

# 胸部 MR 検査における Minimum Requirement

大野 良治<sup>1</sup>, 尾西由美子<sup>2</sup>, 神山久信<sup>1</sup>, 野上宗伸<sup>2</sup>,  
竹中大祐<sup>1</sup>, 杉村和朗<sup>1</sup>

<sup>1</sup>神戸大学大学院医学系研究科内科系講座放射線医学分野 <sup>2</sup>先端医療センター PET 診療部

## はじめに

胸部領域においては CT の臨床的有用性はゆるぎないものである。また、換気血流シンチや 2-[fluorine-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose (以下, FDG) による positron emission tomography (以下, PET) 等の核医学検査は生体内代謝・機能イメージングが可能な唯一の画像診断法として現在広く臨床応用されている。そのような状況下で, MRI はその高い組織分解能やコントラスト分解能を利用して主に肺癌の局所浸潤診断や縦隔腫瘍の性状診断などに用いられるのみにとどまってきた。しかし, 近年の MR 装置および撮像法や各種画像解析ソフトの飛躍的進歩により, 胸部 MRI は形態診断のみならず機能診断を行うことが可能になりつつある。

本項においては胸部領域における MR 検査の目的およびこれだけは撮像しておかねばならない minimum requirement としての撮像法とその少し上の臨床研究用の撮像法に関して, 最新の知見を踏まえて述べる。

## 胸部 MR 検査

胸部における MR 検査は肺癌を含めた肺結節の質的診断や病期診断を目的とした場合と肺血栓塞栓症などの肺血管性疾患の精査を目的とした場合で大きく異なる。また, 胸腺腫などの縦隔, 胸壁および胸膜腫瘍の質的診断や進展範

囲診断を目的にした場合には肺癌に準じる。

現在国内・外の様々な施設で様々な MR 装置を用いて胸部 MR 検査用の撮像 protocol が用いられており, 一様に定めることは難しい。しかし, 本講座の意図をかながみて, 比較的過去の報告でその臨床的有用性を確認され, 一般的な 1.5T MR 装置で撮像可能な撮像 protocol を Table に各々の疾患ごとに記すので, 参考にしていただければ幸いである。

## 肺結節や腫瘍の質的診断

肺結節は一般に直径 30 mm 以下の限局性病変であり, CT, MRI や PET 等の検索対象と従来はなされていた。一般に胸部の形態診断において薄層 CT (thin-section CT) を含めた CT の果たす役割は大きく, 石灰化の検出や病変および病変辺縁の形状解析などで, その臨床的価値はゆるぎないものとしてきた。それら形態情報に付加する形で dynamic CT を用いた血行動態解析も行われ, 良・悪性の鑑別診断能改善が期待された時期もあったが, dynamic CT による血行動態解析では良性群と悪性群のパラメーター上の overlap が大きいため, 近年ではある種の造影効果の低い結節を“良性”と判断できるのみでその他の結節の良・悪性の鑑別は困難であるというのが一般的な見解である<sup>1)</sup>。

FDG-PET あるいは PET/CT は結節の糖代

キーワード chest, lung, mediastinum, MRI, contrast media

Table. MR Protocols for Chest Diseases

Aim	No.	Sequence	Suggestion
Pulmonary nodules	1*	Pre-contrast-enhanced ECG-gated T <sub>1</sub> weighted spin-echo or turbo spin-echo	Parallel image should be used.
	2*	ECG- and respiratory-gated T <sub>2</sub> weighted turbo spin-echo	Parallel image should be used.
	3*	Respiratory-gated Short TI Inversion-recovery (STIR) turbo spin echo	Parallel image should be used.
	4	Dynamic MRI with 3D ultra-fast T <sub>1</sub> -gradient echo or spin-echo	On spin-echo sequence, dynamic MR images should be obtained at 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 8 min after contrast media injection. On 3D ultra-fast T <sub>1</sub> -gradient echo sequence, dynamic MR images should be obtained at every 1.1 s after contrast media injection. Less than 30 min breath-holding are required, and spatial resolution should be maintained as high as possible.
	5*	Post contrast-enhanced ECG-gated T <sub>1</sub> weighted spin-echo or turbo spin-echo	Parallel image should be used.
Lung cancer staging	1*	Pre-contrast-enhanced ECG-gated T <sub>1</sub> weighted spin-echo or turbo spin-echo	Parallel image should be used.
	2*	ECG- and respiratory-gated T <sub>2</sub> weighted turbo spin-echo	Parallel image should be used.
	3*	Respiratory-gated Short TI Inversion-recovery (STIR) turbo spin echo	Parallel image should be used.
	4	Time-resolved MR angiography	Parallel imaging should be used, and spatial resolution should be maintain as high as possible.
	5*	Post contrast-enhanced ECG-gated T <sub>1</sub> weighted spin-echo or turbo spin-echo	Parallel image should be used.
Pulmonary vascular diseases	1*	ECG-gated Balanced-FFE or True-FISP	Parallel imaging should be used, and spatial resolution should be maintain as high as possible.
	2	Dynamic MR perfusion imaging with 3D ultra-fast T <sub>1</sub> -gradient echo	Dynamic MR perfusion images should be obtained at every 1.1 s after contrast media injection. Less than 30 min breath-holding are required, and spatial resolution should be maintained as high as possible.
	3*	Time-resolved MR angiography	Parallel imaging should be used, and spatial resolution should be maintain as high as possible.
Mediastinal and chest wall tumor	1*	Pre-contrast-enhanced ECG-gated T <sub>1</sub> weighted spin-echo or turbo spin-echo	Parallel image should be used.
	2*	ECG- and respiratory-gated T <sub>2</sub> weighted turbo spin-echo	Parallel image should be used.
	3	Respiratory-gated Short TI Inversion-recovery (STIR) turbo spin echo	Parallel image should be used.
	4*	Post contrast-enhanced ECG-gated T <sub>1</sub> weighted spin-echo or turbo spin-echo	Parallel image should be used.

\*: Minimum requirement

2007年8月6日受理

別刷請求先 〒650-0017 兵庫県神戸市中央区楠町7-5-2 神戸大学大学院医学系研究科内科系講座放射線医学分野 大野良治

謝を評価することで肺結節の良・悪性の鑑別診断を高感度および高特異度でできるとの報告がなされたため、dynamic CT に変わる新たな良・悪性鑑別診断法としてその臨床応用に期待がもたれていた。しかし、FDG-PET においては 1 cm 以下の結節、カルチノイド腫瘍や気管支肺胞上皮癌（bronchioalveolar carcinoma : BAC）のような代謝活性の低い腫瘍が偽陰性となる。また、炎症性疾患や結核、器質性肺炎およびサルコイドーシス等の肉芽腫性疾患は偽陽性になり、全体の感度は 96%（83~100%）、特異度は 79%（52~100%）、正診率 91% と報告されている<sup>2)</sup>。したがって、FDG-PET や PET/CT においても十分な診断能を有しているとは言い難い。

MRI においてもある種の嚢胞性疾患では T<sub>1</sub>強調像（T<sub>1</sub>WI）と T<sub>2</sub>強調像（T<sub>2</sub>WI）で診断可能なものもあるが<sup>3),4)</sup>、大半は T<sub>1</sub>WI で筋肉と同程度の低信号、T<sub>2</sub>WI で筋肉よりも高信号を呈するため単純な信号強度解析のみでの良・悪性の鑑別は困難である。そのため、ガドリニウム（Gd）造影剤を用いた造影前後での信号強度変化を用いた造影 MRI による良・悪性鑑別診断が行われる。肺結節および腫瘍においては Gd 造影剤の投与により血流のある組織は造影効果を受けるが、血流のない凝固壊死部や融解壊死部は造影効果を受けない。一般に 3 cm 以下の比較的小さな肺癌においては内部にマクロ病理レベルにおける壊死部をほとんど含まないため均一に造影される。しかし結核腫などの良性腫瘍では、腫瘍内には血流の乏しい乾酪壊死部の存在や病変の血流が低いためリング状あるいは造影効果が低く描出される。したがって、両者の間における信号強度変化には有意差があり、鑑別診断の一助となる<sup>5),6)</sup>。また、spin-echo 法を用いた dynamic MRI においては造影効果や造影剤の washout 効果において肺腺癌の中においても差が見られ、予後予測因子として用いることが可能であることも示唆されている<sup>7)</sup>。

Spin-echo 法を用いた dynamic MRI に変わる新たな dynamic MRI として dynamic perfusion MRI に用いられている超高速 gradient-echo 法を使用した dynamic MRI の有用性が提唱されている。本法においては全肺の 3 次元データを約 1 秒ごとに取得することが可能であり、肺および体循環による肺結節および腫瘍の血流支配や tumor angiogenesis を半定量的に評価することも可能である<sup>8)</sup>（Figs. 1, 2）。本法を用いることにより、10 mm 以上の肺結節および腫瘍の良・悪性の鑑別診断能は感度 100%、特異度 85%、正診率 95% であり、FDG-PET をも凌駕することも可能になりつつある<sup>8)</sup>。また、本法による血行動態の解析は、過去の病理学的および放射線診断学的知見によく合致するのみならず、孤立性肺結節を要生検群（悪性腫瘍と急性炎症性結節）と生検不要群（良性腫瘍と陳旧性炎症性結節）とに高い診断能で鑑別することも可能であり、従来の CT や核医学とは異なった手法で、検診等で発見された肺結節の management に役立つものと考えられる。また、本法による血流診断の応用により CT よりも正確に肺腺癌の分化度の推定も可能となり、縮小手術の適応決定などへの応用も示唆されている<sup>9)</sup>。

## 肺癌病期診断

### 1. T 因子診断

肺癌における T 因子診断は手術適応および手術範囲の決定に重要である。T 因子診断は大きく、縦隔・肺門部浸潤、胸壁浸潤、葉間胸膜浸潤および椎体や大血管への浸潤に分けられる。T 因子診断能に関しては 1991 年の radiologic diagnostic oncologic group のレポートにあるように、CT・MRI でその診断能に差がない<sup>10)</sup>とされているが、縦隔浸潤、胸壁浸潤に関しては当初から MRI が有用であるとされている。

2000 年前後に臨床応用された造影 MR an-

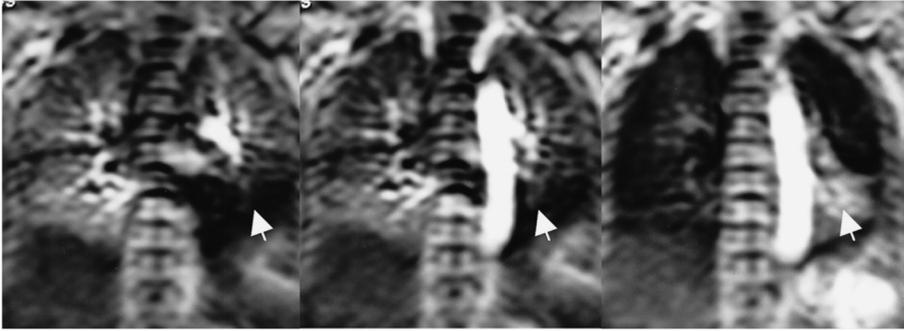


Fig. 1. 71-year-old male with primary lung cancer (adenocarcinoma) in the left lower lobe. (reprinted from reference 8)

Dynamic MR images (L to R : t=9.9 s, t=11.0 s and t=18.7 s) demonstrate the enhancement effect of SPN (arrow), which received from systemic circulation. Note that t indicates the time after bolus injection of contrast media.

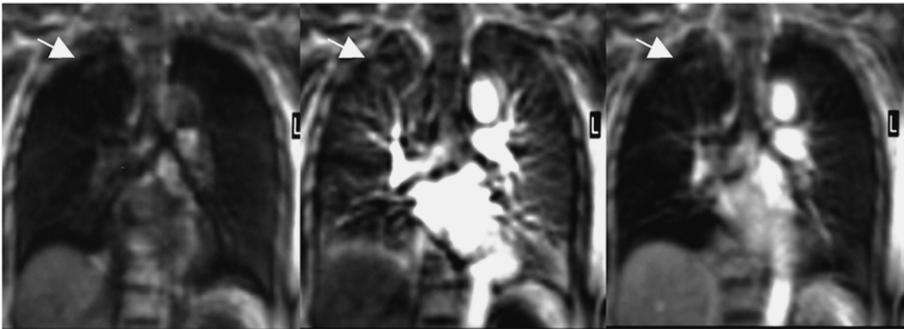


Fig. 2. 56-year-old male with tuberculoma in the right upper lobe. (reprinted from reference 8)

Dynamic MR images (L to R : t=0 s, t=12.1 s and t=23.1 s) demonstrate the little enhancement effect of SPN (arrow), which received systemic circulation.

giography (以下, MRA) の臨床応用により, 左房浸潤や縦隔・肺門部浸潤の診断能改善に造影 MRA が有用であるという報告もなされている<sup>11),12)</sup>. これらの報告の意味するところは主に, CT が横断面での観察であるのに対して, MRI および MRA は任意断面での観察が可能であり, 造影剤により肺動・静脈および大血管を高信号に描出し腫瘍との組織コントラストをつけることにより, 診断能を改善しているものと考えられる. また, short inversion time (TI) inversion recovery (STIR) 画像は胸壁の

脂肪や筋肉の信号を抑制し, 腫瘍の浸潤範囲を高い組織コントラスト分解能により明瞭に描出するため有用と考えられる. しかし, 近年の MDCT の普及と thin-section MPR 画像の臨床応用により, 造影 CT の T 因子診断能は格段に改善されたため<sup>13)</sup>, 現在の MRI 検査の主たる目的に T 因子診断が挙げられる場合は少なくなり, あくまで thin-section MPR 画像に対して相補的に用いるにとどまるものとも考えられる. しかし, short inversion time (TI) inversion recovery (STIR) 画像は胸壁の脂肪や筋

肉の信号を抑制し、腫瘍の浸潤範囲を明瞭に描出するため、放射線治療の照射野決定や胸壁合併切除術の surgical margin の決定に有用であると考えられる (Fig. 3).

## 2. N 因子診断

肺癌患者において N 因子の評価は治療の選択および予後の観点において重要である。一般に CT, MRI における N 因子診断はリンパ節の短径によっている。従来報告では、CT, MRI におけるリンパ節転移の感度・特異度はそれぞれ 52~69, 69~71%<sup>10)</sup>とされている。特にアジア人ではその 8.3%に陳旧性肺結核などによる 10 mm 以上の縦隔リンパ節を有しており、逆に正常サイズのリンパ節を有しながら微小な転移を有する肺癌患者は 3~64%に見られるとの報告もある<sup>14)</sup>。これらの要素が本邦でのリンパ節転移診断を困難にしている。

FDG-PET では CT に比して縦隔リンパ節診断能が高いと欧米で示唆され、その臨床応用に期待がもたれたが、昨今の本邦あるいは韓国などの研究においては陳旧性肺結核やサルコイドーシス等を基礎疾患に有するため、その診断能は欧米の報告に比して低い傾向があることが

示唆されている<sup>15)~17)</sup>。

また、MRI においては従来の T<sub>1</sub> および T<sub>2</sub> 強調像のみを使用した場合には気管分岐部や A-P window のリンパ節の評価が容易になるものの、CT と同様の診断基準を用いるため診断能の劇的な改善は望めない<sup>10),14)</sup>。したがって、新たな転移診断法の開発は急務とされてきた。MRI を用いた新たな転移リンパ節診断法として現在臨床実用可能であるものは呼吸同期 (および心電あるいは脈派同期) short inversion time (TI) inversion recovery (STIR) 法によるリンパ節転移診断である<sup>18)~20)</sup>。一般に STIR 法では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が可能であるのみならず、腫瘍組織および非腫瘍組織固有の T<sub>1</sub> および T<sub>2</sub> 緩和時間の違いを信号強度に反映し、その相補により従来の T<sub>1</sub>WI や T<sub>2</sub>WI 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。一般に転移リンパ節は高信号に描出され、非転移リンパ節は低信号に描出される (Figs. 4, 5)。STIR 法の転移リンパ節診断能は感度 88~100%, 特異度 86~96%, 正診率 86~96%と報告されており、

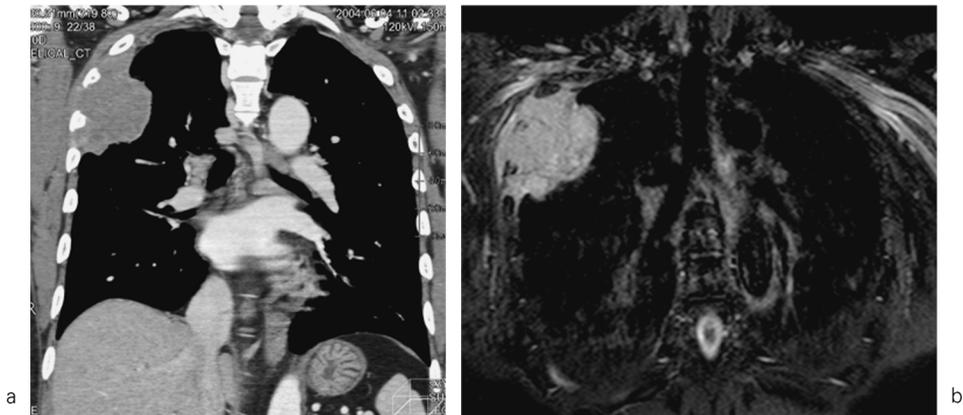


Fig. 3. 56-year-old male with squamous cell carcinoma  
 a : Although thin-section MPR image suggests chest wall invasion, tumor extent is not clearly demonstrated. b : STIR turbo SE imaging suggests chest wall invasion, and also clearly demonstrates tumor extent.

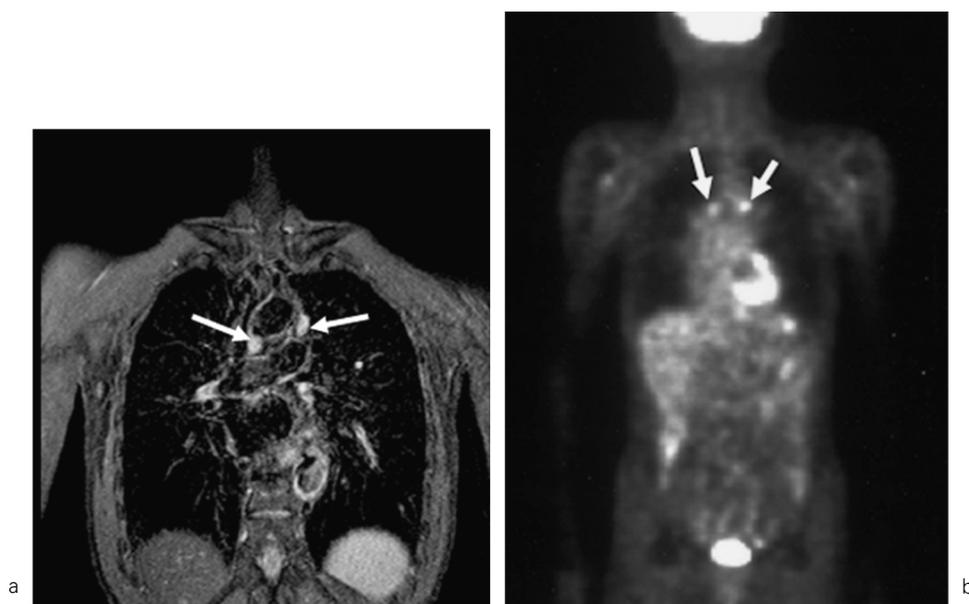


Fig. 4. 70-year-old male with mediastinal lymphnode metastases from adenocarcinoma  
 a : Metastatic lymphnodes (arrows) are depicted as high signal intensity on STIR turbo SE imaging. b : Metastatic lymphnodes (arrows) also demonstrate high uptakes of FDG on PET.

PET や PET/CT と同等あるいはより高い診断能でリンパ節転移診断が可能であることも示唆されている<sup>18)~20)</sup>。本法においてはリンパ節の短径の評価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ため、今後の臨床応用での有効性の証明に期待がもてる<sup>18)~20)</sup>。

#### 肺血管性疾患への応用

造影剤の急速静注、高速 gradient-echo 法の活用やパラレルイメージングの臨床導入により、造影高時間・空間分解能 MRA (以下、time-resolved MRA) の臨床応用が可能になってきたので<sup>21)</sup>、従来胸部 MR 検査の対象としにくかった肺動静脈瘻や肺分画症等の先天性肺血管奇形や肺血栓・塞栓症も胸部 MR 検査の適応になりつつある。

肺動静脈瘻においては肺動静脈瘻の描出能、

流入血管・流出血管の径の計測に関して造影 MRA と CT angiography との間に有意差はなく、塞栓術後の治療効果判定における瘤内の血流変化やフォローアップにおいてヨード系造影剤を使用する CT に比して安全であり、有用であると考えられる<sup>22)</sup>。

肺分画症においては異常動・静脈の描出や分画肺の範囲の同定等の従来では血管造影や核医学検査で行ってきたことが非侵襲的に行うことが可能になり、その臨床的有用性は高まっている。

肺血栓・塞栓症における従来の造影 MRA の診断能では本幹、左右主幹および葉枝レベルや区域枝レベルにおいては造影 CT と同等であるとされてきたものの、亜区域枝レベルにおいては CT が若干高いことが示唆されている<sup>23)</sup>。しかし、現在臨床応用されている MDCT の出現により、MDCT を用いた CT angiography (以下、CTA) の診断能の飛躍的向上のため、従来の造影 MRA のもつ有用性には限界があると

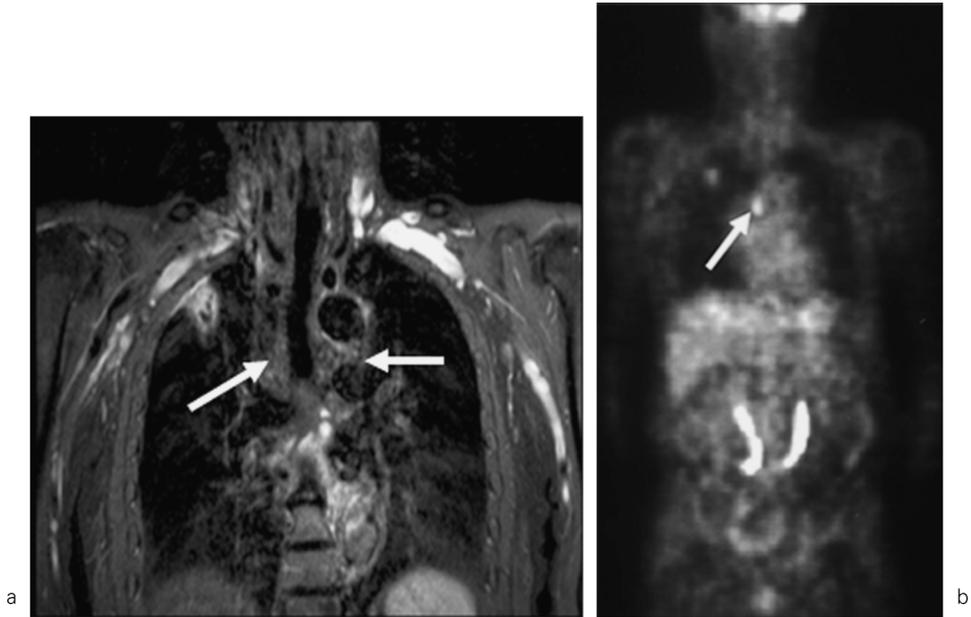


Fig. 5. 70-year-old male with non metastatic mediastinal lymphnodes  
 a : Mediastinal lymphnodes (arrows) are depicted as low signal intensity on STIR turbo SE imaging, and diagnosed as non-metastatic lymph nodes. b : Mediastinal lymphnodes (arrow) demonstrate high uptakes of FDG on PET, and are diagnosed as metastatic lymphnodes. This case is false-positive on FDG-PET.

考えられる。しかし、time-resolved MRA においては CTA の MPR 画像と同等の高分解能を有しつつ、肺末梢循環を肺血流シンチ同様の灌流情報をもった多相 dynamic study として評価することが可能である (Fig. 6)。そのため、本手法を用いることによって、time-resolved MRA の定性評価は CTA および肺血流シンチに比して高い診断能を示し、臨床上肺血流シンチの代用として造影 MDCT 検査と相補的に用いることもできるし、治療効果判定を単独で評価することも可能であり<sup>24)</sup>、臨床実用レベルにあると考えられる。

さらに、time-resolved MRA の時間分解能を 1 秒前後に向上することにより dynamic perfusion MRI を行うことも現在の 1.5T 臨床用の MR 装置では可能になっている<sup>25)~33)</sup>。Dynamic perfusion MRI では定性的に肺局所

血流解析ができるのみならず、核医学検査と同様にその信号強度変化から種々の解析理論を用いて各種の肺局所血流パラメーター (肺血流量 [pulmonary blood flow : PBF], 肺血液量 [pulmonary blood volume : PBV], 平均通過時間 [mean transit time : MTT]) の定量評価が可能となる<sup>25)~33)</sup>。Dynamic perfusion MRI で測定された局所肺血流量は核医学検査による局所肺血流量と比して  $\pm 10\%$  以下の誤差しか有さないのみならず、肺癌患者の術後肺機能の評価においては核医学検査よりも正確に評価することが可能である<sup>30)</sup>。また、原発性および二次性肺高血圧症の病態生理解析が可能であることも示唆され、非侵襲的に病態解析や薬効評価なども可能になることから、今後の研究成果に期待がもたれている<sup>31)~33)</sup>。しかし、これらの機能診断法として dynamic perfusion MRI を用

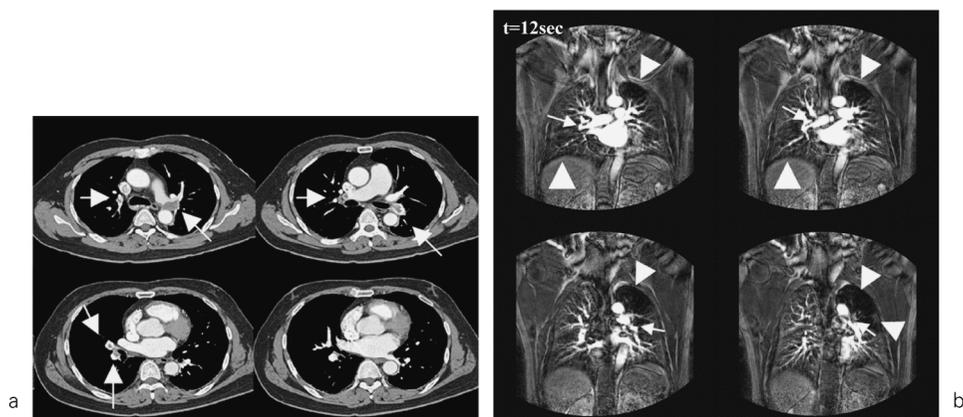


Fig. 6. 45-year-old male with pulmonary thromboembolism. (reprinted from reference 24)  
 a : Contrast-enhanced MD-CT demonstrates the thrombi (arrows) in trunks anterior, right interlobar artery, middle and lower lobe pulmonary arteries, left pulmonary artery, left upper lobe trunk and descending trunk on the left. b : Source images of time-resolved contrast-enhanced MR angiography using SENSE demonstrates the thrombi (arrows) in trunks anterior, right interlobar artery, left pulmonary artery, left upper lobe trunk and descending trunk on the left, and perfusion defect (arrow head) in left superior segment of lower lobe. Reduced pulmonary blood flow (large arrow head) in right middle and lower lobes indicates a high probability of PE in the right middle and lower lobe pulmonary arteries.

いる場合には画像解析ソフトが必要であることも知られており、医用工学分野との共同研究やワークステーションメーカーなどの協力も必要になる。

また、time-resolved MRA および定性的な dynamic perfusion MRI による肺灌流評価においては通常の Gd 造影剤のシリンジ製剤 (0.5 mmol/mL) の 5~10 mL を 5 mL/s で急速静注し、生理食塩水 20 mL を同様の注入速度で注入することにより、良好な画像を得ることが可能であるが、定量評価を行う場合には肺動脈本幹の血流を入力関数 (arterial input function) にして、deconvolution 法で求めるため、造影剤濃度と信号強度の間に直線相関関係を維持する必要がある。したがって、各施設での撮像法における信号強度と造影剤濃度の関係を吟味して、撮像法を決めることが必要である。我々の検討では 70 kg 未満の人には 0.3 mmol/mL の造影剤 5 mL を 5 mL/s で急速静注し、70 kg

以上の人には 0.5 mmol/mL の造影剤 5 mL を 5 mL/s で急速静注した場合比較的再現性が良く、他の手法で求めた PBF との誤差が少なかったため、現在はこの造影方法を採用している<sup>34)</sup>。

現在は time-resolved MRA や dynamic perfusion MRI などの造影剤の急速静注と高速 gradient-echo 法を併用した MR 検査が主流ではあるが、今後は非造影 MRA や非造影の MR 灌流画像である arterial spin labeling (以下, ASL) による肺血流パラメーター評価も臨床応用されてくる可能性がある。ASL には arterial spin-tagging (以下, AST) および flow-sensitive alternating inversion recovery (以下, FAIR) や flow-sensitive alternating inversion recovery with an extra radiofrequency pulse (以下, FAIRER) などの手法もあり、臨床応用が試みられるとともに、定量的肺血流パラメーターの評価を求めることも試みられてい

る<sup>35)~37)</sup>。また、心電同期高速 spin-echo 法を応用し、収縮期および拡張期の画像の差分より肺血流を定性的に評価する方法もある<sup>38)</sup>。しかし、これらの方法はなお研究レベルでとどまっており、臨床応用の可能な装置も限られることから、今後の臨床研究や撮像法の簡便化などの装置メーカーの普及にむけての努力は必要である。

また、非侵襲的な肺循環パラメーターの評価法としては phase-contrast MRI も現在再評価をうけつつある。本法は造影剤を使用することなく、時間-流速曲線（以下、time-velocity curve）を測定することにより、各種パラメーターを算出し、健常者および原発性並びに二次性肺高血圧患者の病態生理解析などを行うことも可能であり、今後の研究成果によりさらに研究が進む可能性も秘めている<sup>39)~41)</sup>。

#### 縦隔・胸壁・胸膜腫瘍への応用

縦隔，胸壁および胸膜腫瘍において MRI は

主に存在診断，質的診断および進展範囲診断に用いられる<sup>42)~46)</sup>。その理由は良好な組織コントラストに起因するものと考えられる。縦隔，胸壁および胸膜腫瘍はその発生部位によって、ある程度鑑別すべき疾患に限られるため、それらの疾患を念頭において T<sub>1</sub>強調像，T<sub>2</sub>強調像および造影 T<sub>1</sub>強調像で組織性状診断を行い，質的診断を行う<sup>42)~46)</sup>。また、これらの腫瘍においては一般に主 T<sub>1</sub>強調像の横断像や冠状断像および矢状断像で進展範囲を評価するが（Fig. 7），神経原性腫瘍や胸膜中皮腫等の一部の腫瘍においては T<sub>2</sub>強調像あるいは STIR 画像の横断像や冠状断像および矢状断像での評価が適している場合がある（Fig. 7）。各腫瘍の一般的な画像所見や特徴的所見に関しては他書を参考にさせていただきたい。

#### ま と め

胸部領域における MR 検査の目的および minimum requirement としての撮像法に関し

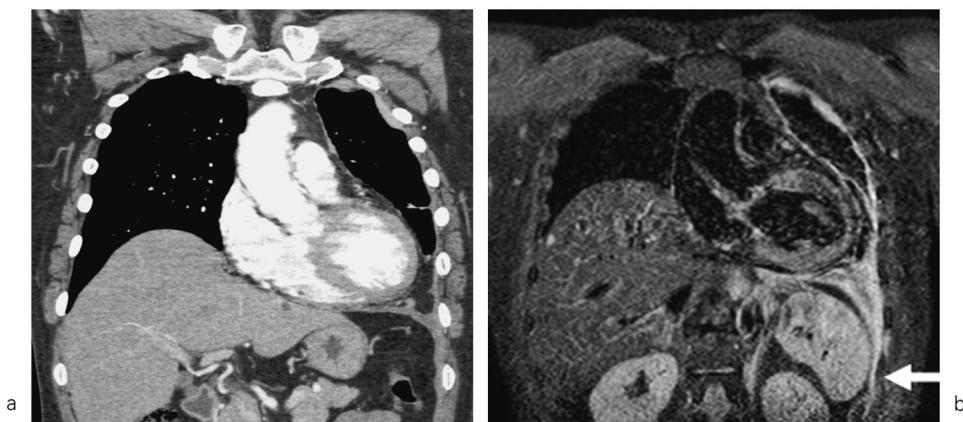


Fig. 7. 57-year-old with malignant mesothelioma  
 a : Thin-section MPR image demonstrates diffuse pleural thickening in the left hemithorax, and suspected malignant mesothelioma in T2 stage. b : STIR turbo SE image demonstrates diffuse pleural and peritoneal thickening as high signal intensity, and suggested malignant mesothelioma in T4 stage. This case is true-positive on STIR turbo SE image, and false-negative on thin-section MPR image.

て、最新の知見を踏まえて述べた。今後も様々な撮像技術の進歩等により胸部領域のMR検査は形態診断のみの画像診断法から機能診断をも包括した画像診断法に変化する可能性を秘めている。したがって、現在の minimum requirement としての撮像法のみならず、広く臨床研究に使用されている撮像法などにも精通し、積極的に新たな撮像法の臨床応用を試み、その知見を共有することも重要と考える。

## 文 献

- 1) Swensen SJ, Viggiano RW, Midthun DE, et al. : Lung nodule enhancement at CT : multicenter study. *Radiology* 2000 ; 214 : 73-80
- 2) Fischer BM, Mortensen J, Hojgaard L : Positron emission tomography in the diagnosis and staging of lung cancer : a systematic, quantitative review. *Lancet Oncol* 2001 ; 2 : 659-666
- 3) Barakos JA, Brown JJ, Brescia RJ, Higgins CB : High signal intensity lesions of the chest in MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1989 ; 13 : 797-802
- 4) Sakai F, Sone S, Kiyono K, et al. : MR of pulmonary hamartoma : pathologic correlation. *J Thorac Imaging* 1994 ; 9 : 51-55
- 5) Kono M, Adachi S, Kusumoto M, Sakai E : Clinical utility of Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging in lung cancer. *J Thorac Imaging* 1993 ; 8 : 18-26
- 6) Kono R, Fujimoto K, Terasaki H, 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
- 7) Fujimoto K, Abe T, Muller NL, et al. : Small peripheral pulmonary carcinomas evaluated with dynamic MR imaging : correlation with tumor vascularity and prognosis. *Radiology* 2003 ; 227 : 786-793
- 8) 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
- 9) Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, et al. : Dynamic MR imaging : value of differentiating subtypes of peripheral small adenocarcinoma of the lung. *Eur J Radiol* 2004 ; 52 : 144-150
- 10) Webb WR, Gatsouris S, Zerhouni EA et al. : CT and MR imaging in staging non-small cell bronchogenic carcinoma : report of the Radiology Diagnostic Oncology Group. *Radiology* 1991 ; 178 : 705-713
- 11) Takahashi K, Furuse M, Hanaoka H, et al. : Pulmonary vein and left atrial invasion by lung cancer : assessment by breath-hold gadolinium-enhanced three-dimensional MR angiography. *J Comput Assist Tomogr* 2000 ; 24 : 557-561
- 12) Ohno Y, Adachi S, Motoyama A, et al. : Multi-phase 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
- 13) Higashino T, Ohno Y, Takenaka D, 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
- 14) Chern MS, Wu MH, Chang CY : CT and MRI for staging of locally advanced non-small cell lung cancer. *Lung Cancer* 2003 ; 42 (Suppl 2) : S5-8
- 15) Shim SS, Lee KS, Kim BT, et al. : Non-small cell lung cancer : prospective comparison of integrated FDG PET/CT and CT alone for preoperative staging. *Radiology* 2005 ; 236 : 1011-1019
- 16) Kim BT, Lee KS, Shim SS, et al. : Stage T1 non-small cell lung cancer : preoperative mediastinal nodal staging with integrated FDG PET/CT—a prospective study. *Radiology* 2006 ; 241 : 501-509
- 17) Kim YK, Lee KS, Kim BT, et al. : Mediastinal nodal staging of nonsmall cell lung cancer using integrated 18F-FDG PET/CT in a tuberculosis-endemic country : diagnostic efficacy in 674 patients. *Cancer* 2007 ; 109 : 1068-1077
- 18) Fujimoto K, Edamitsu O, Meno S, et al. : MR diagnosis for metastasis or non-metastasis of mediastinal and hilar lymph nodes in cases of pri-

- mary lung cancer : detectability, signal intensity, and MR-pathologic correlation. *Nippon Acta Radiol* 1995 ; 55 : 162-171
- 19) 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
  - 20) Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, 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
  - 21) Ohno Y, Kawamitsu H, Higashino T, et al. : Time-resolved contrast-enhanced pulmonary MR angiography using sensitivity encoding (SENSE). *J Magn Reson Imaging* 2003 ; 17 : 330-336
  - 22) Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, Adachi S, Hirota S, Sugimura K. Contrast-enhanced MR perfusion imaging and MR angiography : utility for management of pulmonary arteriovenous malformations for embolotherapy. *Eur J Radiol* 2002 ; 41 : 136-146
  - 23) Meaney JF, Weg JG, Chenevert TL, Stafford-Johnson D, Hamilton BH, Prince MR. Diagnosis of pulmonary embolism with magnetic resonance angiography. *N Engl J Med* 1997 ; 336 : 1422-1427
  - 24) Ohno Y, Higashino T, Takenaka D, et al. : MR angiography with sensitivity encoding (SENSE) for suspected pulmonary embolism : comparison with MDCT and ventilation-perfusion scintigraphy. *AJR Am J Roentgenol* 2004 ; 183 : 91-98
  - 25) Hatabu H, Gaa J, Kim D, Li W, Prasad PV, Edelman RR : Pulmonary perfusion : qualitative assessment with dynamic contrast-enhanced MRI using ultra-short TE and inversion recovery turbo FLASH. *Magn Reson Med* 1996 ; 36 : 503-508
  - 26) Hatabu H, Gaa J, Kim D, Li W, Prasad PV, Edelman RR: Pulmonary perfusion and angiography : evaluation with breath-hold enhanced three-dimensional fast imaging steady-state precession MR imaging with short TR and TE. *AJR Am J Roentgenol* 1996 ; 167 : 653-655
  - 27) Hatabu H, Tadamura E, Levin DL, et al. : Quantitative assessment of pulmonary perfusion with dynamic contrast-enhanced MRI. *Magn Reson Med* 1999 ; 42 : 1033-1038
  - 28) Amundsen T, Torheim G, Waage A, Bjermer L, Steen PA, Haraldseth O : Perfusion magnetic resonance imaging of the lung : characterization of pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease. A feasibility study. *J Magn Reson Imaging* 2000 ; 12 : 224-231
  - 29) Levin DL, Chen Q, Zhang M, Edelman RR, Hatabu H : Evaluation of regional pulmonary perfusion using ultrafast magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med* 2001 ; 46 : 166-171
  - 30) Ohno Y, Hatabu H, Higashino T, et al. : Dynamic perfusion MRI versus perfusion scintigraphy : prediction of postoperative lung function in patients with lung cancer. *AJR Am J Roentgenol* 2004 ; 182 : 73-78
  - 31) Ohno Y, Hatabu H, Murase K, et al. : Quantitative assessment of regional pulmonary perfusion in the entire lung using three-dimensional ultrafast dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging : preliminary experience in 40 subjects. *J Magn Reson Imaging* 2004 ; 20 : 353-365
  - 32) Ohno Y, Hatabu H, Murase K, et al. : Primary pulmonary hypertension : 3D dynamic perfusion MRI for quantitative analysis of regional pulmonary perfusion. *AJR Am J Roentgenol* 2007 ; 188 : 48-56
  - 33) Ley S, Mereles D, Risse F, et al. : Quantitative 3D pulmonary MR-perfusion in patients with pulmonary arterial hypertension : correlation with invasive pressure measurements. *Eur J Radiol* 2007 ; 61 : 251-255
  - 34) Ohno Y, Murase K, Higashino T, et al. : Assessment of bolus injection protocol with appropriate concentration for quantitative assessment of pulmonary perfusion by dynamic contrast-enhanced MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2007 ; 25 : 55-65
  - 35) Mai VM, Knight-Scott J, Edelman RR, Chen Q,

- Keilholz-George S, Berr SS : <sup>1</sup>H magnetic resonance imaging of human lung using inversion recovery turbo spin echo. *J Magn Reson Imaging* 2000 ; 11 : 616-621
- 36) Mai VM, Hagspiel KD, Christopher JM, et al. : Perfusion imaging of the human lung using flow-sensitive alternating inversion recovery with an extra radiofrequency pulse (FAIRER). *Magn Reson Imaging* 1999 ; 17 : 355-361
- 37) Mai VM, Chen Q, Bankier AA, et al. : Imaging pulmonary blood flow and perfusion using phase-sensitive selective inversion recovery. *Magn Reson Med* 2000 ; 43 : 793-795
- 38) Ogasawara N, Suga K, Zaki M, Okada M, Kawakami Y, Matsunaga N : Assessment of lung perfusion impairment in patients with pulmonary artery-occlusive and chronic obstructive pulmonary diseases with noncontrast electrocardiogram-gated fast-spin-echo perfusion MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2004 ; 20 : 601-611
- 39) Mousseaux E, Tasu JP, Jolivet O, Simonneau G, Bittoun J, Gaux JC : Pulmonary arterial resistance : noninvasive measurement with indexes of pulmonary flow estimated at velocity-encoded MR imaging-preliminary experience. *Radiology* 1999 ; 212 : 896-902
- 40) Muthurangu V, Taylor A, Andriantsimiavona R, et al. : Novel method of quantifying pulmonary vascular resistance by use of simultaneous invasive pressure monitoring and phase-contrast magnetic resonance flow. *Circulation* 2004 ; 110 : 826-834
- 41) Ley S, Puderbach M, Risse F, et al. : Impact of oxygen inhalation on the pulmonary circulation : assessment by magnetic resonance (MR)-perfusion and MR-flow measurements. *Invest Radiol* 2007 ; 42 : 283-290
- 42) Erasmus JJ, McAdams HP, Donnelly LF, Spritzer CE : MR imaging of mediastinal masses. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2000 ; 8 : 59-89
- 43) Tateishi U, Gladish GW, Kusumoto M, et al. : Chest wall tumors : radiologic findings and pathologic correlation : part 1. Benign tumors. *Radiographics* 2003 ; 23 : 1477-1490
- 44) Tateishi U, Gladish GW, Kusumoto M, et al. : Chest wall tumors : radiologic findings and pathologic correlation : part 2. Malignant tumors. *Radiographics* 2003 ; 23 : 1491-1508
- 45) Knisely BL, Broderick LS, Kuhlman JE : MR imaging of the pleura and chest wall. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2000 ; 8 : 125-141
- 46) Wang ZJ, Reddy GP, Gotway MB, et al. : Malignant pleural mesothelioma : evaluation with CT, MR imaging, and PET. *Radiographics* 2004 ; 24 : 105-119

## Minimum Requirement for Chest MR Examinations

Yoshiharu OHNO<sup>1</sup>, Yumiko ONISHI<sup>2</sup>, Hisanobu KOYAMA<sup>1</sup>,  
Munenobu NOGAMI<sup>2</sup>, Daisuke TAKENAKA<sup>1</sup>, Kazuro SUGIMURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Radiology, Kobe University Graduate School of Medicine  
7-5-2 Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe 650-0017*

<sup>2</sup>*Division of Image-Based Medicine, Institute of Biomedical Research and Innovation, Kobe*

Recent advances in magnetic resonance (MR) systems and use of contrast media make it possible to overcome the limitations in chest MR imaging in the last decade. On the other hand, multi-detector row computed tomography (CT) and fluorodeoxyglucose-positron emission tomography (FDG-PET) (or PET/CT) are widely utilized as clinical routine, the aims of chest MR imaging are changing. Accordingly, we have to reconsider the clinical and academic MR protocols for chest diseases. We discuss MR examination of the chest for 1) distinguishing malignant and benign pulmonary nodules, 2) evaluating clinical stage in patients with lung cancer, 3) managing pulmonary vascular diseases, and 4) assessing mediastinal or chest wall tumors.