

核磁気共鳴画像 (MRI) による形態診断

栗原泰之¹・八木橋国博¹・松岡 伸¹・
栗原宜子¹・中島康雄¹

要旨—— 日常臨床において肺癌の画像診断はCTに負うところが大きく、MRIは滅多に用いられていないのが現状であるが、近年のMRIの進歩は著しく、大きく遅れていた形態診断も徐々に可能になりつつある。本稿では、MRIによる肺腫瘍性病変の形態診断への応用において、遭遇する技術的問題点とその解決方法、特異な信号パターンを呈する結節性病変、MRIによる浸潤度診断、そして最新の話題についてふれる。(肺癌. 2008;48:312-317)

索引用語—— MRI, 肺, 肺癌, シネ画像, 拡散強調画像

Magnetic Resonance Imaging for Morphologic Evaluation of Lung Cancer and Solitary Pulmonary Nodules

Yasuyuki Kurihara¹; Kunihiro Yagihashi¹; Shin Matsuoka¹;
Yoshiko K. Yakushiji¹; Yasuo Nakajima¹

ABSTRACT—— In daily practice, computed tomography (CT) plays a primary role in the assessment of lung cancer. Magnetic resonance imaging (MRI) has rarely been used to view the lung parenchyma, however, recent advances in the software and hardware of MR systems have resulted in better image quality. In this review, we describe several solutions for the problems related to chest MRI, specific signal intensity patterns of various focal pulmonary lesions, evaluation of the chest wall and cardiovascular invasion, and several new topics. (*JJLC*. 2008;48:312-317)

KEY WORDS—— MRI, Lung, Lung cancer, Cine MRI, Diffusion weighted image (DWI)

1. はじめに

肺癌診断における核磁気共鳴画像 (magnetic resonance image : MRI) の利用はまだ極めて限定的であり一般的ではない。呼吸器領域のMRIがCTに比べ大きく遅れてしまった理由は、^{1,2} 第一に肺特有の構造すなわち肺胞壁と空気との fine network 構造をとっているため、その磁場は必然的に不均一なものとなっていることによる。この susceptibility (磁化率アーチファクト) は横緩和の dephase の亢進を促し、1.5 T の装置では T2* が 0.9~2.2 ms と極めて短い時間で信号が減衰し、良質な画

像が得にくくなる。このため、この磁化率アーチファクトを克服して肺実質から信号を取り出す工夫が必要となる。gradient echo 法では、エコー時間を極端に短く設定し、横緩和が dephase する前にエコーを得るようにする。spin echo 法は本来磁化率アーチファクトに影響を受けにくい。特に fast spin echo 法では echo spacing を小さくすることにより、さらに磁化率アーチファクトの影響を受けにくくなる。また磁化率アーチファクトは静磁場強度に左右されるので、低中磁場の装置を選択するのも一つの方法である。

第二の問題点は、心拍動あるいは呼吸運動に伴う心大

¹聖マリアンナ医科大学放射線医学教室。

別刷請求先：栗原泰之，聖マリアンナ医科大学放射線医学教室，〒216-8511 神奈川県川崎市宮前区菅生 2-16-1 (e-mail: y4kuri@marianna-u.ac.jp)。

¹Department of Radiology, St. Marianna University School of Medicine, Japan.

Reprints: Yasuyuki Kurihara, Department of Radiology, St. Marianna University School of Medicine, 2-16-1 Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki City, Kanagawa 216-8511, Japan (e-mail: y4kuri@marianna-u.ac.jp).

© 2008 The Japan Lung Cancer Society



Figure 1. Adenocarcinoma with a central scar in a 70-year-old man. Coronal T2-weighted image shows a central hypointense area (arrow) in the nodule and a short linear structure at the periphery of the nodule (tail sign).

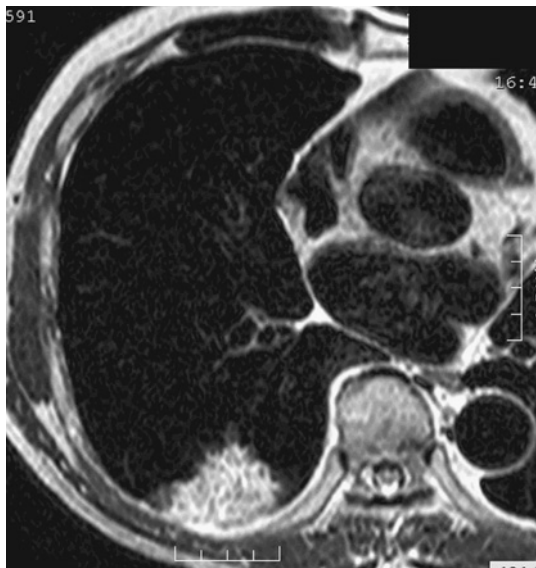
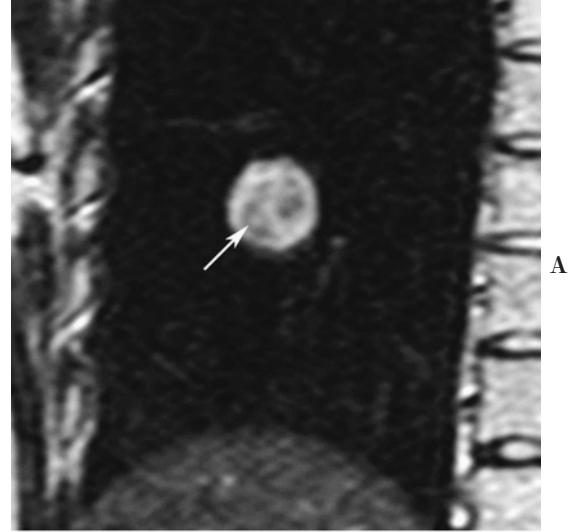
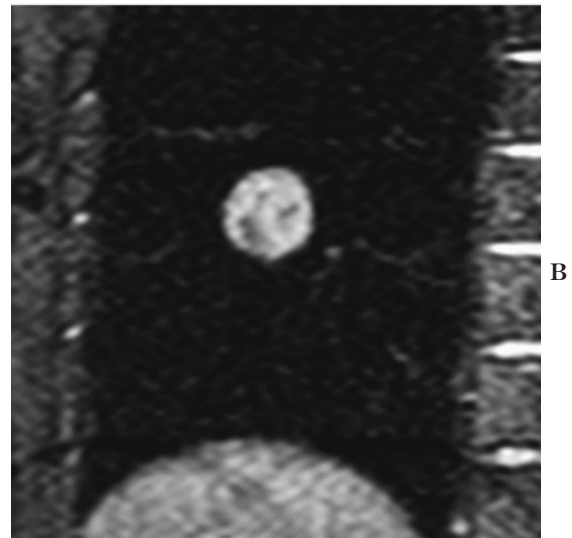


Figure 2. Mucinous bronchioloalveolar carcinoma in a 69-year-old man. T2-weighted images show hyperintense consolidation suggesting mucinous bronchioloalveolar carcinoma.

血管や胸壁の動きによる画像の劣化である。信号収集時間内の解剖構造の動きは、位相エンコード方向への ghost and blurring artifact を生じさせ極端に画質を悪化させる。また心大血管内を走る血流はプロトンの動きであり、速度に依存した信号強度の変化をきたす。これらの動きのコントロールのためには、心電図同期あるいは



A



B

Figure 3. Pulmonary hamartoma in a 41-year-old man. (A) Coronal T2-weighted images shows a hyperintense spot (arrow) in the nodule and lobulated appearance of the tumor. (B) The hyperintense spot is suppressed by a spectral inversion pulse (fat suppressive pulse) suggesting lipoid tissue.

呼吸同期法、息止め法、black blood methodなどを組み合わせて対応するしかないが、撮像時間が長くなったり、呼吸器疾患患者では息止め時間に限界があるなどの問題点もある。しかし近年のMR装置の発達によって確実に画質は向上し、肺機能画像と肺動脈撮像は一早く実用化されてきている。しかし肺癌のMRIによる形態診断は依然として手探りの状況が続いているのが現状である。

2. 特異な信号強度に注目した質的診断

当初よりMRI本来の特徴である高い組織コントラスト



Figure 4. Tuberculoma with solid caseation in a 47-year-old woman. Coronal T2-weighted image shows a hyperintense nodule with intranodular hypointense foci representing solid caseation.

ト分解能を利用し、結節性病変の組織診断や良悪性の鑑別への利用が期待されてきた。しかし多くの肺腫瘍は相対的に長い T1 時間および T2 時間を示し、中間信号から高信号で描出される。各肺病変の T1 時間および T2 時間は広く重なっているため非特異的信号パターンになってしまうのが大多数であり、組織間の同定は残念ながら容易ではない。³

肺腫瘍は、特に大きいものでは、出血や細胞密度の違い、細胞質の欠如、壊死の存在により不均一に描出されることが多い。しかし、一部の特定の肺疾患に関しては CT 以上の特異的情報を提供してくれることがわかってきている。たとえば末梢型腺癌において比較的特異とされる central fibrosis が、⁴ T2 強調画像において線維化病変を反映して中央部の低信号領域と描出されることがある (Figure 1).⁵ ただし残念ながらこの所見はあまり頻繁には観察できない印象である。また粘液産生性細気管支肺胞上皮癌は、含有する粘液により T2 強調画像において極めて高信号に描出され (Figure 2), T1 強調画像画像ではやや高信号に描出される。⁶ 同様の所見は閉塞性肺炎のわずか 10% しか認められず、⁷ 粘液産生性細気管支肺胞上皮癌は比較的特異的な信号パターンで描出される。

過誤腫は最も頻繁に認められる良性腫瘍であるが、放射線学的には CT によって肺結節内に脂肪を検出することによって診断される。また「ポップコーン」石灰化が

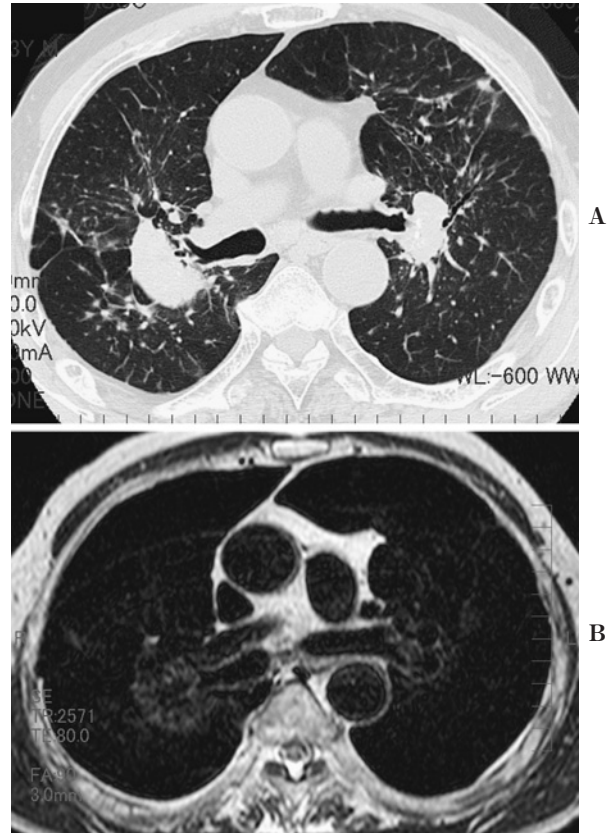


Figure 5. Progressive massive fibrosis in a 73-year-old man with silicosis. (A) CT shows large nodules in the perihilar areas with marginal parenchymal distortion, suggesting progressive massive fibrosis. (B) T2-weighted image shows markedly hypointense nodules with fibrotic stroma.

顕著であれば、胸部単純 X 線写真でも診断できる。MRI でも比較的薄いスライス厚で撮像すれば、CT と同様に脂肪や石灰化巣を描出することにより容易に診断できる。特に脂肪は T1 強調画像および T2 強調画像で高信号に描出され認識しやすいし、脂肪抑制パルスを用いることにより脂肪の確信度を高めることもできるので目標としやすい構成成分である (Figure 3)。また腫瘍の実質は軟骨組織による粘性基質からなるために石灰化が顕著でない場合は、T2 強調画像において高信号に描出されるのが通常である。⁸ よって MRI は脂肪や石灰化を伴わない小さな過誤腫を診断するのに有用なツールといえる。

本邦において肺癌の鑑別疾患として重要な結核結節についても MRI は付加的情報を供してくれる。Chung らは悪性腫瘍と比較し結核結節が T2 強調画像においてより低信号であると報告している。⁹ しかし結核結節の MR 像はそれほど単純ではなく個別の病理的特徴に強く

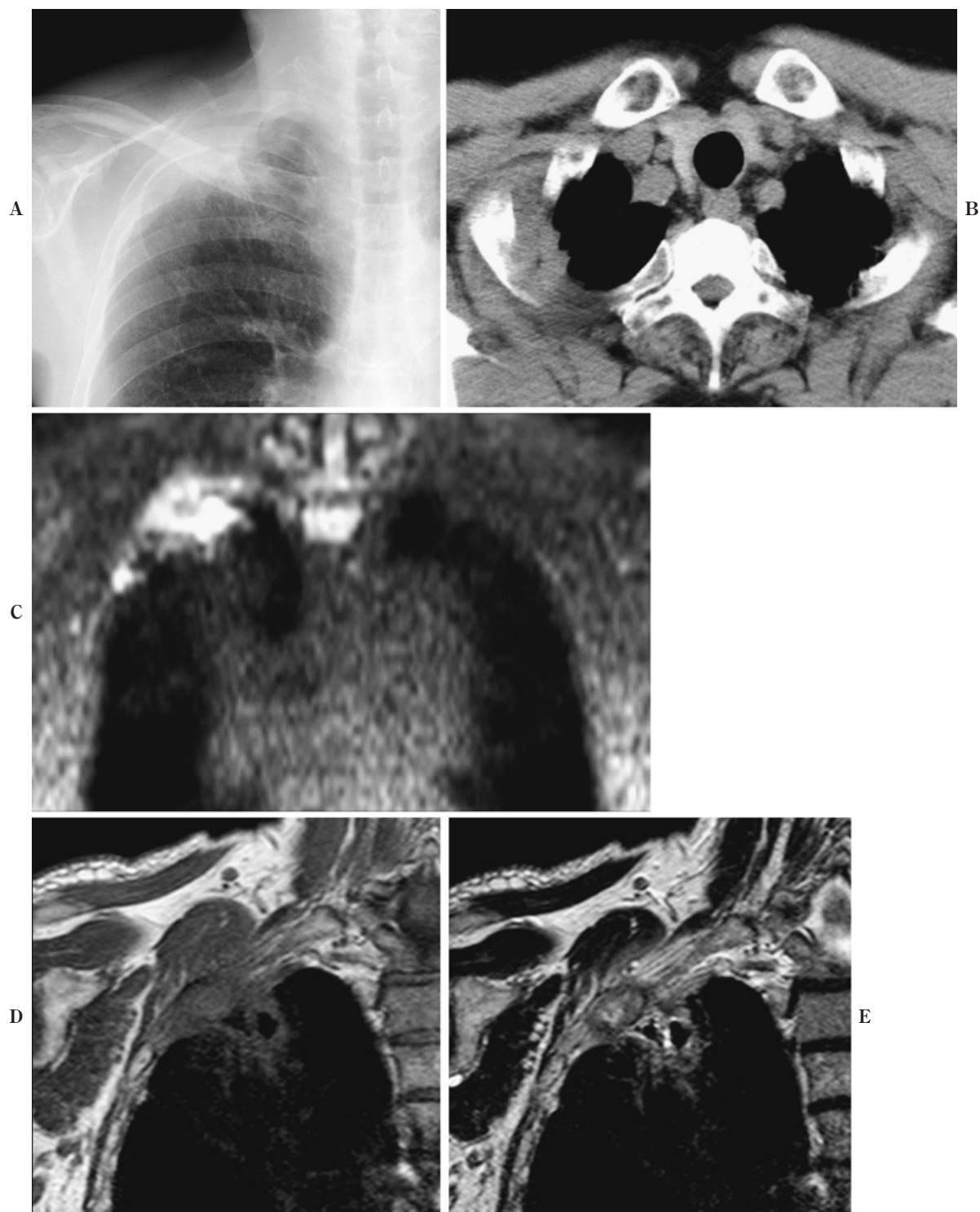


Figure 6. Pancoast tumor in a 77-year-old man. Magnified view of frontal chest radiograph (A) and CT (B) shows abnormal opacity at right apex. Diffusion weighted image (C) shows a hyperintense lesion at the right apex. Coronal T1-weighted image (D) shows an irregular apical lesion invading chest wall. Coronal T2-weighted image (E) also reveals an invasive tumor, however, its margin is not as clearly demonstrated as that on (D).

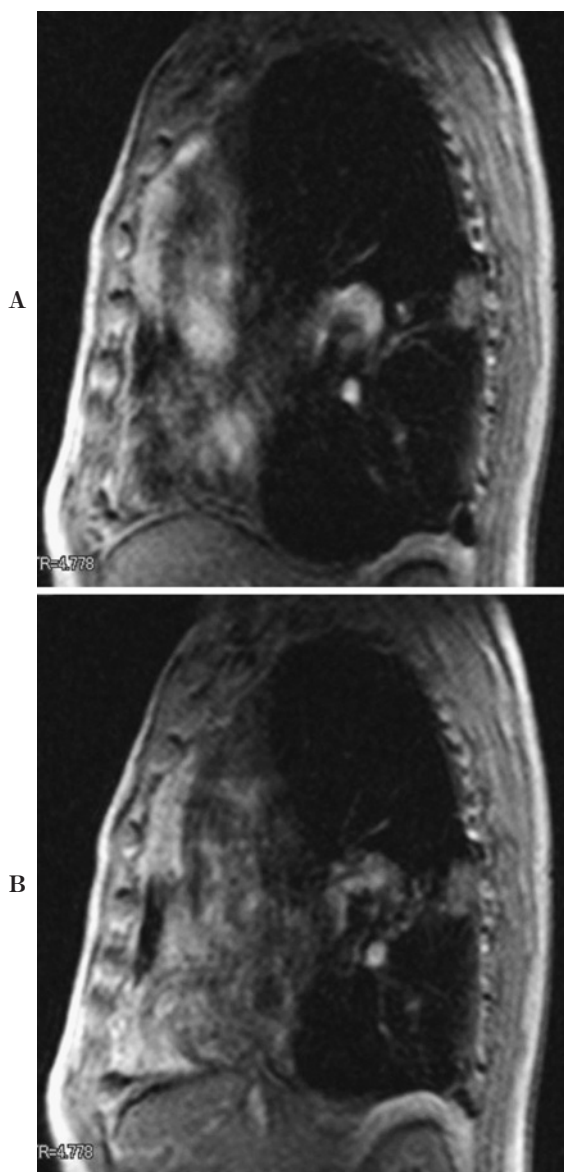


Figure 7. Lung carcinoma in a 77-year-old man with chest wall invasion. Image on inspiration (A) and image on expiration (B) during respiration show fixation of the lung carcinoma on the posterior chest wall, suggesting tumor invasion or adhesion.

依存する。すなわち、(a) 非乾酪性壊死、(b) 乾酪性壊死、(c) 液状化した乾酪性壊死、(d) 線維化および石灰化した肉芽腫に分けて分析した方が理解しやすい。非乾酪性壊死は T2 強調画像にて高信号で、造影検査では均一に染まる。一方乾酪性壊死部分は T2 強調画像において低信号に描出される (Figure 4)。しかし、乾酪性壊死の中央部に見られる液状部分は T2 強調画像において高信号である。¹⁰ そして線維化および石灰化した肉芽腫部

分は、T2 強調画像において低信号で、造影検査でも染まらない。¹¹ よってこれらの構成成分がそろると T2 強調画像では標的様の多重結節となり得る。また造影 T1 強調画像では、しばしば辺縁に位置する非乾酪性壊死は強く染まり、染まりにくい内部の乾酪壊死部との差異から rim enhancement を示し診断に有用である。¹²

塵肺症にて肺癌と鑑別を有する大陰影は、線維化病変および様々な外因性物質の含有により T2 強調画像にて極めて低信号を示す傾向にあり¹³ (Figure 5)、CT では鑑別困難な症例において役立つ可能性がある。また肺実質の結節型アミロイドーシスも肺癌との鑑別を要する。特に孤発性で石灰化のない場合は CT で肺癌と鑑別するのは極めて困難である。この肺アミロイドーマに関して他の身体部位のアミロイドーシス同様 T2 強調画像にて低信号であるという報告があり、¹⁴ MRI が診断に寄与する可能性が高い。また MRI の T2 強調画像では、水は極めて高信号に描出されるので、葉間のわずかな胸水や胸膜嵌入に伴う限局性胸水を検出するのに有効である。

3. 浸潤度診断

MRI は自由な断層面を選択できる利点がある。このため横断面の CT と比較し、悪性疾患の隣接臓器への侵襲度をより正確に評価できる長所がある。特に頭尾方向への広がり (パンコースト腫瘍に見られる肺尖部胸壁浸潤¹⁵ や横隔膜浸潤) の評価に向いている。近年では multi-detector CT が導入され isometric voxel data が得られるようになり、CT 画像も multiplanar reconstruction により自由な断層面が得られるようになったが、胸膜の周囲に介在する脂肪層や胸水が MRI の方が CT よりとらえやすいため、依然としてコントラスト分解能の勝る MRI の方が浸潤度診断に優れている。また MRI の撮像法の中でも、腫瘍と脂肪層のコントラストが良好な T1 強調画像の方が T2 強調画像より浸潤度に関してはわかりやすい¹⁶ (Figure 6)。

また極めて早い撮像時間で放射線被曝のない MRI の特長を生かしてシネ画像を撮像し、呼吸運動 (Figure 7) や心拍動運動に伴う病変の動きのパターンから癒着や浸潤を予測することも当初から試みられている。病変と隣接組織が固定され運動に伴い一緒に動いているのか動いていないのかを見ているため、良性胸膜癒着と胸壁浸潤を区別できないなどの問題点¹⁷ は解決されていないが、腫瘍と隣接心血管の sliding motion による浸潤度診断は正診率 94.4% と極めて高くその有用性は高い。¹⁸

4. 新しい展開

最近の MRI のトピックとして拡散強調画像の腫瘍性疾患への応用が注目を浴びている。呼吸器領域でも遅れ

ばせながら拡散強調画像の応用が試みられており、良悪性の鑑別において比較的良好な印象を持って受け入れられている (Figure 6)。しかし膿瘍や結核腫などの活動性炎症で高信号を呈し false positive となったり、逆に細気管支肺胞上皮癌では高信号にならず false negative になるなど PET と共通する問題点があるようである。また縦隔リンパ節腫大は心拍動により false negative となってしまうことがあるようであるが、実際の臨床では胸膜播種病変の検出をふくめて、病変の拾い上げに有効であると思われる。

また拡散強調画像によって得られる apparent diffusion coefficient (ADC) は定量化による診断ツールとなり得る。ADC 値自体は肺癌の組織間で重なりが大きく組織間の識別には役立たないが、高分化型腺癌のみは他の組織型より ADC 値が高いようである。¹⁹ ADC 測定は、b value 値の問題や結節内の空気の影響など解決すべき問題点も多く見られるものの、新しい評価法として今後の発展が期待される。

また、MRI は CT とは異なり放射線被曝がないことから肺結節の dynamic study が施行しやすいという利点がある。この長所を利用しての肺結節性病変血流動態からの鑑別を試みる仕事もなされている。Ohno ら²⁰ や Kono ら²¹ の研究によると、早期造影が肺癌の特徴的なパターンで、活動性の炎症病変 (膿瘍や器質化肺炎) はさらに早く強く染まる傾向があること、良性病変は染まりにくい傾向にあることがわかってきている。

REFERENCES

- Bergin CJ, Glover GH, Pauly JM. Lung parenchyma: magnetic susceptibility in MR imaging. *Radiology*. 1991; 180:845-848.
- Gamsu G, Sostman D. Magnetic resonance imaging of the thorax. *Am Rev Respir Dis*. 1989;139:254-274.
- Webb WR, Gamsu G, Stark DD, Moon KL Jr, Moore EH. Evaluation of magnetic resonance sequences in imaging mediastinal tumors. *AJR Am J Roentgenol*. 1984;143:723-727.
- Suzuki K, Yokose T, Yoshida J, Nishimura M, Takahashi K, Nagai K, et al. Prognostic significance of the size of central fibrosis in peripheral adenocarcinoma of the lung. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:893-897.
- Awaya H, Matsumoto T, Honjo K, Miura G, Emoto T, Matsunaga N. A preliminary study of discrimination among the components of small pulmonary nodules by MR imaging: correlation between MR images and histologic appearance. *Radiat Med*. 2000;18:29-38.
- Gaeta M, Blandino A, Scribano E, Vinci S, Minutoli F, Pergolizzi S, et al. Magnetic resonance imaging of bronchioloalveolar carcinoma. *J Thorac Imaging*. 2000;15:41-47.
- Gaeta M, Minutoli F, Ascenti G, Vinci S, Mazziotti S, Pandolfo I, et al. MR white lung sign: incidence and significance in pulmonary consolidations. *J Comput Assist Tomogr*. 2001;25:890-896.
- Sakai F, Sone S, Kiyono K, Maruyama A, Kawai T, Aoki J, et al. MR of pulmonary hamartoma: pathologic correlation. *J Thorac Imaging*. 1994;9:51-55.
- Chung MH, Lee HG, Kwon SS, Park SH. MR imaging of solitary pulmonary lesion: emphasis on tuberculomas and comparison with tumors. *J Magn Reson Imaging*. 2000; 11:629-637.
- Jinkins JR, Gupta R, Chang KH, Rodriguez-Carbajal J. MR imaging of central nervous system tuberculosis. *Radiol Clin North Am*. 1995;33:771-786.
- Moon WK, Im JG, Yu IK, Lee SK, Yeon KM, Han MC. Mediastinal tuberculous lymphadenitis: MR imaging appearance with clinicopathologic correlation. *AJR Am J Roentgenol*. 1996;166:21-25.
- Sakai F, Sone S, Maruyama A, Kawai T, Imai S, Aoki J, et al. Thin-rim enhancement in Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance images of tuberculoma: a new finding of potential differential diagnostic importance. *J Thorac Imaging*. 1992;7:64-69.
- Matsumoto S, Mori H, Miyake H, Yamada Y, Ueda S, Oga M, et al. MRI signal characteristics of progressive massive fibrosis in silicosis. *Clin Radiol*. 1998;53:510-514.
- Matsumoto K, Ueno M, Matsuo Y, Kudo S, Horita K, Sakao Y. Primary solitary amyloidoma of the lung: findings on CT and MRI. *Eur Radiol*. 1997;7:586-588.
- McCloud TC, Filion RB, Edelman RR, Shepard JA. MR imaging of superior sulcus carcinoma. *J Comput Assist Tomogr*. 1989;13:233-239.
- Padovani B, Mouroux J, Seksik L, Chanalet S, Sedat J, Rotomondo C, et al. Chest wall invasion by bronchogenic carcinoma: evaluation with MR imaging. *Radiology*. 1993; 187:33-38.
- 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.
- Seo JS, Kim YJ, Choi BW, Choe KO. Usefulness of magnetic resonance imaging for evaluation of cardiovascular invasion: evaluation of sliding motion between thoracic mass and adjacent structures on cine MR images. *J Magn Reson Imaging*. 2005;22:234-241.
- Matoba M, Tonami H, Kondou T, Yokota H, Higashi K, Toga H, et al. Lung carcinoma: diffusion-weighted mr imaging--preliminary evaluation with apparent diffusion coefficient. *Radiology*. 2007;243:570-577.
- Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, Adachi S, Kono M, Sugimura K. Solitary pulmonary nodules: potential role of dynamic MR imaging in management initial experience. *Radiology*. 2002;224:503-511.
- Kono R, Fujimoto K, Terasaki H, Müller NL, Kato S, Sadohara J, et al. Dynamic MRI of solitary pulmonary nodules: comparison of enhancement patterns of malignant and benign small peripheral lung lesions. *AJR Am J Roentgenol*. 2007;188:26-36.