

肺癌の最新 MRI 診断

大野良治¹・野上宗伸¹・東野貴徳¹・渡辺裕一¹・
竹中大祐²・真庭謙昌³・里内美弥子⁴・西村善博⁴・
大林千穂⁵・吉村雅裕³・杉村和朗¹

要旨 1991年のRadiologic Diagnostic Oncology Group (RDOG)の報告以来、肺癌患者におけるMRIの臨床応用は限定された状況においてのみCTに対して相補的に用いられるにとどまってきた。一方、換気・血流シンチに代表される肺機能診断法や、²[fluorine-18]fluoro-2-deoxy-D-glucoseによるポジトロンエミッショントモグラフィ（FDG-PET）に代表されるPET検査においては腫瘍の代謝を画像化する新たな画像診断法として脚光を浴びている。しかし、近年のMR装置や撮像法の進歩及び各種造影剤の併用により肺癌患者のMRI診断における形態的、機能的評価能は飛躍的に進歩し、より正確且つ定量的評価を可能とし、各種画像診断法の代替として潜在的に応用されうるものになりつつある。本稿においては肺癌のMRI診断について、(1)肺腫瘍の質的診断、(2)肺癌と二次変化の鑑別診断、(3)縦隔浸潤診断、(4)胸壁浸潤診断、(5)リンパ節転移診断、(6)遠隔転移診断、及び(7)肺癌におけるMRIを用いた肺機能診断に関して最新の知見を踏まえて述べる。肺癌におけるMRIの臨床応用及び研究に関しては、様々な技術的問題点があるものの、様々な分野での研究が進むことにより急速に進歩する可能性を秘めており、近い将来MRIは肺癌診断の重要な一翼を担うものになると信ずる。(肺癌、2003;43:818-825)

索引用語 MRI, 肺, 肺癌, 病期診断, 孤立性肺腫瘍

New MR Imaging of Lung Cancer

*Yoshiharu Ohno¹; Munenobu Nogami¹; Takanori Higashino¹; Hirokazu Watanabe¹;
Daisuke Takenaka²; Yoshimasa Maniwa³; Miyako Satouchi⁴; Yoshihiro Nishimura⁴;
Chiho Ohbayashi⁵; Masahiro Yoshimura³; Kazuro Sugiyama*

ABSTRACT Since publication of the Radiologic Diagnostic Oncology Group Report (RDOG) in 1991, the clinical application of pulmonary magnetic resonance (MR) imaging to patients with lung cancer has been limited. CT has been much more widely available for staging of lung cancer in clinical situations. Currently, ventilation and perfusion scintigraphy is the only modality that demonstrates pulmonary function while FDG-PET is the only modality that reveals biological glucose metabolism of lung cancer. However, recent advancements in MR imaging have made it possible to evaluate morphological and functional information in lung cancer patients more accurately and quantitatively. Pulmonary MR imaging may hold significant potential to substitute for nuclear medicine examinations. In this review, we describe recent advances in magnetic resonance (MR) imaging of lung cancer, focusing on (1) characterization of solitary

¹ 神戸大学大学院医学系研究科生体情報医学講座放射線医学分野；² 加西市立加西病院放射線科；神戸大学大学院医学系研究科呼吸循環動態医学講座 ³ 呼吸循環器外科学分野，⁴ 循環呼吸器病態学分野；⁵ 神戸大学附属病院病理部。

別刷請求先：大野良治 神戸大学大学院医学系研究科生体情報医学講座放射線医学分野，〒650-0017 神戸市中央区楠町7-5-2 (e-mail: yosirad@med.kokbe-u.ac.jp, yosirad@kobe-u.ac.jp, yoshiharuohno@aol.com)。

¹Department of Radiology, Kobe University Graduate School of Medicine, Japan; ²Department of Radiology, Kasai Municipal Hospi-

tal, Japan; Division of Cardiovascular, ³Thoracic and Pediatric Surgery, ⁴Division of Cardiovascular and Respiratory Medicine, Department of Internal Medicine, Kobe University Graduate School of Medicine, Japan; ⁵Division of Pathology, Kobe University Hospital, Japan.

Reprints: Yoshiharu Ohno, Department of Radiology, Kobe University Graduate School of Medicine, 7-5-2, Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe, 650-0017, Japan (e-mail: yosirad@med.kokbe-u.ac.jp, yosirad@kobe-u.ac.jp, yoshiharuohno@aol.com)

© 2003 The Japan Lung Cancer Society

pulmonary nodules; (2) differentiation from secondary change; evaluation of (3) mediastinal invasion, (4) chest wall invasion, (5) lymph node metastasis, and (6) distant metastasis; and (7) pulmonary functional imaging. We believe that further basic studies, as well as clinical applications of newer MR techniques, will play an important role in the management of patients with lung cancer. (*JJLC*. 2003;43:818-825)

KEY WORDS Magnetic resonance, Lung, Lung cancer, Staging, Solitary pulmonary nodule

緒言

肺癌による癌死は現在、男性は1位、女性は3位、総数で1位である。その内訳は非小細胞癌が全肺癌の8割を占め、残り2割が小細胞癌である。一般に肺癌の診断には胸部単純写真、喀痰細胞診、気管支鏡やCT下生検、胸部CT及びMRI、骨シンチが用いられる。これらの中でも、その利便性からCTは肺癌診断にもっとも広く用いられる画像診断法であり、近年のマルチディテクターCT(Multidetector-row CT: MDCT)の開発及び臨床応用と画質の改善が進むとともに各種の再構成画像が広く臨床に用いられるようになってきている。

一方、MRIは1991年のRadiologic Diagnostic Oncology Group (RDOG)によるCTと心電同期を使用しないMRIのT1強調像(T1-weighted image: T1WI)による肺癌病期診断能の比較が報告されて以来、縦隔・胸壁浸潤診断等の一部の場合に限りCTに対して相補的に用いられるにとどまってきた。しかし、近年のMR装置の進歩、各種撮像法の開発及び各種造影剤の使用により、MRIの画質及び各種診断能は劇的に改善され、その新たな応用法も考案されてきている。

本稿においては(1)肺腫瘍の質的診断、(2)肺癌と二次変化の鑑別診断、(3)縦隔浸潤診断、(4)胸壁浸潤診断、(5)リンパ節転移診断、(6)遠隔転移診断、及び(7)肺癌におけるMRIを用いた肺機能診断に関して、最新の知見をふまえて解説する。

1. 肺腫瘍の質的診断

孤立性肺腫瘍は胸部単純写真でもっともよく見られる所見であるが、その質的診断をより非観血的で簡便かつ可能な限り特異的で正診率を高く行うことは重要なことであり、多くの研究者がCT、MRI、²[fluorine-18]fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG)によるポジトロンエミッショントモグラフィ(Positron emission tomography: PET)等を用い試みている。²⁻⁷

一般にCTやMRIによる質的診断は胸膜、胸壁、気道や縦隔と肺結節及び肺腫瘍との関連性や造影剤検査による造影能等の画像的特徴を評価することによって行われている。しかし、MRIにおいては肺野からのMR信号が少ないため、CTのように肺野末梢の解剖学的情報を得ることが困難であること、心臓や呼吸のアーチファクト

による画質の劣化があること等のため、胸部単純写真、胸部断層写真及びCTの過去の研究より得られた悪性腫瘍の画像診断学的特徴を評価することは困難である。⁸しかしながら、このような制約はあるものの、MRIは高い組織分解能を有しており、造影剤を使用し、CTと併用することにより肺癌診断の一助となることは、諸家の報告でも明らかである。⁵⁻⁷従来のスピネコー(Spin-echo: SE)法、ターボスピネコー(Turbo spin-echo: TSE)法やグラジエントエコー(Gradient-echo: GRE)法による造影MRIにおいて、3cm以下の肺癌は壊死を伴うことが少ないため均一に強く造影される(Figure 1)。一方結核腫においては乾酪壊死巣を伴うことが多いので、リング状に造影される(thin-rim enhancement sign)ことが知られている(Figure 2)。このことから、肺結節のうちで肺結核腫を肺癌から鑑別することはSE、TSE、GRE法による造影MRIにおいては可能とされてきた。⁵⁻⁷しかし、肺癌とその他の良性肺腫瘍との間には造影効果の重なりがあり、造影MRIのみでの鑑別は困難であった。

近年のMR装置及び撮像法の進歩は造影剤併用3次元超高速GRE法を用いるダイナミックMRIにより、全肺の肺循環及び体循環支配の評価を可能とし、肺腫瘍の血行動態支配をCTよりも高時間分解能かつ高精細に半定量的に行うことを可能とした。⁹この手法を用いることにより悪性腫瘍と結核腫並びに過誤腫などの非炎症性良性肺腫瘍の鑑別を行うことを可能とし、一部の器質化肺炎をのぞく急性炎症性肺腫瘍との鑑別も可能とした。⁹また、その診断能はFDG-PETを凌駕するものであり、かつ肺腫瘍を肺癌及び炎症性腫瘍等の“要生検群”と結核腫や過誤腫などの良性肺腫瘍である“生検不要群”に高正診率にて行うことが可能であり、ダイナミックMRIはCT検診等にて発見された肺腫瘍のマネージメントの決定に有用であることが示唆されている。⁹

2. 肺癌と二次変化の鑑別

MRIは肺癌と閉塞性無気肺や肺炎などの二次変化と鑑別にCT等の他の画像診断法に比して有用であるということは以前より知られている。⁷CTにおいてはたとえ造影剤を併用しようとも腫瘍と二次変化の造影効果がほぼ同等となり、鑑別が困難な場合がある。しかし、MRIのT2強調像(T2-weighted image: T2WI)においては閉塞

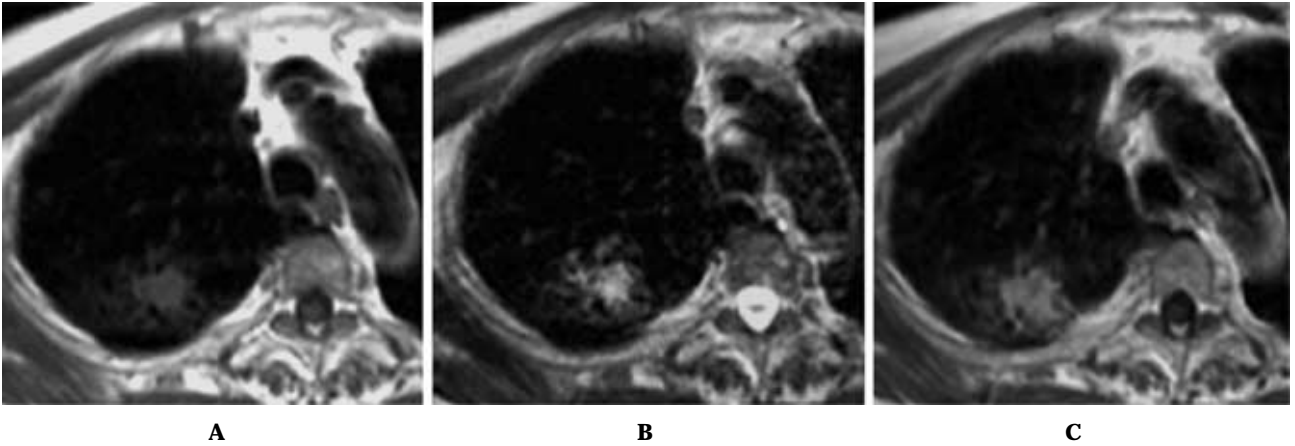


Figure 1. 67-year-old female with adenocarcinoma in the right upper lobe. **A.** On T1-weighted image, solitary pulmonary nodule (SPN) shows low signal intensity. **B.** On T2-weighted image, SPN demonstrates high signal intensity. **C.** On contrast-enhanced T1-weighted image, SPN shows homogeneous enhancement. (Ohno Y, Sugimura K, Hatabu H. MR imaging of lung cancer. *Eur J Radiol.* 2002;44:172-181 より許可を得て転載)

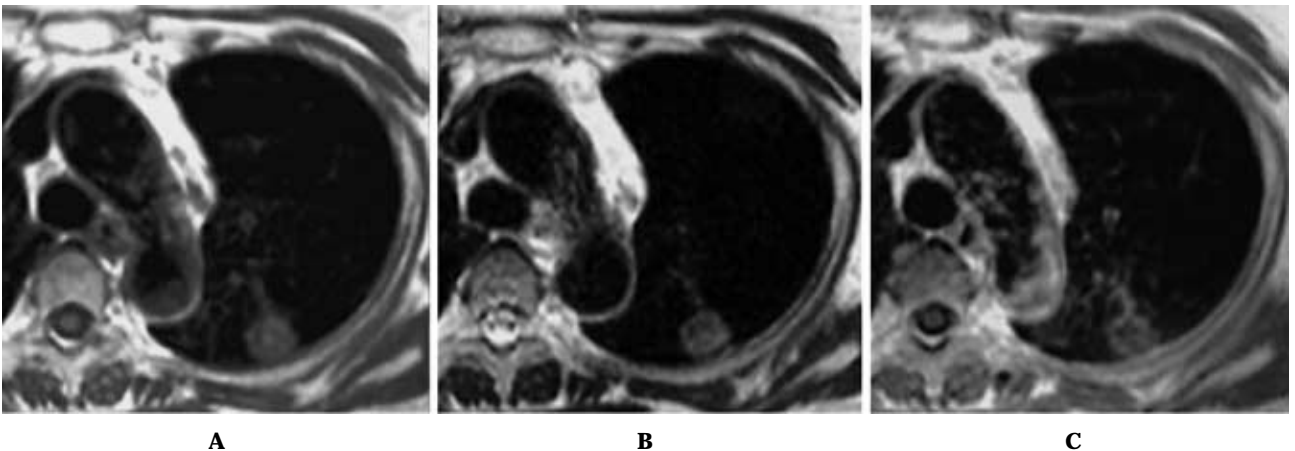


Figure 2. 67-year-old female with tuberculoma in the left upper lobe. **A.** On T1-weighted image, tumor shows low signal intensity. **B.** On T2-weighted image, tumor demonstrates low-intermediate signal intensity. **C.** On contrast-enhanced T1-weighted image, tumor shows ring enhancement. (Ohno Y, Sugimura K, Hatabu H. MR imaging of lung cancer. *Eur J Radiol.* 2002;44:172-181 より許可を得て転載)

性無気肺や肺炎はしばしば腫瘍よりも高信号になる^{1,5,7,8,10}。Bourgouninら¹⁰は手術が施行された閉塞性肺炎や無気肺を有する肺癌患者の術前MRIと病理標本を対比し、コレステロール肺炎やムチンがT2WIにおいて閉塞性肺炎や無気肺を高信号に描出する原因であるとした。また、造影剤を併用した造影T1WIを用いることによりT2WIよりも更に高診断能にて腫瘍と二次変化の鑑別をすることが可能であることが報告されている。Konoら⁷は27例の閉塞性肺炎や無気肺を合併した肺癌患者の造影MRIについて評価し、85%の患者において肺癌と無気肺も鑑別が可能であり、その内の78%が腫瘍は無気肺よりも低信号に描出され、残りの22%が高信号で描

出され、信号強度の違いは肺血管への腫瘍の浸潤の有無によるのではないかと報告している。

3. 縦隔浸潤診断

肺癌の縦隔浸潤は外科的治療の観点から大きく2群に分類される。というのも一般的にT因子がT3以下にとどまっている肺癌においては外科的治療が考慮されるが、T4の肺癌に対しては外科的治療は考慮されない。諸家の報告にもあるが、CTにおける肺門部・縦隔浸潤の診断能は感度40~84%、特異度57~94%¹¹⁻¹³とされている。CTの臨床応用開始以来、継続的にCTの撮像技術進歩はみられるものの、現状におけるCTによる肺門部・縦隔浸潤診断能の根本的な向上に関する報告はな

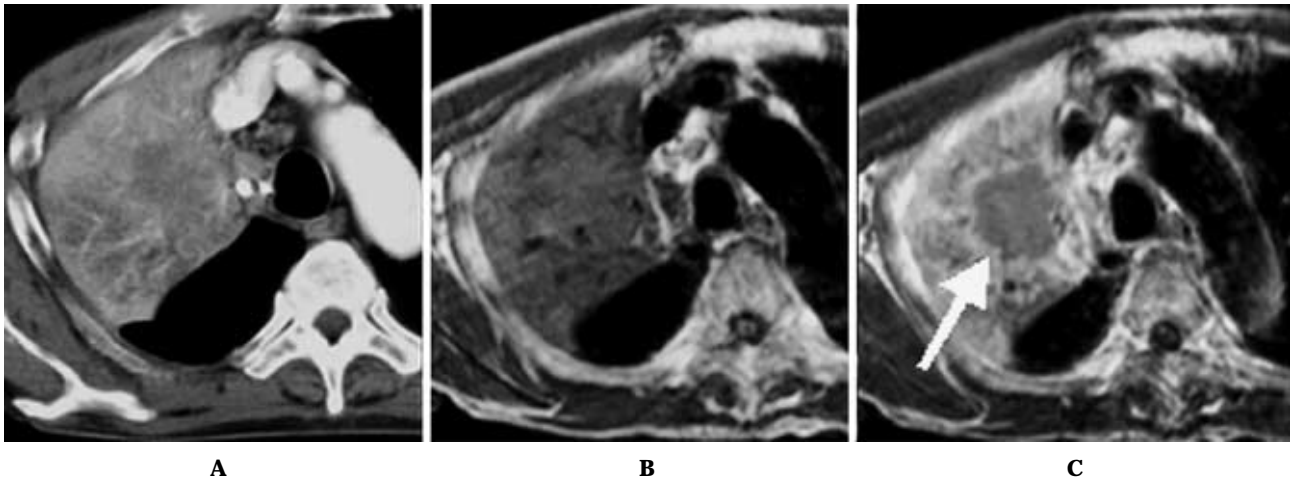


Figure 3. 79-year-old male with squamous cell carcinoma in the right upper lobe. **A.** On contrast-enhanced CT, it is difficult to distinguish lung cancer from obstructive pneumonia due to homogeneous enhancement. **B.** On T1-weighted image, tumor and obstructive pneumonia demonstrate same low signal intensity, and can not be differentiated. **C.** On contrast-enhanced T1-weighted image, obstructive pneumonia is well enhanced compared with lung cancer (arrow), and can be clearly separated. (Ohno Y, Sugimura K, Hatabu H. MR imaging of lung cancer. *Eur J Radiol.* 2002;44:172-181 より許可を得て転載)

く、依然として更なる検討が必要である、と考えられる。

1991年のRDOGの報告以来、縦隔浸潤や肺尖部への浸潤の診断において、MRIはCTに優るとされている。SE法ないしTSE法における心電同期T1WIにおいては、大血管がflow voidとして描出されること、心周囲の縦隔脂肪と腫瘍のコントラストが良いことにより、CTに比して診断能が改善したものと考えられる(Figure 4)。

近年、造影MRアンギオグラフィー(MR angiography: MRA)が臨床応用されるにいたり、新たな縦隔浸潤診断法として注目されている。¹⁴我々は50名の肺門部・縦隔浸潤が疑われた肺癌患者の造影CT、MRI及び心電非同期と心電同期造影MRAを撮像し、診断能を比較した。¹⁴造影MRAにおいてはTR、TE等の撮像パラメーターをOpposed-phaseに設定することにより腫瘍と臓器の間にある縦隔脂肪や血管内の造影剤と腫瘍の間における血管壁における急激な磁化率の変化などによって形成される無信号帯(Black-bangle sign)の有無により、浸潤を診断することができる。我々の検討においては造影MRAの縦隔・肺門部浸潤診断能は感度89~90%、特異度83~87%及び正診率は86~88%であり、造影CTやT1WIと比して有意に高く、その有用性が示唆されている。¹⁴

4. 胸壁浸潤診断

過去において胸壁浸潤は肺癌の外科的治療の適応ではなかったが、近年の外科治療の進歩により胸壁浸潤を伴った肺癌の外科的治療は考慮される場合もある、という見解も得られ始めている。したがって、術前の腫瘍の胸壁への進展の程度を評価することは、外科的治療計

画立案の観点からも有益であろうと考えられる。

一般に限局性の胸痛がもっとも信頼性のある胸壁浸潤の診断基準といわれているものの、それをのぞいた胸壁浸潤の画像診断基準としては、CTにおいては肋骨の骨破壊性変化が唯一の信頼に足る画像診断基準と考えられる。胸壁内の軟部腫瘍の存在は有意な所見であるものの、信頼に足る診断基準とはいえない。一方、MRIにおいてはその高い組織分解能と多断面からの観察が可能であるため、胸壁浸潤診断能がCTに勝るのではないかと考えられている。¹⁵T1WIにおいては胸壁浸潤をした肺癌と胸壁の間に信号強度の差はあまりなく、造影剤を投与することにより、胸壁構造よりも高い造影効果を示す、としている。一方、T2WIにおいては肺癌の胸壁浸潤の範囲は胸壁構造内の高信号として描出される。また、従来のMRIの概念を越えた新たな胸壁浸潤診断法として、Sakaiら¹⁶はGRE法による呼吸運動下シネMRIに関して報告している。呼吸運動下シネMRIによる胸壁浸潤診断は高い感度を示しているものの、炎症性の胸膜肥厚などが偽陽性となるため、特異度は低くなる傾向がみられる。

5. リンパ節転移診断

肺癌患者においてN因子の評価は治療の選択及び予後の観点において重要である。一般に非小細胞癌においてN1、N2においては外科治療法が考慮されるが、N3においては保存的治療法が選択される。CTやMRIにおけるリンパ節浸潤診断能における潜在的な限界により、欧米においては縦隔鏡による検査が用いられることが多い。^{1,17-19}CT、MRIにおける転移リンパ節の診断基準としてはリンパ節の短径がもっとも多く用いられる。しかし、

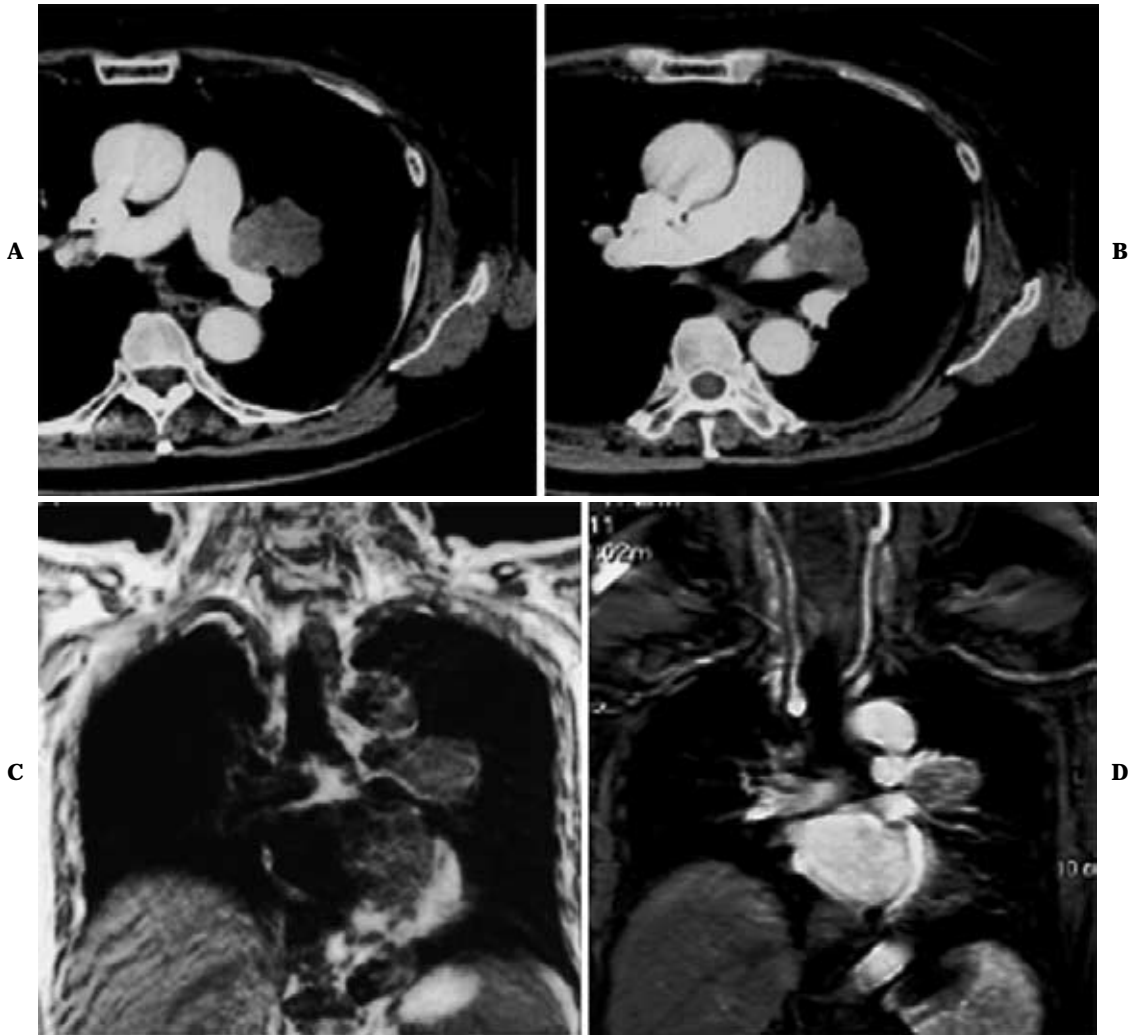


Figure 4. 68-year-old female with squamous cell carcinoma in the left upper lobe. **A, B.** On contrast-enhanced thin-section CT, invasion to pulmonary vein and mediastinum is suspected. **C.** On T1-weighted coronal image, invasion to pulmonary artery and mediastinum is suspected. **D.** Contrast-enhanced MR angiography clearly shows invasion to pulmonary artery and vein. However, mediastinal invasion is not observed. After left upper lobectomy, there is no evidence of mediastinal invasion. (Ohno Y, Sugimura K, Hatabu H. MR imaging of lung cancer. *Eur J Radiol.* 2002;44:172-181 より許可を得て転載)

その診断能は母集団の種類に影響をうけるものの一般に、感度、特異度ともに60~80%、65~90%とされ、CT、MRIの間に有意差はないとされている^{1,17-19}。一般に従来のMRIのT1WIは気管分枝部や大動脈、肺動脈、リンパ節の観察において、その多断面観察能からCTに優ると考えられている！

一方、PETにおいては、¹⁸F-FDGによる細胞のグルコース代謝の評価や¹¹C-cholineによる細胞のアミノ酸代謝の評価によるリンパ節転移診断能に関する研究がなされ、高い診断能を示している^{20,21}。従って、近年FDG-PETの臨床応用が急速に進められつつある。FDG-PETにおいては腫瘍細胞のグルコース代謝を画像化している点で

従来の画像診断法と異なり、新たな可能性を秘めている。しかし、細胞生物学的に炎症細胞においてもグルコース代謝が促進されることは知られており、アメリカの中西部や日本を含めたアジア地域など基礎疾患に結核等の炎症性肉芽腫を伴う場合において従来の画像診断と同様偽陽性が多いことが最近指摘されつつある。また、PET検査においては他の画像診断法に比して高コストであること、低空間分解能であること、日本においてはPET装置数が米国に比して決定的に少ないこと等のさまざまな問題点があることも指摘されている。

近年、新たな転移診断法としてMRIを用いた Short inversion time (TI) inversion recovery (STIR) 法のリンパ

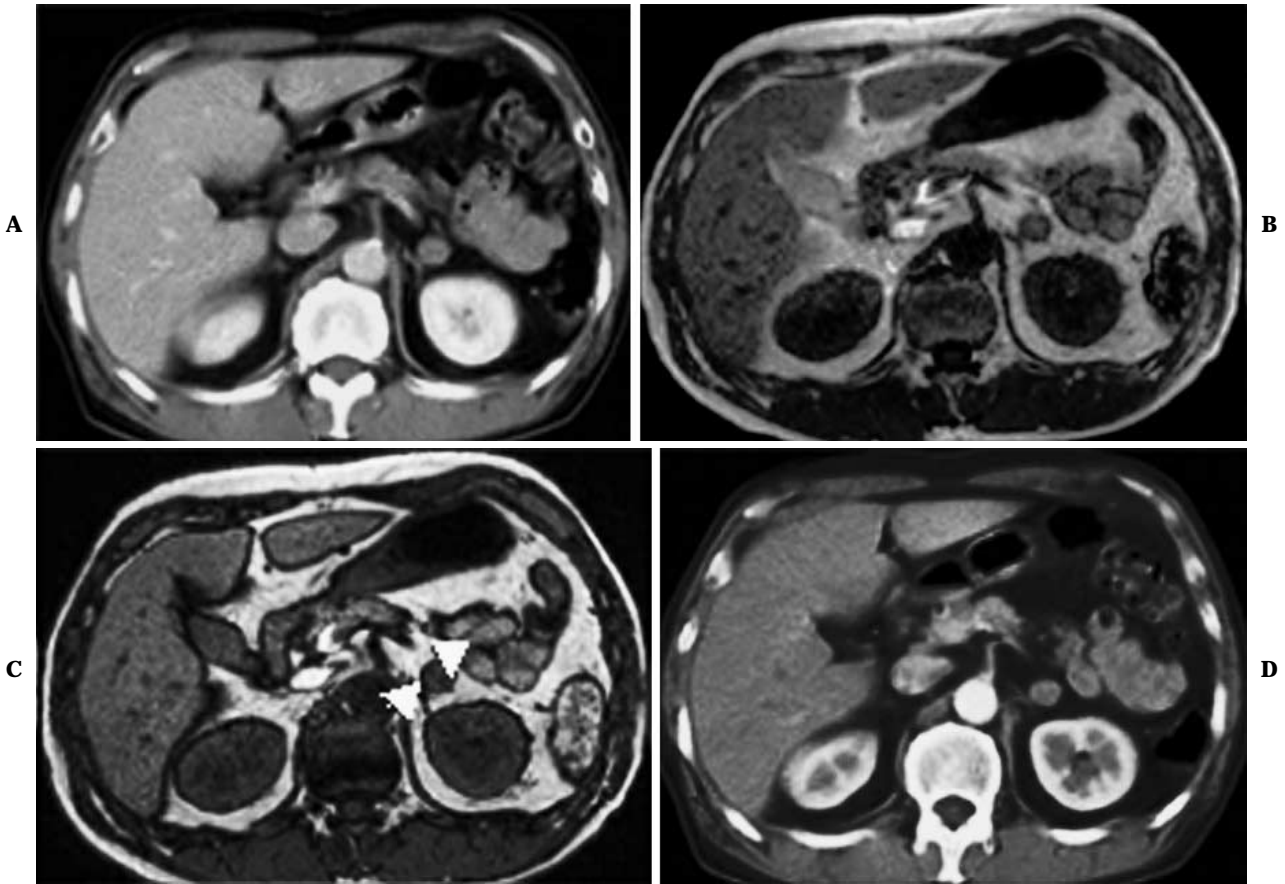


Figure 5. 63-year-old male with adenocarcinoma. **A.** Contrast-enhanced CT demonstrates swelling of left adrenal gland. Adrenal gland is homogeneously enhanced and metastasis from lung cancer is suspected. **B.** On abdominal in-phase gradient echo image, left adrenal mass shows enlargement and medium signal intensity. **C.** On abdominal opposed-phase gradient echo image, signal suppression (arrow head) due to fat component within the enlarged left adrenal gland is observed, and diagnosed as adenoma. **D.** On follow-up contrast-enhanced CT, thoracotomy after 1 year of demonstrates enlarged left adrenal gland. The size has not changed (Ohno Y, Sugimura K, Hatabu H. MR imaging of lung cancer. *Eur J Radiol.* 2002; 44:172-181 より許可を得て転載)

節転移診断や遠隔転移診断における有用性が示唆されている。^{22,23} また, Takenaka ら²³ は, 本法を縦隔リンパ節転移診断に応用するのみならず, 胸壁の生食ファントムとの信号強度比を用いて, 転移・非転移リンパ節の信号強度を半定量的に評価し, 感度 100%, 特異度 96%, 正診率 96% という高い診断能を得, PET をも凌駕する新たなリンパ節転移診断の可能性を示唆している。本法においては腫瘍組織及び非腫瘍組織固有の T1 及び T2 緩和時間の違いを信号強度に反映するのみならず, その相補により従来の T1WI や T2WI よりもより鋭敏に信号強度の差として画像化することができる。また, TI を 80~150 ms に設定することにより, 磁場の均一性が保ちにくい胸部領域においても, 良好な脂肪抑制画像を得ることを可能にし, CT とは異なる診断基準においてリンパ節転移を診断することを可能にしている。²³

6. 遠隔転移診断

肺癌の遠隔転移診断は治療法の選択及び予後の面から非常に重要である。しかし, 現状において遠隔転移診断法に関しては定まった方法は示されていない。²⁴

一般には CT にて上腹部転移(特に肝臓や副腎転移)を検索するが多い。単純 CT にて副腎転移を診断するには副腎の結節の CT 値を測定することにより, 副腎腺種と鑑別することができる。一般に副腎腺種においては腫瘍内に脂肪成分を含むことが多いため, 転移に比して低い CT 値を示すことが多い。一方, 臨床の MRI においては組織内のプロトン (^1H) を励起させることにより MR 信号を得ているが, 脂肪と水では周波数が磁場強度により若干異なる。このズレを利用した In-phase 及び Opposed-phase 画像において, Opposed-phase 画像にて脂肪が抑制されるため, 結節内に低信号が出現し, 視覚的にも簡

便に転移と腺種の鑑別ができる (Figure 5). Korobkin ら²⁵ は 51 の副腎病変に対して本法を用いて検討し、感度 100%, 特異度 81% と良好な結果を得ている。

無症状の外科治療可能な患者における脳転移検索において MRI の有用性は諸家の報告するところである。^{26,27} Yokoi ら²⁶ は 332 例の手術可能な無症状の非小細胞肺癌患者の CT, MRI における脳転移診断能に関する検討を行い、7% の患者に 12 ヶ月以内に脳転移が認められ、そのうち CT は 8.9% を診断し、MRI は 48.6% を診断し得た、としている。また、Earnest ら²⁷ は造影 MRI を無症状の外科治療可能な患者における脳転移検索にもちい、全体の 28% の患者において脳転移が認められ、その有用性を示唆している。

このような研究を踏まえ、最新の MRI においてはテーブル移動との併用による全身 MRI 検査も可能となり、乳癌等の全身精査における有用性が示唆されている。²⁸ 全身 MRI は各種 parallel imaging の手法との併用により、MD-CT と同等の空間分解能で、MRI の組織分解能を有し、各種撮像法や造影剤の併用により高診断能を得、且つ短時間で医療経済上も有用である、という可能性を秘めており、将来新たな遠隔転移診断法として脚光を浴びる可能性が高い。

7. 肺機能診断

肺癌患者においては喫煙や加齢及び慢性閉塞性肺疾患の合併によりしばしば低肺機能が認められるため、治療法決定における術前の肺機能評価や術後肺機能予測は重要である。現在は術前・後の肺機能検査が一般に用いられ、画像診断法としては換気・血流シンチが用いられる。換気・血流シンチの有用性は諸家の報告にもあるとおりであるものの、低空間分解能が大きな限界点として指摘されている。

近年 MRI を用いた肺機能画像法が急速に脚光を浴びている。MRI を用いた肺機能画像法は X 線被曝を伴わず、低浸襲で且つ定量的な画像診断法であり、従来の核医学検査の代替として大いに期待されている。肺癌患者に関する応用に関する報告は MRI においては酸素を吸入造影剤とした MR 換気画像法 (Oxygen-enhanced MRI)⁹ や高速 GRE 法とガドリニウム造影剤の併用による MR 血流画像 (MR perfusion imaging)³⁰ を用いたものがあり、局所肺機能評価能やその臨床的有用性および核医学検査の代替能に関して検討がなされ、臨床応用も試みられている。

結語

1991 年の RDOG の報告以来、肺癌における MRI の臨床応用に関する研究は一時停滞したものの、MR 装置、撮像法の進歩及び各種造影剤の併用は肺癌患者における

MRI 診断の有用性を急速に広げ、注目を集めている、というのが画像診断学及び核磁気共鳴医学における世界的趨勢である。MRI の臨床応用及び研究においては、様々な技術的問題点はあるものの、医学、工学、薬学、物理学、分子生物学等の様々な分野での研究が進むことにより進歩する可能性を秘めており、近い将来 MRI は肺腫瘍の質的診断、病期診断や肺機能診断を同時に短時間でという画像診断法になることは、十分予測され、医療経済上も役立つであろうと考える。

REFERENCES

1. Webb WR, Gatsonis C, Zerhouni EA, et al. CT and MR imaging in staging non-small cell bronchogenic carcinoma: report of the Radiologic Diagnostic Oncology Group. *Radiology*. 191;178:705-713.
2. Swensen SJ, Viggiano RW, Midthun DE, et al. Lung nodule enhancement at CT: multicenter study. *Radiology*. 2000;214:73-80.
3. Patz EF Jr, Lowe VJ, Hoffman JM, et al. Focal pulmonary abnormalities: evaluation with F-18 fluorodeoxyglucose PET scanning. *Radiology*. 1993;188:487-490.
4. Dewan NA, Gupta NC, Redepenning LS, et al. Diagnostic efficiency of PET-FDG imaging in solitary pulmonary nodules. *Chest*. 1993;104:997-1002.
5. Kusumoto M, Kono M, Adachi S, et al. Gadopentetate dimeglumine-enhanced magnetic resonance imaging for lung nodules: differentiation of lung cancer and tuberculosis. *Invest Radiol*. 1994;29:S255-S256.
6. Gückel C, Schnabel K, Deimling M, et al. Solitary pulmonary nodules: MR evaluation of enhancement patterns with contrast-enhanced dynamic snapshot gradient-echo imaging. *Radiology*. 1996;200:681-686.
7. Kono M, Adachi S, Kusumoto M, et al. Clinical utility of Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging in lung cancer. *J Thorac Imaging*. 1993;8:18-26.
8. White CS, Templeton PA, Belani CP. Imaging in lung cancer. *Semin Oncol*. 1993;20:142-152.
9. Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, et al. Dynamic MR Imaging of Solitary Pulmonary Nodules: Potential Role in Management-Initial Experience. *Radiology* (in press).
10. Bourgouin PM, McLoud TC, Fitzgibbon JF, et al. Differentiation of bronchogenic carcinoma from postobstructive pneumonitis by magnetic resonance imaging: histopathologic correlation. *J Thorac Imaging*. 1991;6:22-27.
11. Baron RL, Levitt RG, Sagel SS, et al. Computed tomography in the preoperative evaluation of bronchogenic carcinoma. *Radiology*. 1982;145:727-732.
12. Quint LE, Francis IR, Wahl RL, et al. Preoperative staging of non-small-cell carcinoma of the lung: imaging methods. *AJR Am J Roentgenol*. 1995;164:1349-1359.
13. Takahashi M, Shimoyama K, Murata K, et al. Hilar and mediastinal invasion of bronchogenic carcinoma: evaluation by thin-section electron-beam computed tomography. *J Thorac Imaging*. 1997;12:195-199.
14. Ohno Y, Adachi S, Motoyama A, et al. Multiphase ECG-

- triggered 3D contrast-enhanced MR angiography: utility for evaluation of hilar and mediastinal invasion of bronchogenic carcinoma. *J Magn Reson Imaging*. 2001;13:215-224.
- 15 . Bonomo L, Ciccotosto C, Guidotti A, et al. Lung cancer staging: the role of computed tomography and magnetic resonance imaging. *Eur J Radiol*. 1996;23:35-45.
 - 16 . Sakai S, Murayama S, Murakami J, et al. Bronchogenic carcinoma invasion of the chest wall: evaluation with dynamic cine MRI during breathing. *J Comput Assist Tomogr*. 1997;21:595-600.
 - 17 . McLoud TC, Bourgooin PM, Greenberg RW, et al. Bronchogenic carcinoma: analysis of staging in the mediastinum with CT by correlative lymph node mapping and sampling. *Radiology*. 1992;182:319-323.
 - 18 . Poon PY, Bronskill MJ, Henkelman RM, et al. Mediastinal lymph node metastases from bronchogenic carcinoma: detection with MR imaging and CT. *Radiology*. 1987;162:651-656.
 - 19 . Glazer GM, Gross BH, Aisen AM, et al. Imaging of the pulmonary hilum: a prospective comparative study in patients with lung cancer. *AJR Am J Roentgenol*. 1985;145:245-248.
 - 20 . Gupta NC, Graeber GM, Bishop HA. Comparative efficacy of positron emission tomography with fluorodeoxyglucose in evaluation of small (< 1 cm), intermediate (1 to 3 cm), and large (> 3 cm) lymph node lesions. *Chest*. 2000;117:773-778.
 - 21 . Higashi K, Nishikawa T, Seki H, et al. Comparison of fluorine-18-FDG PET and thallium-201 SPECT in evaluation of lung cancer. *J Nucl Med*. 1998;39:9-15.
 - 22 . Fujimoto K, Edamitsu O, Meno S, et al. MR diagnosis for metastasis or non-metastasis of mediastinal and hilar lymph nodes in cases of primary lung cancer: detectability, signal intensity, and MR-pathologic correlation. *Nippon Acta Radiol*. 1995;55:162-171.
 - 23 . Takenaka D, Ohno Y, Hatabu H, 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.
 - 24 . Wong J, Haramati LB, Rozenshtein A, et al. Non-small-cell lung cancer: practice patterns of extrathoracic imaging. *Acad Radiol*. 1999;6:211-215.
 - 25 . Korobkin M, Lombardi TJ, Aisen AM, et al. Characterization of adrenal masses with chemical shift and gadolinium-enhanced MR imaging. *Radiology*. 1995;197:411-418.
 - 26 . Yokoi K, Kamiya N, Matsuguma H, et al. Detection of brain metastasis in potentially operable non-small cell lung cancer: a comparison of CT and MRI. *Chest*. 1999;115:714-719.
 - 27 . Earnest F 4th, Ryu JH, Miller GM, et al. Suspected non-small cell lung cancer: incidence of occult brain and skeletal metastases and effectiveness of imaging for detection-pilot study. *Radiology*. 1999;21:137-145.
 - 28 . Walker R, Kessar P, Blanchard R, et al. Turbo STIR magnetic resonance imaging as a whole-body screening tool for metastases in patients with breast carcinoma: preliminary clinical experience. *J Magn Reson Imaging*. 2000;11:343-350.
 - 29 . Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, et al. Oxygen-enhanced MR ventilation imaging of the lung: preliminary clinical experience in 25 subjects. *AJR Am J Roentgenol*. 2000;177:185-194.
 - 30 . Ohno Y, Hatabu H, Higashino T, et al. Dynamic Perfusion MRI of the Lung versus Pulmonary Perfusion Scintigraphy: Prediction of Postoperative Lung Function in Lung Cancer Patients. *AJR Am J Roentgenol*. 2004;182:73-78.