

# 超偏極 $^{129}\text{Xe}$ を用いた *in vivo* MRI 研究 —マウス肺での機能画像取得の試み—[大会長賞記録]

上山 毅, 若山 哲也, 木村 敦臣, 藤原 英明

大阪大学大学院医学系研究科保健学専攻

## はじめに

従来の超偏極希ガスをを用いた肺の MRI では、回復不可能な超偏極磁化を low flip angle で少しずつ励起して k 空間データを取り込む FLASH や back projection による方法が主流である<sup>1)</sup>。しかし、これらの low flip angle を用いる方法では画像の信号強度がスピン密度に比例しないため、肺内における超偏極希ガスの動態を定量的に観察することは困難である。そこで本研究では従来法とは全く別のアプローチである飽和回復法を利用して、より定量的な肺機能評価を目指す。

## 対象および方法

雄性 ddY マウス (体重 35~40 g) にネブタール (40 mg/kg) の腹腔内投与により麻酔をしたあと、頭部にマスクを装着した。このマスクを通して自作の超偏極ガス生成装置から送られたキセノンガスを一定量で流し自発呼吸により供給した。

MRS・MRI 測定は、9.4T の NMR スペクトロメータ (Varian unity INOVA) を用いて行った。

Pre-saturation パルスによって特定のスライス内の磁化をいったん消去させた後、超偏極磁化が回復不可能である特徴を利用し、本研究では、そのスライス内に新たに流入する磁化のみ

を観測した。使用したパルスシーケンスは標準的な飽和回復法 (saturation recovery 法: SR 法) と、Look-Locker 法<sup>2),3)</sup> を基に応用した (Look-Locker based saturation recovery 法: LL-SR 法) である。SR 法では、観測パルスの flip angle は  $90^\circ$  とし、saturation パルス後の回復時間  $\Delta$  を変化させることで複数のスペクトルを取得した。また、一連のスペクトルを高速に取得できる LL-SR 法を用いて同様の測定を行い SR 法と解析結果を比較した。

さらに LL-SR 法を発展させ、位相エンコード傾斜磁場、また読み取り傾斜磁場を加えてイメージングを行い、一連の画像から肺換気能マップを得た。

## 結 果

### 1. SR 法によるスペクトル測定

Pre-saturation から観測パルス間での回復時間  $\Delta$  に対してスペクトルの信号強度をプロットしたところ、 $\Delta$  の増加に伴い信号強度が指数関数的に増加した。また、このプロットを単一の指数関数で近似したところ、その時定数 ( $\tau$ ) は  $1.15 \pm 0.16$  秒であった。

### 2. LL-SR 法によるスペクトル測定

SR 法と同様、スペクトルの信号強度は指数関数的に増加し、単一指数関数で近似したところ、その近似曲線の時定数 ( $\tau$ ) は  $1.33 \pm 0.16$  秒となり、SR 法と比べやや大きな値となっ

キーワード hyperpolarized,  $^{129}\text{Xe}$ , lung, gas exchange

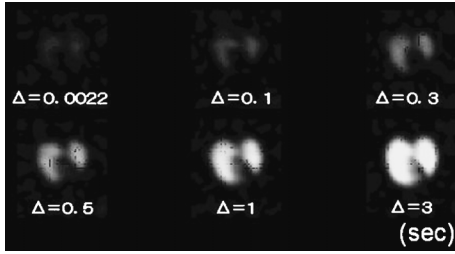


Fig. 1. Hyperpolarized  $^{129}\text{Xe}$  gas images of the mouse lung using the LL-SR sequence. The larger recovery time yields the higher image intensity, primary due to inflow of fresh  $^{129}\text{Xe}$  spins during the recovery time.

た。また測定時間は SR 法に比べ 1/6 に短縮した。

### 3. LL-SR 法によるイメージング測定

Fig. 1 にイメージング測定で得られた画像を示す。LL-SR 法によるスペクトル測定結果から見られる信号の回復曲線と同様に、画像強度が増加していく様子を撮像することができた。得られた一連の画像データをもとに、信号強度の変化をピクセルごとにスペクトル測定の解析と同様に単一指数関数で近似し、ピクセルごとの時定数 ( $\tau$ ) を計算し、そのマップを作成した。

### 考 察

LL-SR 法は SR 法に比べ、時定数 ( $\tau$ ) が大きくなることがわかった。この差はパルスシーケンスの性質上の問題であるが、高速化を目指す上では有用な方法であると考えられる。

SR 法、LL-SR 法ともに、信号の回復の過程は pre-saturation パルスによって脱偏極したキ

セノンガスが新たにスライス内に流入する新鮮な超偏極キセノンガスで置き換わる様子を示していると考えられる。つまり、スペクトル測定の解析結果より得られる指数関数型の近似曲線から導出した時定数 ( $\tau$ ) はスライス内でのガス交換の速度を示していると考えられる。また信号強度の回復には限界があり、 $\Delta$  を十分長くとると信号強度がプラトーに達する。ここでプラトーに達した時の信号強度はスライス内の肺胞容積を反映した値であると考えられる。

### 結 語

Pre-saturation パルスを用いたスペクトル測定から、特定のスライスでのガス交換速度を反映するパラメータ  $\tau$  を求めることができた。また、イメージング測定から、ピクセルごとの  $\tau$  値を計算し、 $\tau$  マップを作成した。この  $\tau$  マップは局所的な換気能などの肺機能を描出していると考えられ、今後のさらに詳細な研究により、その有用性が明らかになると期待できる。

### 文 献

- 1) Albert MS, Cates GD, Driehuys B, Happer W, Saam B, Springer CS Jr, Wishnia A. Biological magnetic resonance imaging using laser-polarized  $^{129}\text{Xe}$ . *Nature* 1994 ; 370 : 199–201
- 2) Look DC, Locker DR : Time saving in measurements of NMR and EPR relaxation times. *Rev Sci Instrum* 1970 ; 41 : 250–251
- 3) Gunnar B, Lothar RS, Michael D, Walter JL : Fast and precise T1 imaging using a tomrop sequence. *Magn Reson Imaging* 1990 ; 8 : 351–356

## **Evaluating Gas Exchange in the Mouse Lung Using Hyperpolarized $^{129}\text{Xe}$ MRI [Presidential Award Proceedings]**

Tsuyoshi UHEYAMA, Tetsuya WAKAYAMA, Atsuomi KIMURA,  
Hideaki FUJIWARA

*Department of Medical Physics and Engineering, Division of Health Sciences,  
Graduate School of Medicine, Osaka University  
1-7, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871*

FLASH and back projection are the prevailing methods to obtain lung images in hyperpolarized (HP) gas magnetic resonance (MR) imaging. However, because image intensity is not linearly proportional to spin density, these conventional methods that use low flip angle have difficulty quantifying the physiological parameters of lungs with regard to gas dynamics, such as regional ventilation volume and gas exchange rate. Our aim was to evaluate gas exchange in the mouse lung using HP  $^{129}\text{Xe}$  MR imaging. In this study, Look-Locker-based saturation recovery (LL-SR) sequence was applied to HP gas MR imaging. From LL-SR measurement, the time constant of the apparent mono-exponential recovery was calculated pixel by pixel. The approach presented here would be useful to evaluate regional gas exchange phenomena.