

■ Oxygen-enhanced MRI

- 酸素吸入で生じる T1 短縮を利用
- IR-TSE, IR-HASTE など
- 非再換気型のマスクを用いる
- relative enhancement ratio の画像を作る

■ シーケンス

撮像機種：1.5T Gyroscan Intera T-15 (Philips Medical Systems)

撮像法：呼吸同期 2D centrally-reordered Inversion-recovery HASTE 法

TR 3200 ~ 5000ms/TE 4ms/TI 900ms/ ETL 132, 256 × 256 matrix, 512 × 512 reconstruction matrix, section thickness 10mm

(神戸大学等, 多くの臨床応用に成功した施設で現在使用している撮像parameter)

一般に oxygen-enhanced MRI は inter-echo spacing を 4.0~4.2ms の間に維持をした inversion recovery (IR) turbo spin-echo, inversion recovery half-Fourier turbo spin-echo (HASTE) 法などの spin-echo 系列および TrueFISP や FLASH 法などの Gradient-echo 法を使用しての画像化が試みられているが, inversion-recovery HASTE 法を用いた報告が多い。一般には sequentially-reordered HASTE 法を使用しているが, centrally-reordered HASTE 法のほうが肺野からの信号を取得しやすいので我々は centrally-reordered HASTE 法を開発した以降は後者を使用して画像化を行っている¹⁾。また, 一般に撮像法には心電同期 inversion-recovery HASTE 法と呼吸同期 inversion-recovery HASTE 法があげられるが, 呼吸による位置ずれのほうが心臓による pulsation artifact よりも制御しにくいこと, また, 画像化の後処理の都合上我々は呼吸同期 inversion-recovery HASTE 法を使用している。

1) Ohno Y, Hatabu H, Higashino T, et al. Centrally Reordered Inversion Recovery half-Fourier Single-shot Turbo Spin-echo Sequence: Improvement of the Image Quality of Oxygen-enhanced MRI. Eur J Radiol. 200-205, 52, 2004.

■ 非再換気型のマスク

oxygen-enhanced MRI においては 100% 酸素を非再換気型のマスク(図 1)にて 5 ~ 15L/min の 100% 酸素を被検者に吸入させ, 吸入前後における画像の差分画像(図 2)によって画像化するか, 吸入前後における T1 値の変化あるいは相対的信号強度変化率(relative enhancement ratio)を画素ごとに計算することによって画像化しているが, 一般的には後者が用いられる場合が多い(図 3, 4)。非再換気型マスクと通常のマスクとの間では肺内の酸素濃度を前者が 60 ~ 80% に高めることができるのに対して, 後者は 30 ~ 40% 前後にしか上昇させられないことが麻酔科領域では知られているので, 可能な限り非再換気型マスクを使用したほうがよい。非再換気型マスクは院内救急部や麻酔科あるいは呼吸器病棟に常備されており, 業者からも容易に手に入れることができる。

一方、画像化のためのソフトやワークステーションに関してであるが、現在市販されているソフトやワークステーションで T1 値の変化や relative enhancement ratio を酸素投与前後の信号強度を平均化し、pulsation artifact や motion artifact を補正したうえで画素ごとに計算できるものは残念ながらない。現在世界中で使用されているソフトは研究目的で独自に作成されたものである。したがって、簡便に oxygen-enhanced MRI を得るには差分画像法を用いればよいが、本法では pulsation artifact や motion artifact による paradoxical enhancement の影響を受けることが知られているため、あまり推奨はできない。現在我々は市販用の解析ソフトを開発中であるため、今後の開発の進捗状況に期待していただきたい。

図1 oxygen-enhanced MRI に用いる非再換気型酸素マスク

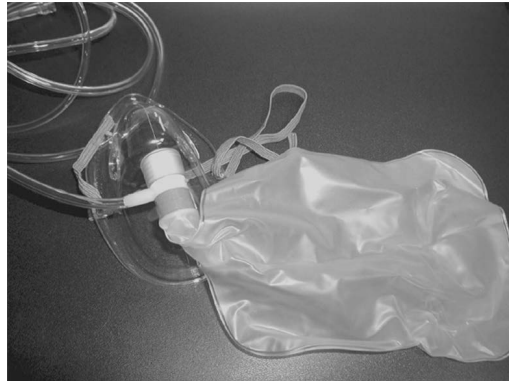
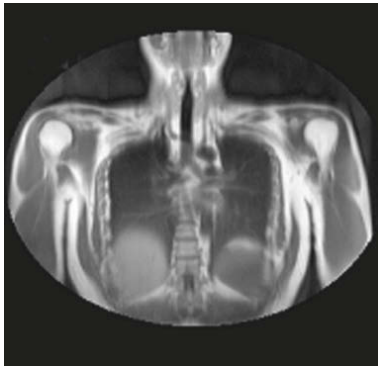
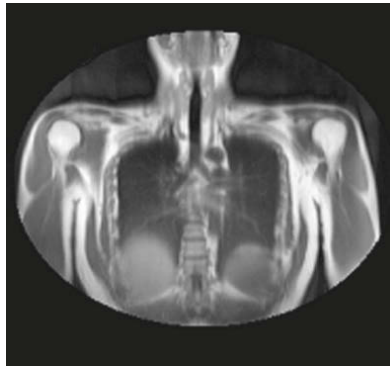


図2 正常被検者における oxygen-enhanced MRI



a 酸素投与前



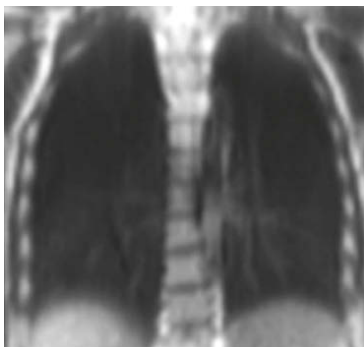
b 酸素投与後



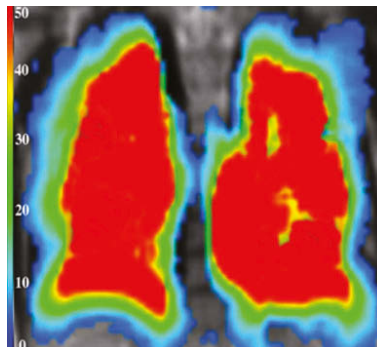
c 酸素投与前後での差分画像

差分画像において主要な肺血管以外の肺野が均一に造影されている。

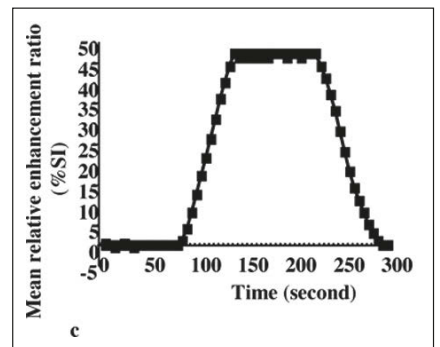
図3



a 正常被検者の oxygen-enhanced MRI 原画像



b relative enhancement map

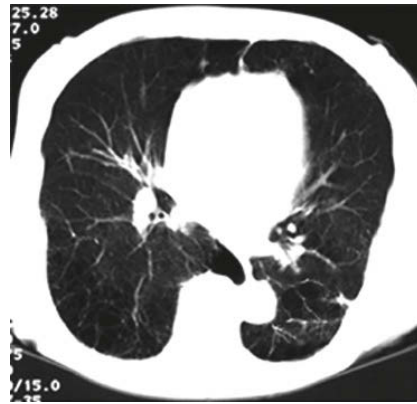


c 酸素投与における時間一相対的信号強度変化曲線

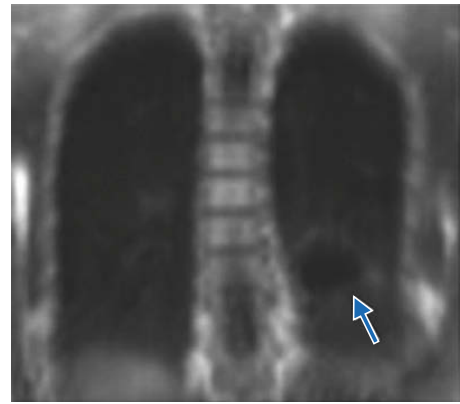
oxygen-enhanced MRI における Relative enhancement map において両側肺はほぼ均一に良く造影されている。

(文献 3 より転載)

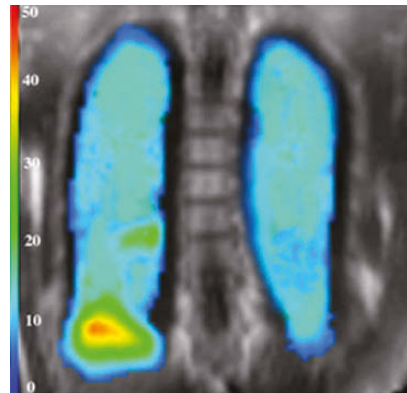
図4



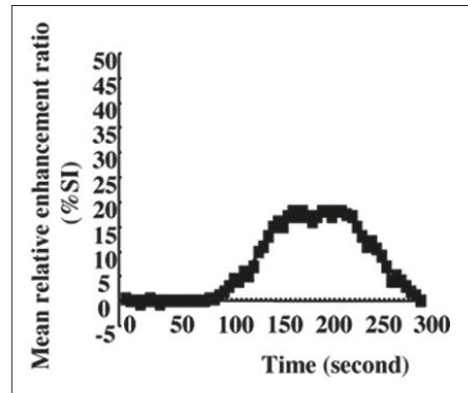
a 肺気腫患者における thin-section CT



b oxygen-enhanced MRI 原画像



c relative enhancement map



d 酸素投与における時間-相対的信号強度変化曲線

- 2) Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, Adachi S, Van Cauteren M, Sugimura K: Oxygen-enhanced MR ventilation imaging of the lung: preliminary clinical experience in 25 subjects. *AJR*, 177: 185-194, 2001.
- 3) Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, Van Cauteren M, Fujii M, Sugimura K: Dynamic oxygen-enhanced MRI reflects diffusing capacity of the lung. *Magn Reson Med*, 47: 1139-1144, 2002.
- 4) Ohno Y, Hatabu H, Higashino T, et al: Oxygen-enhanced MR imaging: correlation with postsurgical lung function in patients with lung cancer. *Radiology*, 236: 704-711, 2005.
- 5) Ohno Y, Nishio M, Koyama H, et al: Oxygen-enhanced MRI, thin-section MDCT, and perfusion SPECT/CT: comparison of clinical implications to patient care for lung volume reduction surgery. *AJR Am J Roentgenol*, 199: 794-802, 2012.
- 6) Ohno Y, Koyama H, Matsumoto K, et al: Oxygen-enhanced MRI vs. quantitatively assessed thin-section CT: pulmonary functional loss assessment and clinical stage classification of asthmatics. *Eur J Radiol*, 77: 85-91, 2011.

thin-section CT において両側肺には肺気腫が認められているが、oxygen-enhanced MRI における relative enhancement map において両側肺は不均一に造影され、相対的信号強度上昇率も低下している。

意義と臨床応用

- oxygen-enhanced MRI における信号強度変化は局所換気能のみならず、拡散能に影響される。
- 臨床応用の試みとしては以下の疾患への応用が報告されている。
 - ① 肺血栓・塞栓症や肺癌における換気シンチグラフィの代用
 - ② 間質性肺炎, cystic fibrosis や肺気腫における局所肺機能解析
 - ③ 肺癌の術後肺機能予測⁴⁾
 - ④ 肺容積減少手術の治療効果判定⁵⁾
 - ⑤ 喘息患者の重症度評価⁶⁾

oxygen-enhanced MRI の臨床的意義は現在確立していない。上記のように肺血栓・塞栓症や肺癌における換気シンチグラフィの代用として局所換気能を評価し²⁾、造影あるいは非造影 perfusion MRI と対比して換気・血流ミスマッチなどの評価を行うことを目的とするか、間質性肺炎, cystic fibrosis や肺気腫における局所肺機能を解析し³⁾、現在解明が進んでいない肺疾患における局所肺病態生理解析を行うことを目的として研究は進められており、肺癌の術後肺機能予測⁴⁾、肺容積減少手術の治療効果判定⁵⁾、喘息患者の重症度評価⁶⁾などにおける臨床的有用性も示唆されており、さらなる臨床研究によって今後確立していくことになると思われる。