

## The 37th Diagnostic Imaging Seminar

### 肺癌および縦隔腫瘍の診断における MRI の役割

那須克宏<sup>1</sup>

#### The Role of MRI in the Diagnosis of the Lung Cancers and Mediastinal Tumors

Katsuhiro Nasu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Medicine, Department of Radiology, Tsukuba University, Japan.

**ABSTRACT** — The clinical indications of MRI for neoplastic lesions in the chest are limited at the current time; however, when MR examinations are performed with appropriate sequences and, for appropriate purposes, they can play an important role in the clinical scenario. In particular, current technical progress enables us to obtain various information concerning the living body without any invasive procedures. Additionally, whole body MRI and lymph node-specific contrast materials will be introduced in the diagnosis of lung cancer in the developed countries except for Japan. Unfortunately, we cannot access these 2 novel technical developments because of the problems in the medical systems in Japan.

(JLCC. 2012;52:326-335)

**KEY WORDS** — MRI, Lung cancer, Mediastinal tumor

Reprints: Katsuhiro Nasu, Faculty of Medicine, Department of Radiology, Tsukuba University, 1-1-1 Tendoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8575, Japan (e-mail: kanasu-u3@md.tsukuba.ac.jp).

**要旨** — 肺癌などの胸部腫瘍性病変に対する MRI の適応は限られているが、適切な撮像シーケンスを適切な目的のために使用すれば有用性は高い。特に昨今の MRI の技術的進歩により従来では考えられなかった生体情報を非侵襲的に得ることが可能になっている。さらに今後、

日本以外の先進国では全身 MRI やリンパ節特異性造影剤などが肺癌診療にも大々的に導入されると思われるが、残念ながら日本においては医療のシステム上の諸問題からこれらの新技術が導入される可能性は低い。

**索引用語** — MRI, 肺癌, 縦隔腫瘍

#### 1. はじめに

そもそも胸部腫瘍性病変に MRI が果たすべき役割は何なのであろうか？ 胸部腫瘍性病変の診断に最も有用なモダリティが CT であることは誰の目にも明らかであろう。胸部は腹部と異なり、解剖が安定しており、かつ肺は空気という天然の陰性造影剤で満たされている。MRI の最大の持ち味である、“高いコントラスト分解能”がなくても解剖の把握、病変の検出が容易であることが多い。またかつては MRI の優位性と考えられてきた“任意の撮影断面の取得”も multi-row detector CT (MDCT) の登場と multi-planar reconstruction (MP) 機能を搭載し

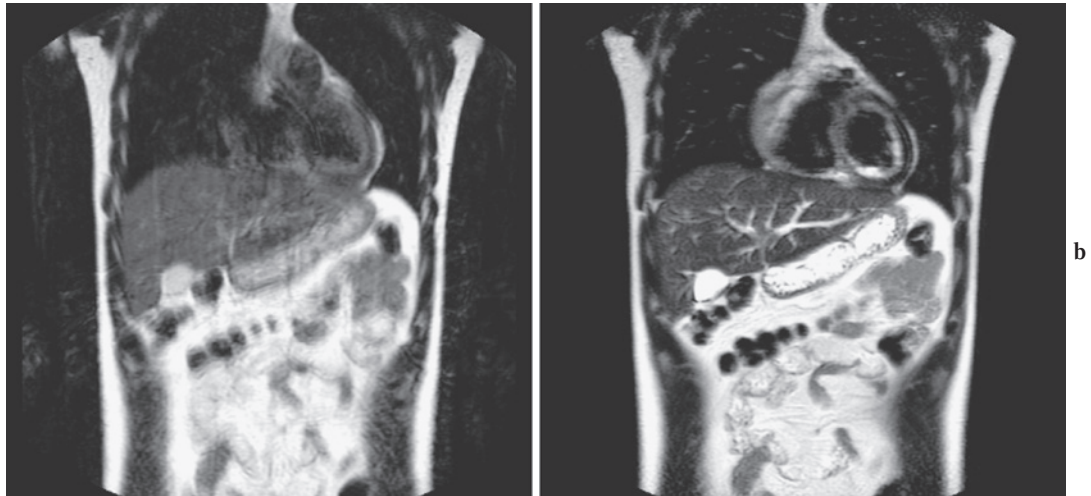
た読影ビューワーの普及により CT でも同様のことが可能になった。しかも単に同じことができるようになったわけではなく、対象の観察に最も有効な撮像断面を後処理で作成することが可能になっている。基本的に検査時に撮像断面を決定しなければいけない MRI に比べてどちらが使いやすいか、だれの目にも明らかである。

つまるところ MRI が胸部腫瘍性病変診断に果たすべき役割は現時点ではかなり限定的である。放射線診断学にさほど興味のない胸部の臨床医の中には“胸部腫瘍性病変の診断に MRI など不要”と内心考えている方もおられよう。正直なところ、筆者自身もその考えに一理あると思うが、一方 MRI の持つポテンシャルの高さを十分に

<sup>1</sup>筑波大学大学院医学分野放射線医学。

別刷請求先：那須克宏，筑波大学大学院医学分野放射線医学，

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1 (e-mail: kanasu-u3@md.tsukuba.ac.jp)。



**Figure 1.** a. T2-TSE image. b. T2-SSTSE image. Both a and b are the T2-weighted coronal images of the same healthy volunteer, obtained under free breathing; however, the image quality of these two is completely different. On a, the significant motion artifacts are observed. On the other hand, we can hardly point out any motion artifacts on b. The quality of the MR images of the chest in which physiological motions are prominent is strongly depended on the selected sequences.

生かすことができれば、胸部腫瘍性疾患の診断に十分貢献することは可能である。にも関わらず（筆者から見ると）適切な検査が行われていない施設が多いため、胸部領域のMRIの評価を下げていていると感じられることが多い。先進国の中で最も放射線科医の少ない日本においては仕方がないことであろうが、<sup>1</sup>であれば本来MRIの専門ではない胸部領域の臨床医がMRIの知識を持つのも無駄とはいえないであろう。本稿がその理解の一助になれば幸いである。

## II. 胸部腫瘍性病変に用いられるシーケンス

MRIのシーケンスの話は胸部領域を専門とする内科医・外科医にとってほとんど馴染みがないであろうが、この後の内容の理解を容易にするために、胸部腫瘍性病変の描出に有用な撮影方法について最小限の解説を行っておく。また日本においては常勤の放射線診断医がいなくても関わらずMRIが導入されている病院が多く、<sup>1,2</sup>そのような施設においてはルーチン撮影以上の検査が必要な場合に主治医が撮影方法を指示する必要がある。最低限のシーケンスに関する知識はそのような施設に勤務する胸部領域の臨床医にとって益するところも多いと考える。ここで紹介するのは主に縦隔腫瘍の精査に有用なシーケンスであるが、もちろん肺癌の診断やstagingにも用いることができる。

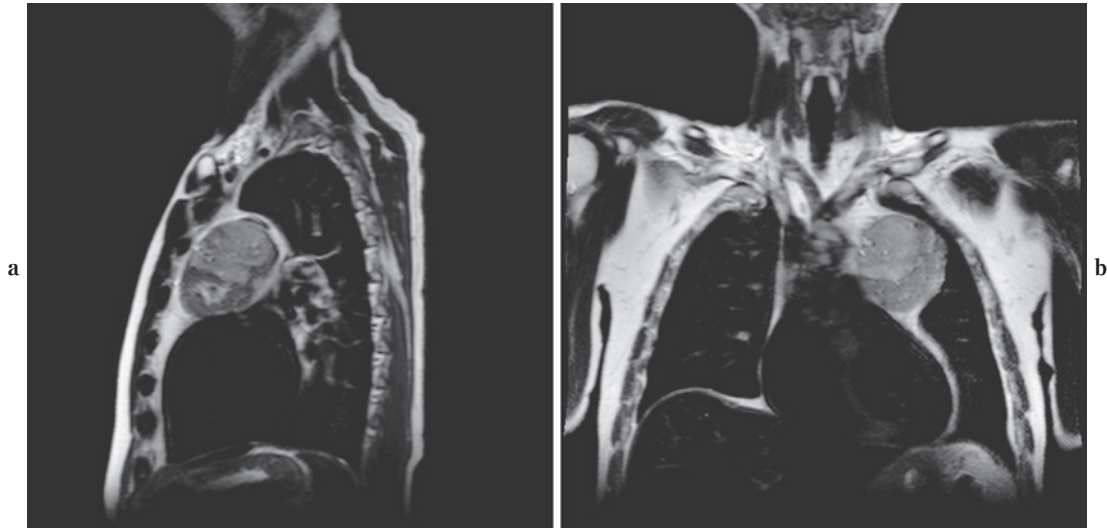
### 1) single shot turbo spin echo (SSTSE, SSFSE, HASTE も同義) による T2WI

MRIは動きに弱いというのは多くの臨床医にとって

固定観点であろう。それは確かに事実なのだが、ではなぜCTに比べてMRIは生理的動きにより画像が劣化するのであるのか？たとえばFigure 1で示したT2強調冠状断像はいずれも20スライスで20秒間で自由呼吸下に撮影したものである。Figure 1aがひどくぼけているのに対してFigure 1bは明瞭に撮影されている。これはFigure 1aが全てのスライスのデータを20秒間かけて同時に少しずつ取得しているために全ての画像が20秒間の生理的運動を含んでいるのに対して、Figure 1bにおいては1枚の画像作成に必要なデータを1秒で全て取得してから次の画像を撮影するようにしているという違いがあるためである。Figure 1aがturbo spin echo (TSE)法と呼ばれる最も一般的な撮影方法であるのに対して、Figure 1bはsingle shot turbo spin echo (SSTSE)法という。TSEで撮影された画像よりもコントラスト分解能が悪く、条件設定によっては構造の辺縁がぼけて見える。T2WIしか撮影できないといった問題点はあるものの、動きに強くかつ短時間での撮影が可能のため、胸部での撮影に非常に適した撮像方法である。検査の最初にSSTSEで矢状断・冠状断をあらかじめ撮影しておくことで、病変の存在部位や周囲との関係をおおよそ把握することが可能になり、そのあとの検査の効率が大幅に向上する (Figure 2)。

### 2) 脂肪抑制 T2 強調画像；周波数選択的脂肪抑制法 chemical shift selective fat suppression (CHESS) と short inversion recovery (STIR)

上述したようにSSTSEは胸部領域のMRI検査を行



**Figure 2.** T2-weighted sagittal (a) and coronal (b) SSTSE images of a 58-year-old male having a thymoma accompanying myasthenia gravis are shown. These two sequences should be obtained in the first place of the MR examination of the anterior mediastinal mass. Each of them can be acquired within a 20-second breath-holding. O<sub>2</sub> inhalation during the examination may make the breath-holding easier for aged patients.

うのにきわめて有用な方法なのだが、コントラスト分解能がやや悪く脂肪が高信号になりすぎるため、出血性の液体やタンパク濃度の高い液体が貯留していることが多い前縦隔の嚢胞性病変の診断に問題が生じることがある。そのため SSTSE に比べてモーションアーチファクトは出やすいが、TSE による脂肪抑制 T2WI も併用することをお勧めする。最も推奨されるべき方法は CHESSE 法（水と脂肪の共鳴周波数がわずかにずれていることを利用して脂肪の信号を選択的に抑制する方法）を併用した息止め撮影である（Figure 3）。ちなみにモーションアーチファクトは一方向にしか出現しないため、撮影条件を適切に設定してやれば観察したい構造にアーチファクトが重ならない画像を撮影するのは簡単である。

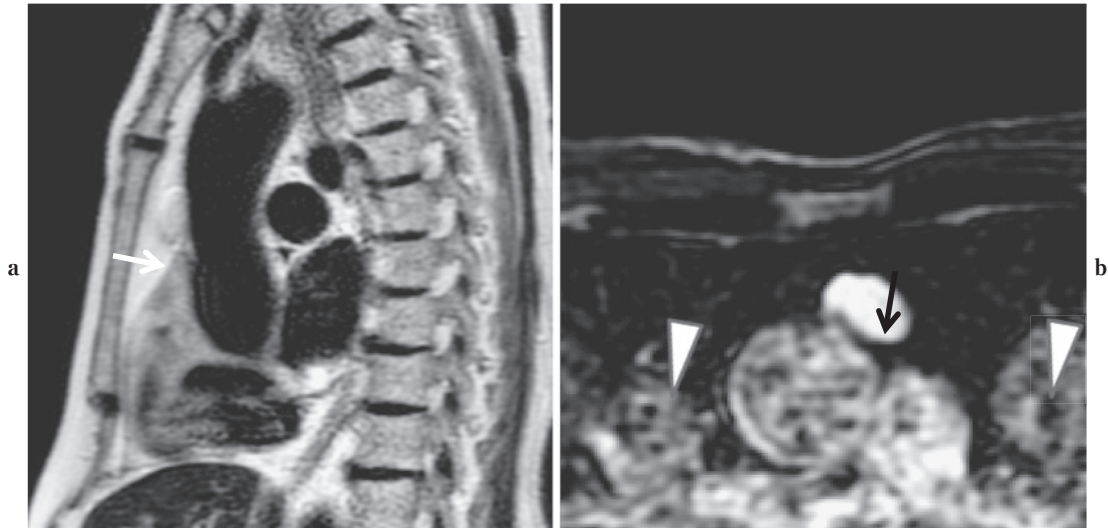
しかしこの方法は磁場不均一性に敏感で胸部領域では良好な画像が得られないことも多い。一方 STIR 法は脂肪の T1 緩和時間が水よりも短いことを利用した撮影方法で、磁場が不均一になりやすい胸部でも安定した脂肪抑制が得られる。ただし原理的に STIR 法では脂肪に類似した緩和時間を持った組織（具体的には出血やメラニン）も低信号化してしまい鑑別に問題が生じることがあること、<sup>3,4</sup> 原理的に息止め撮影が難しいことが欠点として挙がる。STIR については後述するように肺癌の拾い上げ診断や縦隔リンパ節（LN）転移診断への応用も報告されている。

### 3) fast field echo 法 (FFE, GRE や FLASH も同義) を用いた T1 強調位相差画像

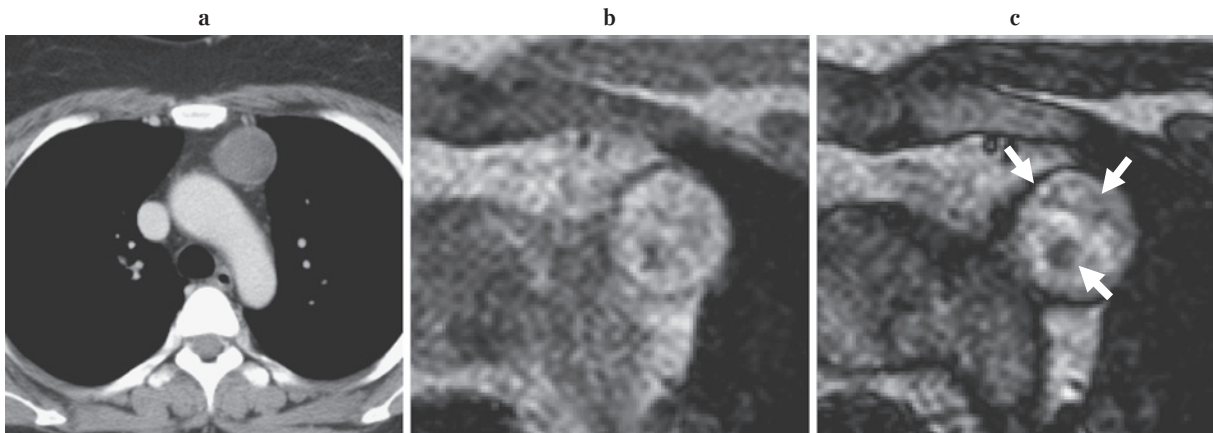
MRI で最も用いられる頻度が高い spin echo (SE) 法（上述した TSE や SSTSE もその仲間）では水と脂肪の共鳴周波数の違いが画像に現れにくいシーケンスデザインになっており、それが良好な画質を生む理由になっている。一方、あえて水と脂肪の共鳴周波数の違いが現れやすくした撮像方法もあり、それが FFE 法である。この方法を用いると水と脂肪の位相が逆位相になった画像 (opposed phase) と同位相 (in phase) になった画像を同時に撮影することができる。水と脂肪（細胞と脂肪といひ換えても良い）が入り混じった組織においては in phase での信号に比べて opposed phase における信号が明らかに低下する。<sup>5,6</sup> この方法は CT や上述した CHESSE や STIR といった脂肪抑制法よりも微量な脂肪を検出することができる。特に成熟奇形腫が鑑別に挙がるような症例においては欠くべからざる撮像方法である (Figure 4, 5)。<sup>7</sup>

### 4) 拡散強調画像 (diffusion weighted image ; DWI)

以前は頭部専用の画像と思われていた DWI は技術の進歩により躯幹部の画像診断にも広く用いることが可能になっている。DWI は造影剤を用いることなく細胞密度の高い組織を高信号に描出することが可能である<sup>8-10</sup> (Figure 6)。すなわち悪性腫瘍の検出にきわめて有用である。自由呼吸下でも十分な診断精度を持った画像が得られ、さらに自由呼吸下で薄く撮影した DWI の横断面



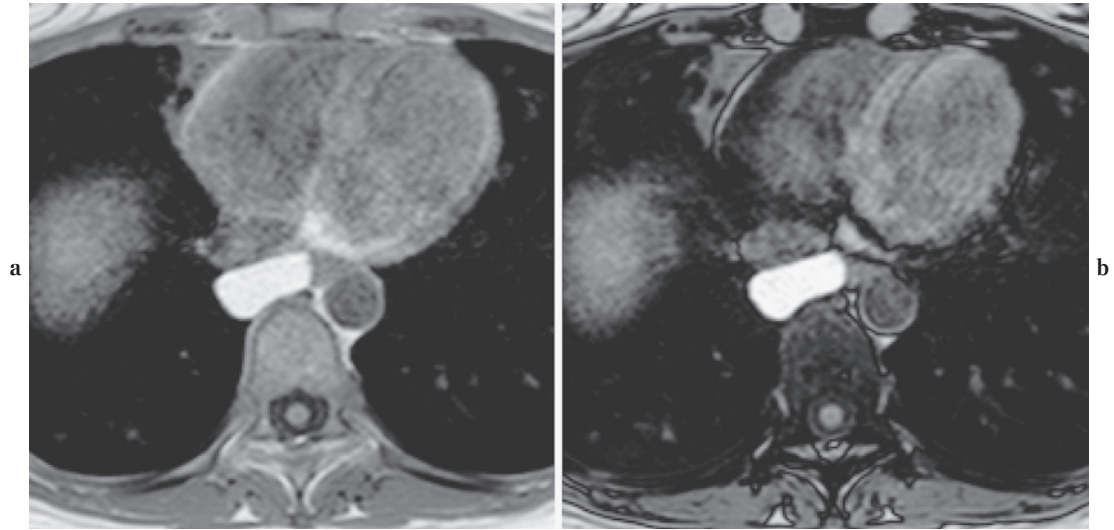
**Figure 3.** **a.** T2-SSTSE sagittal image. **b.** Fat suppressed T2-TSE axial image. A 65-year-old male having unilocular thymic cyst is shown (arrow). T2-SSTSE (**a**) shows tendency to depict the fat signal higher than conventional T2-TSE. Therefore, in some cases, it is often difficult to define whether the anterior mediastinal lesion is cystic or solid. On fat suppressed T2-weighted TSE (**b**), we can intuitively understand that this anterior mediastinal lesion is cystic even though motion artifacts due to cardiac pulsation is far more prominent on **b** than on **a**. Please pay notice that the direction of the pulsation artifacts is horizontal and do not overlap on the thymic cyst which must be clearly observed on this MR examination (arrowheads). Such careful imaging parameter setting may decrease the motion artifact problems in MR imaging of the chest.



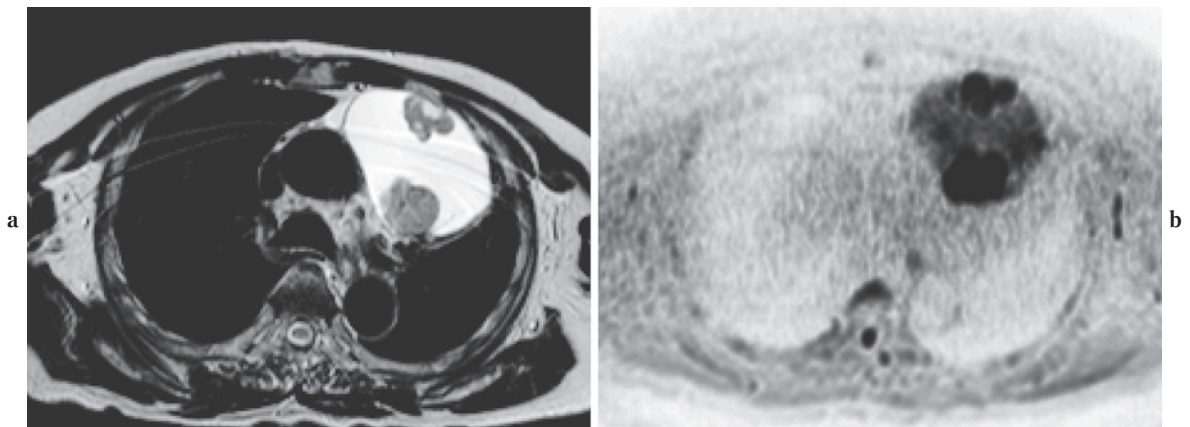
**Figure 4.** **a.** Contrast enhanced CT. **b.** T1-weighted in-phase fast field echo (FFE) axial image. **c.** T1-weighted opposed-phase FFE axial image. A 39-year-old female having mature teratoma of the anterior mediastinum, which was pointed out with elevation of CA19-9 as a trigger. On **a**, it was difficult to point out the fat deposition in the mass; however, we could easily pointed out the signal drop parts in the mass on **c** as comparison with **b** (arrows). This technique is the most sensitive non-invasive method to detect fat deposition in the tissues.

像をMPR再構成や3次元画像を作成するdiffusion weighted whole body imaging with background signal suppression (DWIBS)の手法も一般化している<sup>11</sup> (Figure 7). ただしDWIにおいては正常なリンパ節もその細胞密度の高さ故に高信号に描出されてしまうこと、FDG-

PETと同様に良性腫瘍であっても細胞密度が高ければ陽性所見として観察されることがあること、心臓の動きを補正する方法が未開発であり、そもそも縦隔や肺門のリンパ節の描出にはかなり難があることは認識しておく必要がある<sup>12</sup> (Figure 8).



**Figure 5.** **a.** T1-weighted in-phase FFE axial image. **b.** T1-weighted opposed-phase FFE axial image. A 40-year-old female having a posterior mediastinal mass which was accidentally found in the follow-up CT of bronchiectasis. This lesion showed high intensity on both **a** and **b** and does not show overt signal changes between these two sequences. According to these imaging findings, this lesion is now followed up as a non-neoplastic cystic lesion which was suspected as a foregut cyst.



**Figure 6.** **a.** T2-weighted TSE image. **b.** Diffusion weighted image (DWI, inverted contrast). A 71-year-old patient who had a multiple thymomas arisen in the thymic cyst. Two solid components in the anterior mediastinal cyst showed high intensity on **b**. Pathological examination revealed that the ventral solid part was type B1 thymoma and the dorsal solid part was type AB thymoma. DWI can depict the tissues with high cellularity as high signal intensity lesions without administration of the any contrast materials.

以上に述べた以外にも胸部MRIで用いられるシーケンスは多数存在する。しかし上述したシーケンスを適切に使用した胸部MRIが撮影されている施設は意外に少ない(放射線診断医の少なさを考えれば当然か)。逆にいえば上述したシーケンスが適切に用いられた胸部MRIが撮影されている施設においては本稿の今までの部分は読む必要はない。

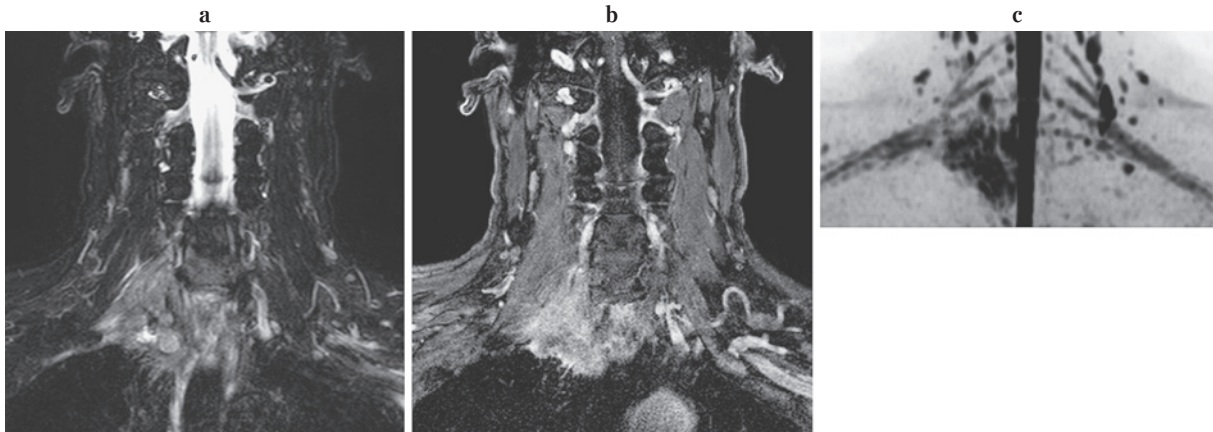
本稿の後半部分では上述したシーケンスをどのように

用いていくか、文献を紹介しつつ考えていく。

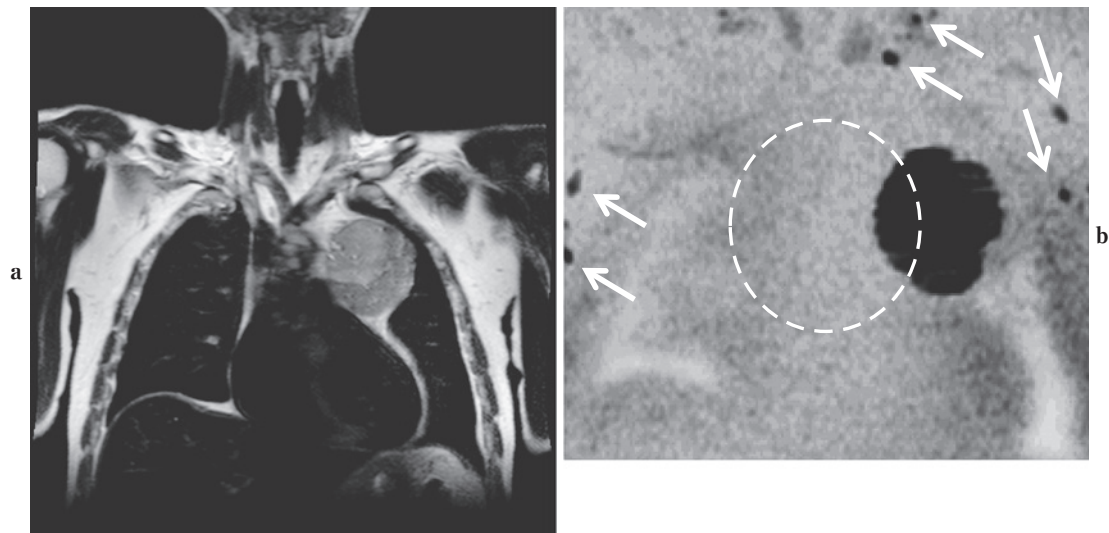
### III. 肺癌診断におけるMRIの役割

#### 1) 肺癌検出ツールとしてのMRI

空気に満たされた正常肺の中に発生する、肺癌という空気ではない異常構造を検出するという目的において、CTが有用であることは自明のことである。しかしながらMRIを肺癌検出に応用した報告もある。<sup>13</sup> Koyama



**Figure 7.** **a.** Short T1 inversion recovery (STIR) coronal image. **b.** Postcontrast fat suppressed T1-weighted coronal image. **c.** Diffusion weighted whole-body imaging with background body signal suppression (DWBIS, reconstructed 3D-image, inversion contrast). A 59-year-old male having a pancoast lung cancer of the right lung apex. **a** and **b** revealed that this tumor had already invaded the chest wall. In the clinical scenario, the direct invasion for the right brachial neural plexus was strongly suspected because the patient complained the irradiating pain in the right upper limb. **c** clearly depicted the tumor invasion for the right brachial neural plexus. On DWI, not only cancers but also normal tissues having high cellularity, such as neural tissue and normal lymph nodes, are depicted hyperintensely. High intensity spots shown in the both sides of the neck were the normal cervical lymph nodes.



**Figure 8.** **a.** T2-weighted SSTSE coronal image. **b.** Diffusion weighted coronal image (inverted contrast). A 58-year-old male having a thymoma in the anterior mediastinum. As shown on Figure 7c, normal lymph nodes are hyperintensely depicted on DWI. In this case, some small normal-sized lymph nodes were shown in the neck and bilateral axillae (arrows) on **b**, however, it was quite strange that **b** failed to depict any normal lymph nodes in the mediastinum (dotted circle). This phenomenon was due to the violent pulsation movement of the heart and pulmonary artery decrease the signal intensity of the mediastinal lymph nodes around themselves. Originally, DWI has high usefulness in the detection of lymph nodes, however, this is not applied in the chest.

らは pure BAC を含む肺癌 32 例に対して STIR を用いて全例を描出し得たとしている。また同じ論文で彼らは DWI においては pure BAC の検出率が悪く、これは

pure BAC における細胞密度の低さが起因していると報告している。しかし現在の MDCT であれば数分で終了する内容の検査を 20 分近くかけて行うのは合理的とは

いい難い。さらに検査にかかるコストや外科的切除の際に絶対に必要な解剖学的情報の取得が十分でないことを考慮した場合、被曝がないという利点があっても肺癌の検出にMRIをあえて使用する必然性は現在においてもほとんどない。さらに今後技術の進歩でCTにおける被曝が劇的に減少することが確実にあることを考慮した場合、将来においてもMRIが肺癌の拾い上げ診断の主役に躍り出る可能性も低い。

## 2) 肺癌の局所深達度診断ツールとしてのMRI

肺癌の局所深達度診断にMRIが貢献することは可能であろうか？ かつては胸壁浸潤の評価にMRIが有効と考えられた時期もあったが、最近のCTでの胸壁浸潤の診断成績は非常に良い。具体的にはUhrmeisterらによるHRCTを用いた報告では感度96%、特異度78%、<sup>14</sup> HigashinoらによるMDCTおよびMPR画像を用いた報告では感度86%、特異度96%<sup>15</sup>と良好な成績であり、これにMRIを追加してもさほど診断精度の向上にはつながらないと思われる。MRIを用いた胸壁浸潤の評価としては吸気・呼気の2回撮影して(SSTSEを用いるのが簡便でかつ良好な画質が得られる)、その2者間で腫瘍と胸壁との位置関係の変化を見るという方法が有名であるが、<sup>16</sup> Sakaiらはこの手法によっても良性胸膜癒着と悪性胸壁浸潤を分離することはできないと報告している。<sup>17</sup> さらに身も蓋もないことをいえば、MDCTを呼気・吸気の2回撮影するだけで同じ評価を行うことが可能である。もはや胸壁浸潤の判定にMRIを使う意義はないと断じざるを得ない。

## 3) 縦隔LN転移診断ツールとしてのMRI

肺癌の適切な治療方針決定のために縦隔LN転移(N2)を正確に診断する必要があることは広く知られており、かつこの正確なLN転移診断が非常に難しいということもまた事実である。MRIはこの分野に貢献することが可能であろうか？

この分野については神戸大学のOhnoらのグループから精力的に多数の報告がなされている。<sup>18,19</sup> 彼らはSTIR法を用いて縦隔LN転移診断を試みている。代表的な文献を紹介すると、110人の非小細胞肺癌患者から切除された802個のLN(そのうち病理学的に転移が存在したのは40人92個)に対し、患者ごとにN2の有無について、STIR画像を後ろ向きに検討したところ、感度93%(37/40)、特異度87%(61/70)、陽性的中率80%(37/46)、陰性的中率95%(61/64)、正診率89%(98/110)であり、同じ対象に対するCTでの成績(感度53%、特異度83%、陽性的中率75%、陰性的中率89%、正診率72%)に比べて有意に高い成績であったとしている。成績が良すぎて信じがたい部分もあるが、Ohnoは自分の手法に絶対の自信を持っている(筆者は彼を個人的に存じ上げてい

る)。ただし肺癌のN2診断のためだけにMRIを追加するのは多くの施設にとってハードルが高いためか、この手法自体が一般化しているとはいえない(筆者の施設でも行ってはいない)。

## 4) 肺癌全身検索ツールとしてのMRI

DWIBSの登場により肺癌を含む全ての悪性腫瘍に関してMRIを全身検索のツールとして利用できる可能性が生じている。この分野についてもOhnoらのグループから複数の報告がなされている。<sup>20,21</sup> 代表的な論文を紹介すると、90人の肺癌患者に発見された62個の転移性病変について(脳転移7個、肺内転移13個、肝転移2個、副腎転移3個、LN転移11個、骨転移25個、骨盤内転移1個)、全身MRI(DWI, STIR, T1WIおよび造影T1WI)とFDG-PETの正診率を患者ごとに比較したところ、全身MRIにおいては正診率は80%であったのに対して、FDG-PETは73.3%と全身MRIの方が高成績であり、部位ごとに比較してもFDG-PETがMRIを凌駕したのは胸部のみであったとしている。この報告は比較対象がPET-CTではないという問題点はあるとしても全身MRIが肺癌のステージングに有用である可能性を示唆するものとして注目に値する。

実際にDWIの遠隔転移に対する感度は高く、筆者の施設でも全身MRIを肺癌において行ったところ(現時点では全例に行うわけにはいかない)、骨転移を代表としてCTでそれまでに判明していなかった遠隔転移を多数検出できた。Figure 9として提示する症例においては、両側副腎転移、多発右腎転移、左腸骨転移が明瞭に描出されているだけでなく、DWIは閉塞性肺炎とその中枢側に存在する原発腫瘍を明瞭に区別することが可能であることが理解されよう。最新型のMRIは全身撮影が可能のように設計されており、臨床現場の状況が許せば、MRIを肺癌全身検索に用いるための御膳立ては整っていると見える。

しかしながら状況はさほど単純ではない。放射線領域の診療報酬のシステムについて呼吸器科の先生方がさほど興味があるとは思えないが、自分の所属している医療機関の経営には無関心な方はいないと思うので、以下の内容については記憶の片隅に留めておいていただけたらありがたい。

日本における医療行為に対する診療報酬は他の先進国に比べて安い。画像診断ではその傾向は顕著である。1.5 TのMRIの場合、日本では検査1回あたり12,300円、アメリカでは州によって異なるが、カリフォルニア州の場合、1部位あたり64,428円(1ドル78円で計算)である。値段の違いだけでなく、検査1回と1部位という違いについてご注目いただきたい。つまり日本では1回検査で複数部位撮影しても報酬は同じなのである。MRI



**Figure 9.** **a.** Whole-body T2-weighted SSTSE coronal image (fusion image reconstructed from two separately acquired T2-weighted SSTSE image). **b.** Whole body diffusion weighted coronal image (fusion image reconstructed from three separately acquired DWI). A 71-year-old male having far advanced small cell lung cancer. On DWI, the signal from the right pleural effusion was suppressed, and the primary tumor of the right pulmonary hilus and the peripheral atelectasis were shown as hyperintense lesions. Moreover, we could understand that DWI enabled to clearly differentiate the primary tumor from the collapsed lung. DWI also succeeded to detect the bilateral adrenal gland metastases, multiple metastases in the bilateral kidneys and left iliac bone metastasis (arrows).

は高額である（実売価格で1.5 Tの新型装置の場合1億5,000万円程度といわれている）。多くの医療施設で病院の施設整備投資の多くは画像診断機器の導入・更新に支出されている。しかもどれほど先進的な機器を導入しても必ず陳腐化は生じるので定期的な更新は必須である。それなしでは検査や研究の相対的なレベルを維持できない。日本以外の世界は進歩しつづけるので我々も進歩しなければ相対的地位を保持できないのである。我々が生きているのは“赤の女王”の世界そのものだ。したがって我々放射線検査に携わるものとは、限られた時間内にこの安い診療報酬から機器の更新費用を稼ぎ出す責務がある。このことが日本における放射線診断部に大きなプレッシャーになっているのは容易に想像できよう。全身MRIは当然ながら通常検査の3倍程度の時間がかかり、

件数が増えれば増えるほど病院経営に悪影響を与え、放射線機器の更新を難しくする。診療報酬体系に大きな変更がない限り、日本において全身MRIによる肺癌ステージングが普及する可能性は低い。

#### 5) 我々は ultra-small super-paramagnetic iron oxide (USPIO) を手にすることができるか？

USPIOとは酸化鉄の微粒子である。すでに肝MRIに広く使われているSPIOよりも粒子が小さく、肝の網内系に取り込まれにくい。長く血中に留まりLNに取り込まれやすくなる。USPIOはLNのうち、正常部分に取り込まれT2WIでの信号を低下させることで、取り込みを示さない異常部分を検出することができる。従来の方法に比べて感度や陰性的中率が高く、癌のLN転移診断に革命的な変化をもたらす可能性がある造影剤として



期待されている。<sup>22</sup>すでに欧州では承認され、臨床応用が開始されており、北米でも治験中であるが、日本では治験が開始される可能性さえない。製薬会社はかなり重症なアナフィラキシーの報告があることを言い訳にしているが、本音としては日本における治験の多額の費用負担と審査のわずらわしさと遅さが本当の理由のようである。よって全身MRIと同様にこの分野でも我々は世界から取り残されることが確実にあった。保険制度や新薬認可の行政を行っている方々にはまた違う立場があるかとは思いますが、このままでは全ての点で我々は世界から取り残されていくのではないかと危惧せざるを得ない。

#### IV. まとめ

胸部MRIに用いられるシーケンス、過去に報告された肺癌に対するMRIの論文の紹介、さらには今後、MRIが肺癌診療にどのように用いられていくかについて考察を行った。MRIが脳転移や脊椎転移以外にも肺癌診療に役立てる可能性があることはご理解いただけたかと思う。特に全身MRIやUSPIOが有効であることは確実である。しかしながら日本においてこれらの新技術を導入するには制度として高いハードルがあることもご理解いただけたかと思う。

本論文内容に関連する著者の利益相反：なし

#### REFERENCES

1. 中島康雄, 山田 恵, 今村恵子, 小林和子. 諸外国における放射線科医の実態調査. [http://www.jcr.or.jp/wghoukoku/161\\_2](http://www.jcr.or.jp/wghoukoku/161_2)
2. 法坂千代, 別所俊一郎. MRIへの投資行動分析. <http://www.ipp.hit-u.ac.jp/pe/DP/Hit-HERP2010001.pdf>
3. Premkumar A, Marincola J, Taubenberger J, Chow C, Venzon D, Schwartzentruber D. Metastatic melanoma: correlation of MRI characteristics and histopathology. *J Magn Reson Imaging*. 1996;6:190-194.
4. Frahm C, Zimmermann A, Heller M, Brossmann J. Uncommon presentation of a giant biliary cystadenoma: correlation between MRI and pathological findings. *J Magn Reson Imaging*. 2001;14:649-652.
5. Outwater EK, Siegelman ES, Huang AB, Birnbaum BA. Adrenal masses: correlation between CT attenuation value and chemical shift ratio at MR imaging with in-phase and opposed-phase sequences. *Radiology*. 1996;200:749-752.
6. Martín J, Sentís M, Zidan A, Donoso L, Puig J, Falcó J, et al. Fatty metamorphosis of hepatocellular carcinoma: detection with chemical shift gradient-echo MR imaging. *Radiology*. 1995;195:125-130.
7. Takahashi K, Al-Janabi NJ. Computed tomography and magnetic resonance imaging of mediastinal tumors. *J Magn Reson Imaging*. 2010;32:1325-1339.
8. Kuroki Y, Nasu K, Kuroki S, Murakami K, Hayashi T, Sekiguchi R, et al. Diffusion-weighted imaging of breast cancer with the sensitivity encoding technique: analysis of the apparent diffusion coefficient value. *Magn Reson Med Sci*. 2004;3:79-85.
9. Nasu K, Kuroki Y, Nawano S, Kuroki S, Tsukamoto T, Yamamoto S, et al. Hepatic metastases: diffusion-weighted sensitivity-encoding versus SPIO-enhanced MR imaging. *Radiology*. 2006;239:122-130.
10. Nasu K, Kuroki Y, Kuroki S, Murakami K, Nawano S, Moriyama N. Diffusion-weighted single shot echo planar imaging of colorectal cancer using a sensitivity-encoding technique. *Jpn J Clin Oncol*. 2004;34:620-626.
11. Takahara T, Imai Y, Yamashita T, Yasuda S, Nasu S, Van Cauteren M. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display. *Radiat Med*. 2004;22:275-282.
12. Nasu K, Kuroki Y, Sekiguchi R, Kazama T, Nakajima H. Measurement of the apparent diffusion coefficient in the liver: is it a reliable index for hepatic disease diagnosis? *Radiat Med*. 2006;24:438-444.
13. Koyama H, Ohno Y, Aoyama N, Onishi Y, Matsumoto K, Nogami M, et al. Comparison of STIR turbo SE imaging and diffusion-weighted imaging of the lung: capability for detection and subtype classification of pulmonary adenocarcinomas. *Eur Radiol*. 2010;20:790-800.
14. Uhrmeister P, Allmann KH, Wertzel H, Althoefer C, Laubenberger J, Hasse J, et al. Chest wall infiltration by lung cancer: value of thin-sectional CT with different reconstruction algorithms. *Eur Radiol*. 1999;9:1304-1309.
15. Higashino T, Ohno Y, Takenaka D, Watanabe H, Nogami M, Ohbayashi C, et al. Thin-section multiplanar reformats from multidetector-row CT data: utility for assessment of regional tumor extent in non-small cell lung cancer. *Eur J Radiol*. 2005;56:48-55.
16. Akata S, Kajiwaru N, Park J, Yoshimura M, Kakizaki D, Abe K, et al. Evaluation of chest wall invasion by lung cancer using respiratory dynamic MRI. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2008;52:36-39.
17. Sakai S, Murayama S, Murakami J, Hashiguchi N, Masuda K. Bronchogenic carcinoma invasion of the chest wall: evaluation with dynamic cine MRI during breathing. *J Comput Assist Tomogr*. 1997;21:595-600.
18. Takenaka D, Ohno Y, Hatabu H, Ohbayashi C, Yoshimura M, Ohkita Y, et al. Differentiation of metastatic versus non-metastatic mediastinal lymph nodes in patients with non-small cell lung cancer using respiratory-triggered short inversion time inversion recovery (STIR) turbo spin-echo MR imaging. *Eur J Radiol*. 2002;44:216-224.
19. Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, Higashino T, Watanabe H, Ohbayashi C, et al. Metastases in mediastinal and hilar lymph nodes in patients with non-small cell lung cancer: quantitative and qualitative assessment with STIR turbo spin-echo MR imaging. *Radiology*. 2004;231:872-879.
20. Takenaka D, Ohno Y, Matsumoto K, Aoyama N, Onishi Y, Koyama H, et al. Detection of bone metastases in non-small cell lung cancer patients: comparison of whole-body diffusion-weighted imaging (DWI), whole-body MR imaging without and with DWI, whole-body FDG-PET/CT, and bone scintigraphy. *J Magn Reson Imaging*. 2009;30:

- 298-308.
21. Ohno Y, Koyama H, Nogami M, Takenaka D, Yoshikawa T, Yoshimura M, et al. Whole-body MR imaging vs. FDG-PET: comparison of accuracy of M-stage diagnosis for lung cancer patients. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26:498-509.
  22. Heesakkers RA, Hövels AM, Jager GJ, van den Bosch HC, Witjes JA, Raat HP, et al. MRI with lymph-node-specific contrast agent as an alternative to CT scan and lymph-node dissection in patients with prostate cancer: a prospective multicohort study. *Lancet Oncol*. 2008;9:850-856.