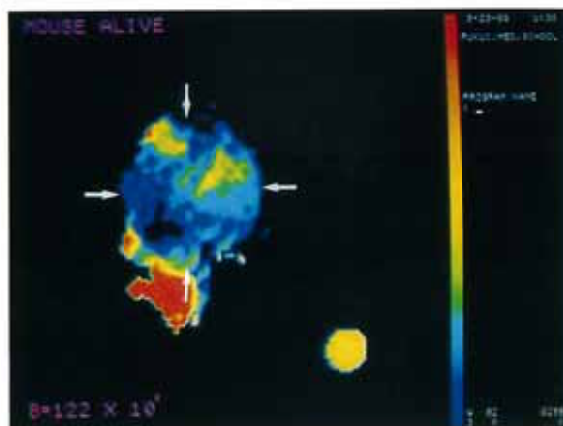
Fig. 1 Pulse sequences used in this study.

Fig. 2 Diffusion image of water phantom (left) and acetone phantom (right). Maximum value of the color scale was set at  $5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ .

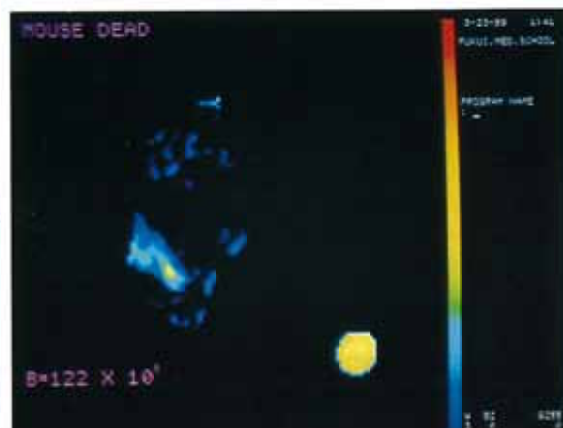
(TE)100msec, 積算回数 2 回でスキャンマトリクスは  $128 \times 128$  とした。

SE 法及び motion probing gradient pulse を加えた SE 法によるエコーの信号強度はそれぞれ、次の(1), (2)式で示される。

$$S_0 = S(0) \cdot \exp(-b_0 \cdot D) \cdot \exp(-TE/T_2) \quad (1)$$



a



b

Fig. 3 Diffusion images of human AOI tumor (arrows) implanted in a nude mouse leg. Images were taken before (a) and immediately after (b) the mouse was sacrificed.

$$S_1 = S(0) \cdot \exp(-b_1 \cdot D) \cdot \exp(-TE/T_2) \quad (2)$$

$\exp(-TE/T_2)$  は  $T_2$  緩和による信号の減衰率,  $\exp(-b \cdot D)$  は diffusion による信号の減衰率で,  $D$  は diffusion coefficient,  $b$  は使用する gradient pulse により定まる constant gradient factor である。(1), (2)式から diffusion coefficient( $D$ )は次の通り求められる。

$$D = \log(S_0/S_1)/(b_1 - b_0) \quad (3)$$

画像データは東芝製 GMS-55A 型核医学データ処理装置へ転送され(3)式に基づいて IVIM image が

作成された。表示に際しては $5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ を最大値とするカラースケールが用いられた。

撮像対象としては、水およびアセトン入りのファントム、nude mouse 大腿に移植した人肺腺癌 (AOI 株) を用いた。nude mouse では、まず perfusion を含んだ ADC image を撮像し、続いて過量の麻酔薬による殺処置を行い、その直後に diffusion のみの image を収集した。これら 2 つの image から Le Bihan の理論式<sup>5)</sup>：

$$\text{ADC} = D + f/b$$

に基づき、腫瘍内の capillary density (f) を算出した。

### 結 果

Fig. 2 に水 (左)、アセトン (右) のファントムの IVIM image を示す。水及びアセトンの diffusion coefficient の室温における計測値はそれぞれ  $2.4 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ 、 $4.5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$  で文献上の値とほぼ一致した<sup>5)</sup>。

次に nude mouse 腫瘍部の殺処置前の ADC image (Fig. 3a) 及びその直後の diffusion image (Fig. 3b) を示す。殺処置前の腫瘍内 (矢印) には  $2 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$  程度の比較的高い ADC を示す部分が不均一に分布していた。一方、殺処置後の腫瘍内の diffusion coefficient は  $0.5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$  以下と低値を示した。2 つの image から求められた腫瘍内の capillary density は最大 20% 程度の値を示した。

### 考 案

intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging は、phase shift を利用した slow flow の測定法では検出できない 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検出するものである<sup>3)~5)</sup>。今回の検討では、nude mouse 腫瘍内に  $2.0 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$  程度のかかなり高い ADC を示す部分が認められた。一般に生体組織内における水の diffusion はかなり制限された状態にあり<sup>7)</sup>、我々の検討でも殺処置直後の腫瘍内の diffusion coefficient は  $0.5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$  以下と低い値を示した。このことから腫瘍内の高い ADC

は perfusion の成分によるものと思われた。ところで、ADC は diffusion と perfusion の成分を含む単なる計測値であり、その値自体は生理的意味を持たない。Le Bihan は ADC に対する perfusion の影響を理論的に解析し、capillary density と呼ばれる概念を導入した<sup>5)</sup>。capillary density は解剖学的な毛細血管の分布密度と必ずしも同義ではないが、今回撮像した腫瘍内では最大 20% 近い値を示した。

このように IVIM imaging は従来の MRI では得られない腫瘍内 perfusion に関する情報をもたらし、極めて有用と思われた。しかし本法には (1) motion artifacts の影響を受けやすい、(2) motion probing pulse の付加方向によって計測値が一定しない、(3) T2 の短い部位の imaging が困難、(4) capillary density の計測には motion probing pulse を何度か変化させて imaging を行う必要がある、など解決すべき問題も多く、今後さらに検討を加えてゆく予定である。

### References

- 1) Carr HY, Purcell EM: Effect of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments. *Phys Rev* 94: 630-638, 1954
- 2) Stejskal EO, Tanner JE: Spin diffusion measurements: Spin echoes in the presence of a time-dependent field gradient. *J Chem Phys* 42: 288-292, 1965
- 3) Ahn CB, Lee SY, Nalcioglu O, et al: An improved nuclear magnetic resonance diffusion coefficient imaging method using an optimized pulse sequence. *Med Phys* 13: 789-793, 1986
- 4) Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al: MR imaging of intravoxel incoherent motions: Application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology* 161: 401-407, 1986
- 5) Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al: Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR imaging. *Radiology* 168: 497-505, 1988
- 6) Le Bihan D: Intravoxel incoherent motion imaging using steady-state free precession. *Magn Reson Med* 7: 346-351, 1988
- 7) Beall PT, Amtey SR, Kasturi SR: Data handbook for biomedical applications. Pergamon Press, New York, 1984, p1-10