

肺の 3 dimensional time-of-flight MR angiography の臨床応用

磯田 治夫¹, 増井 孝之¹, 長谷川 進一², 望月 隆男¹,
鈴木 一也³, 太田 敦子⁴, 白河 豊美⁴, 高橋 元一郎¹,
金子 昌生¹

¹浜松医科大学放射線医学教室
³浜松医科大学第一外科

²富士宮市立病院放射線科
⁴シーメンス旭メディテック

はじめに

近年 magnetic resonance angiography (以下 MR angiography) は急速に発展し、頭蓋内、頸部の MR angiography の撮影法はほぼ確立され、スクリーニングや経過観察などにその有用性が認められている^{1)~5)}。一方、腹部及び胸部を対象とした MR angiography は心拍動や呼吸などの生理的な動きが存在するため難しいと考えられていたが、撮影装置や撮影シーケンスなどの改良により良好な画像が得られつつある^{6)~15)}。

胸部の MR angiography は胸部の血管奇形の検出、大血管と腫瘍性病変との関係把握、肺血栓塞栓の診断などに貢献すると期待される。

今までに胸部の time-of-flight (TOF) MR angiography の報告^{9)~15)}はあるものの、3 dimensional (3D) time-of-flight (TOF) MR angiography による臨床的有用性の検討は十分にはなされていない。

今回の研究の目的は 3D TOF MR angiography で 1. 同定できる肺動脈の分枝次数, 2. 腫瘍性病変描出, 3. 腫瘍性病変と血管との位置

関係把握, 4. arteriovenous fistula (AVF) の描出について検討することである。

対象および方法

1) 対象

対象は肺の腫瘍性病変を持つ 14 例で男性 10 例, 女性 4 例, 平均年齢 61.5 歳 (34-79 歳) であった。疾患の内訳は肺癌 12 例, カルチノイド 1 例, 肺動静脈瘻 (以下 AVF) 1 例で, このうち区域気管支より中枢に存在するものが 6 例で末梢に存在するものが 8 例であった。また, 病変は 13 例が右側で 1 例が左側であった。MR angiography がなされた 14 例のうち 9 例にヨード造影剤を用いた conventional angiography がなされた。このうち 8 例は digital subtraction angiography (DSA), AVF の 1 例は cine 撮影であった。また, MR angiography と conventional angiography は 2 週間以内になされた。

2) 撮影方法

装置は 1.5T の超電導装置 (Siemens, Magnetom H15) で body coil を用いた。まず, turbo FLASH 法 (TR=4.9ms, TE=2ms,

キーワード MR angiography, pulmonary vessels, pulmonary neoplasm, pulmonary arteriovenous fistula

TI=1000ms, flip angle (FA)=8°) で冠状断を撮影し, これを scout view にして MR angiography の位置を決めた. 撮影法は 3D fast imaging with steady precession (以下 3D FISP) で次の 2 種類のパラメーターを用いた.

前 11 例は TR=40ms, TE=7ms, FA=20°, slab 厚=96mm, 64 partitions, matrix=192×256, FOV=320mm, one acquisition, imaging time は約 8 分である. Slab は左右肺別々にしかも心臓にかからないように傍矢状断に設定した.

後 3 例は TR=12ms, TE=5ms, FA=20°, slab 厚=32mm, 16 partitions, matrix=100×128, FOV=300mm, one acquisition, imaging time は約 20 秒であった. 毎分約 3 liter の 100%酸素を吸入させ, 約 20 秒の撮影時には息止めで撮影を行った. 撮影方向は矢状断とし, 胸部単純 X 線写真で病変が疑われる左右肺の一方について, 全範囲が撮影されるように 4-5 回の撮影を繰り返した. この時, 折り返しにより slab の端のデータは使えないので slab の端は 12mm 重複するようにデータの収集を施行した.

AVF の症例については造影剤静注 (Gd-DTPA 0.2ml/kg) 約 2 分後から約 8 分のデータ収集により MR angiography を得た.

3) 画像処理

画像処理は area cut program 後に maximum intensity projection algorithm を施行している.

a) Area cut program MR angiography の原画像には肺血管の他に胸壁が描出されている. そのまま次に述べる maximum intensity projection algorithm で処理すると胸壁の信号が相対的に強くなり良好な画像が得られない. このため原画像それぞれの肺をマニュアル操作にてカーソルで囲み, カーソルで囲んだ領域以外の画像データを background と同じ信号に置き換える画像処理を施した. これにより主に胸壁

を取り除いて実質的に肺内のデータのみとなった.

b) Maximum intensity projection (MIP) algorithm²⁾ 上記の画像処理を施した原画像を用いて MIP 処理し, 頭尾軸を中心として 6 度ごとに MR angiograms を作成した.

4) 評価方法

2 枚の MR angiograms をステレオ視し, 次の項目について評価した. 1. 肺動脈の最高分枝次数 (腫瘍により肺動脈が影響を受けていない 9 症例). 比較的動きの少ない上葉と中下葉の肺動脈を別々に評価した. この際, 左右の肺動脈本幹を第一次分枝とした. 2. 腫瘍の描出の有無 (14 症例). 3. 描出された腫瘍と血管影との関係が把握可能か否か (14 症例). この時, 位置関係把握が優れているもの: excellent, 画像はやや悪いものの位置関係把握ができるもの: good, 全く位置関係把握が困難なもの: poor に分類した. 4. 3D TOF MR angiography と conventional angiography をそれぞれ別々に評価し, 血管の形態が一致するかどうか (9 症例). この際, ほぼ conventional angiography と同等の情報が得られたもの: good, conventional angiography よりは劣るが血管の形態については情報が得られていたもの: fair, conventional angiography より明らかに劣っていたもの: poor と分類した. 5. AVF の 1 例についてその MR angiography 上の特徴を検討した.

Table 1. The higher order of pulmonary arteries shown by 3D TOF MR angiography

The order of pulmonary arteries	2	3	4	5	6
upper lobe *	0	1	2	4	2
middle & lower lobe *	1	3	3	2	0

* The number indicates the number of MR studies in a total of 9 patients, in which the pulmonary vessels were not affected by masses.

結 果

1) 描出される最高分枝次数 (Table 1)

3D TOF MR angiography で認められる肺動脈の最高分枝次数を Table 1 に示す。表の最上

段は肺動脈の分枝次数, 下の2段は症例数である。上葉では全例で3次分枝以上が同定でき, 2例では6次分枝まで描出されていた。中下葉では全例2次分枝以上は同定でき, 2例で5次分枝まで描出されていた。

2) 腫瘍描出

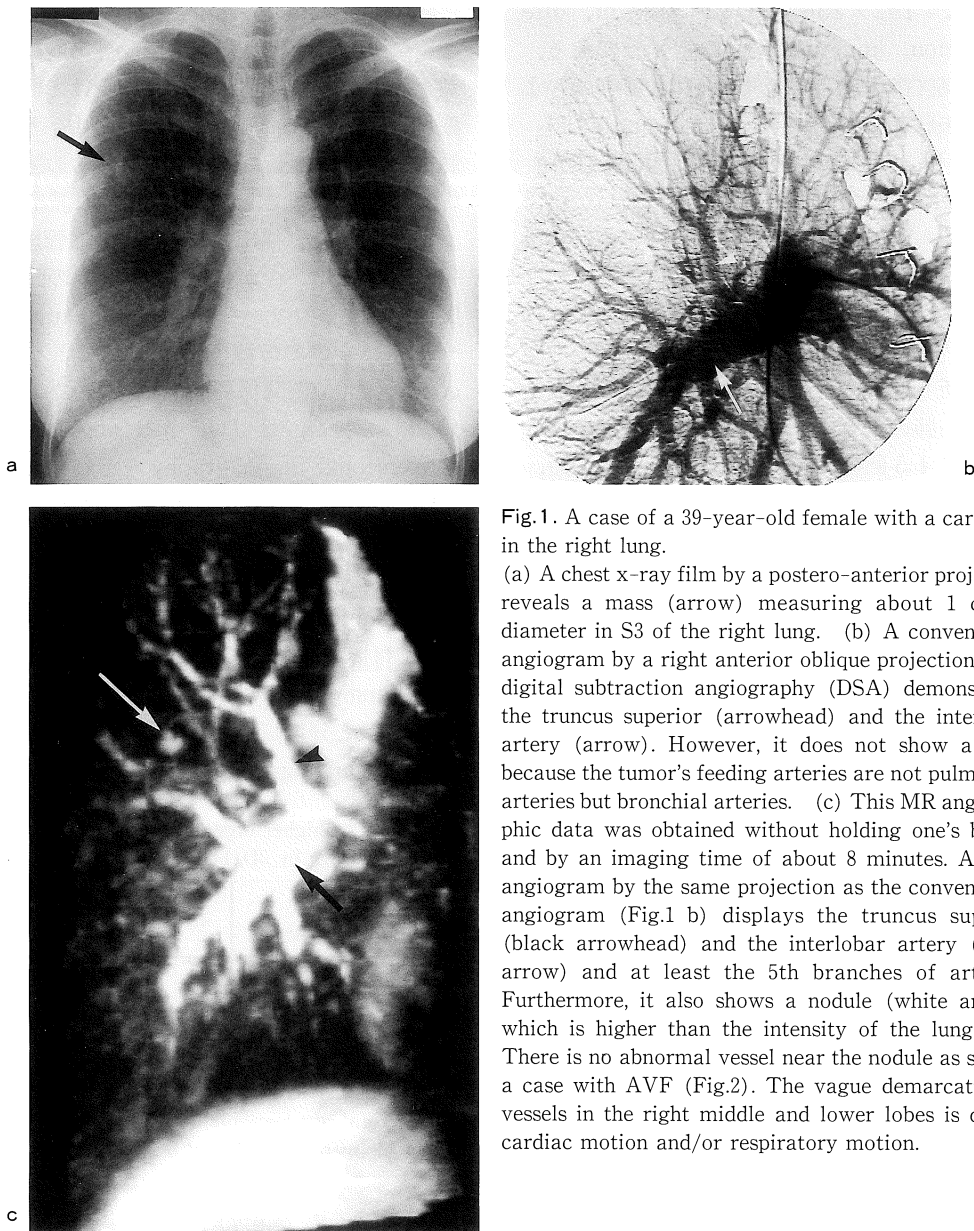


Fig.1. A case of a 39-year-old female with a carcinoid in the right lung.

(a) A chest x-ray film by a postero-anterior projection reveals a mass (arrow) measuring about 1 cm in diameter in S3 of the right lung. (b) A conventional angiogram by a right anterior oblique projection using digital subtraction angiography (DSA) demonstrates the truncus superior (arrowhead) and the interlobar artery (arrow). However, it does not show a mass because the tumor's feeding arteries are not pulmonary arteries but bronchial arteries. (c) This MR angiographic data was obtained without holding one's breath and by an imaging time of about 8 minutes. An MR angiogram by the same projection as the conventional angiogram (Fig.1 b) displays the truncus superior (black arrowhead) and the interlobar artery (black arrow) and at least the 5th branches of arteries. Furthermore, it also shows a nodule (white arrow), which is higher than the intensity of the lung field. There is no abnormal vessel near the nodule as seen in a case with AVF (Fig.2). The vague demarcation of vessels in the right middle and lower lobes is due to cardiac motion and/or respiratory motion.

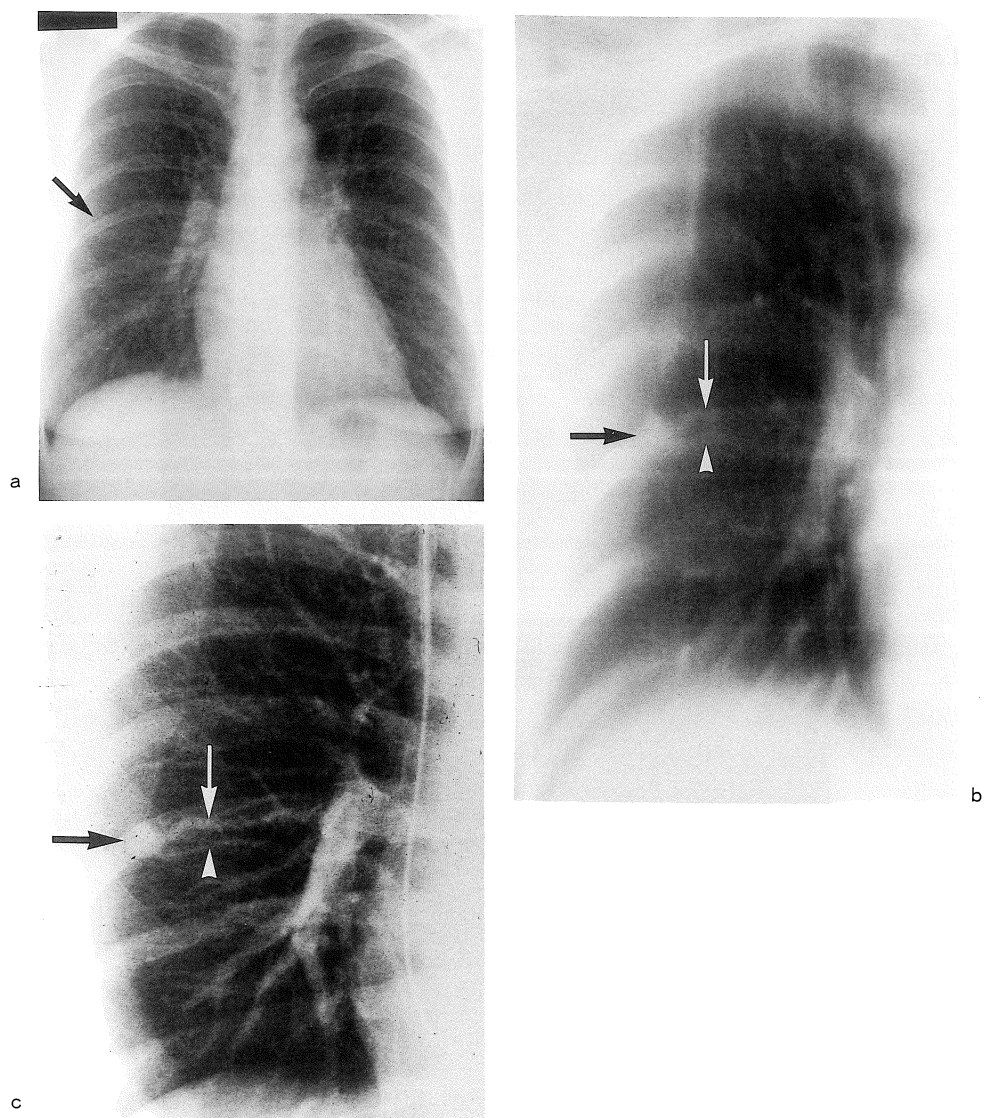
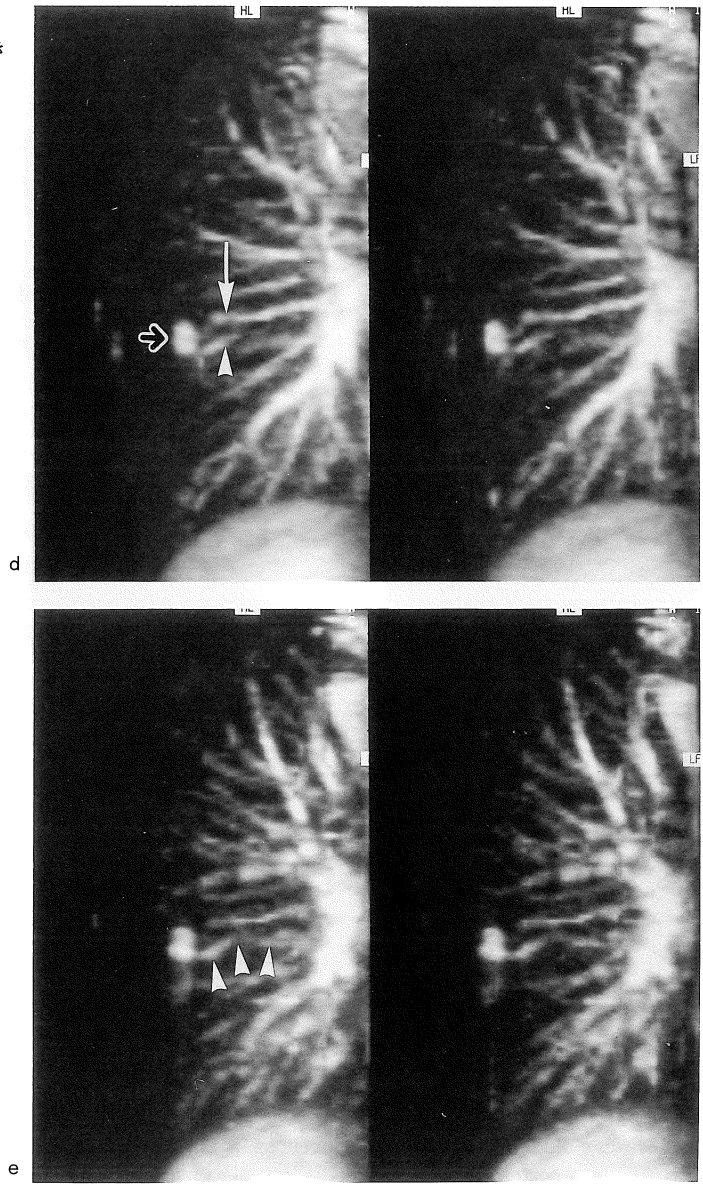


Fig.2. A case of a 34-year-old female with an arteriovenous fistula (AVF) in the right lung (S6). (a) A chest x-ray film by a postero-anterior projection reveals a mass (arrow) measuring about 1 cm in diameter in the right lateral middle lung field. (b) A chest x-ray tomogram shows a mass (black arrow) measuring about 1 cm in diameter in connection with vessels which are thought to be A6b (white arrow) and V6b (white arrowhead). (c) A conventional angiogram by a right anterior oblique projection using cine film demonstrates a nidus (black arrow) in connection with A6b (white arrow) and V6b (white arrowhead). (d) Precontrast stereoscopic 3D TOF MR angiograms with an imaging time of about 8 minutes reveal a nidus (black arrow) in connection with A6b (white arrow) and V6b (white arrowhead). (e) Postcontrast stereoscopic 3D TOF MR angiograms show the drainage vein (V6b) (arrowhead) clearer than that on precontrast MR angiograms (Fig.2 d).

Fig.2.のつづき



全ての腫瘍が MR angiography で描出された。このうち最小径は 1cm であった。一方、DSA による conventional angiography では全例とも腫瘍同定は困難であった。

3) 腫瘍と血管との関係把握

MR angiography による腫瘍と血管との位置関係把握の評価で excellent は 7 例, good が 7

例であった。

4) 3D T₁OF MR angiography と conventional angiography の比較

通常の conventional angiography がなされた 9 例について 3D T₁OF MR angiography と conventional angiography を比較すると good は 3 例, fair は 5 例, poor は 1 例であった。

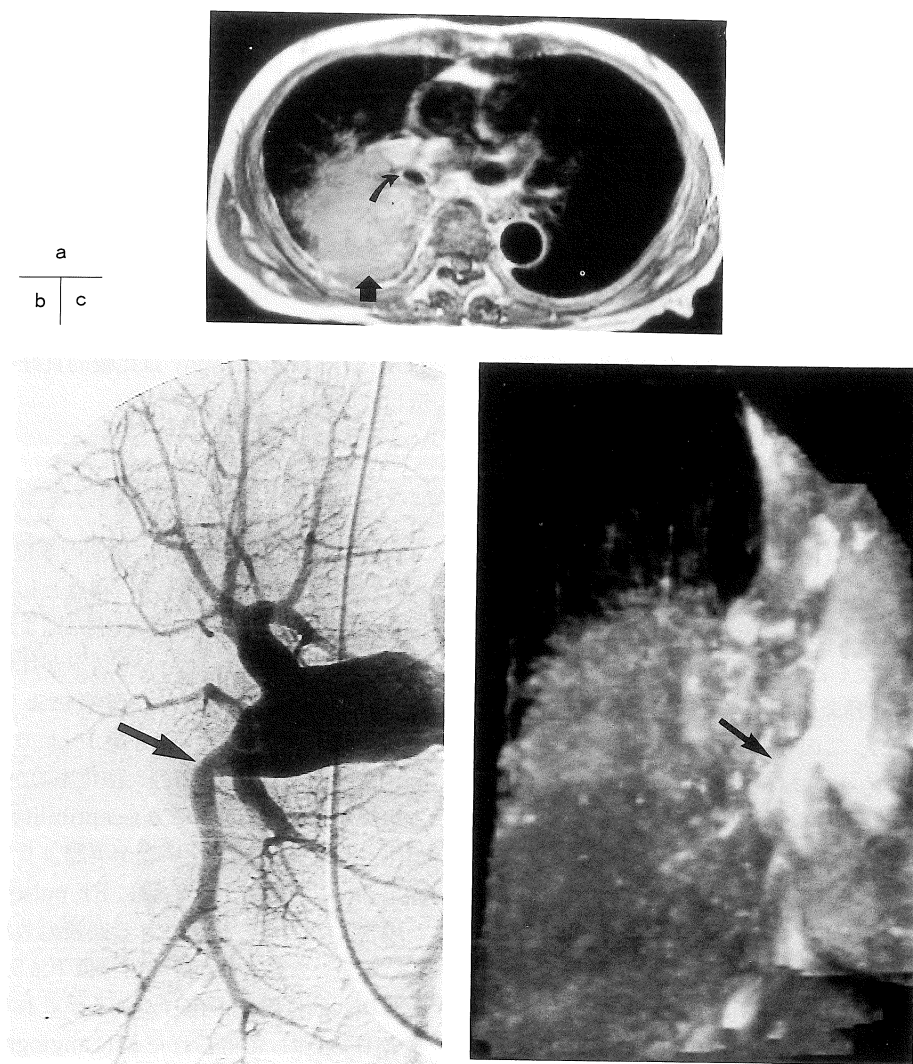


Fig.3. A case of a 67-year-old male with a lung cancer in the right lung. (a) A transaxial proton density MR image (SE 1532/22) at the level of the center of a mass reveals a mass (arrow) measuring about 7cm in diameter and is compressing the right interlobar bronchus (curved arrow) in the right lung. (b) A conventional angiogram by a right anterior oblique projection using DSA shows that the interlobar artery (arrow) is compressed and narrowed. (c) In this case, four MR angiographic data sets are obtained by holding one's breath and each has an imaging time of about 20 seconds. An MR angiogram by the same projection as the conventional angiogram (Fig.3 b) shows that the interlobar artery (arrow) is compressed by a huge mass and its peripheral signal intensity is very weak. There is a relatively good correlation between the conventional angiogram and the MR angiogram.

5) AVF の描出

末梢の腫瘍性病変の3D TOF MR angiography を retrospective に観察し、腫瘍に連続するような異常血管が存在するかどうかを検討したところ、このような異常血管が認められたのは AVF のみであった。また、この AVF の症例について造影剤を使用したところ静脈がより明瞭に描出され、動静脈の判断が可能であった。

6) 次に症例を示す。

Fig.1 はカルチノイドの39才の女性の症例である。胸部単純 X 線写真の正面像で右肺 S3 に径約 1cm の結節影を認める (Fig.1 a)。DSA による conventional angiogram の右前斜位像では上幹、葉間動脈が認められるが、腫瘍性病変は同定できない (Fig.1 b)。conventional angiogram と同じ角度から見た MR angiogram では、上幹、葉間動脈がそれぞれ認められ、右肺動脈本幹から少なくとも 5 次分枝までは同定でき、A3 付近に肺野よりは高信号の結節影が同定できる (Fig.1 c)。この MRA の撮影時間は 8 分で息止めのないものである。また、中下葉については呼吸の動きで血管の描出が不良である。また、腫瘍近傍には AVF らしい異常血管は認めない。

Fig.2 は 34 歳の女性で右肺 S6 に存在する肺動脈静脈瘤型の AVF である。胸部単純 X 線写真正面像では右中肺野外側に径約 1cm の結節影を認める (Fig.2 a)。断層写真では右中肺野外側に径約 1cm の結節影と A6b, V6b と思われる太い血管影が同定できる (Fig.2 b)。Cine 撮影では A6b, V6b とそれに連なる nidus が描出されている (Fig.2 c)。Fig.2 d は撮影時間約 8 分の 3D TOF MR angiography で造影剤なし、Fig.2 e は造影剤を用いたものである。S6 に径約 1cm の結節影とこれに連なる A6b, V6b とと思われる血管影が見られ、造影剤を用いた Fig.2 e の MR angiograms で静脈がより明瞭に描出されている。

Fig.3 は 67 歳の男性で肺癌の症例である。腫瘍のほぼ中心を通るプロトン強調横断像では葉間気管支を取囲みこれを狭小化する径約 7cm の腫瘍性病変が認められる (Fig.3 a)。DSA によ

る右肺動脈造影右前斜位像では葉間動脈は圧排偏位を受け、径の狭小化も認められる (Fig.3 b)。矢状断の slab を用い息止め約 20 秒間でデータ収集を 4 回繰り返して得られた 3D TOF MR angiogram 斜位像では右肺に血管系よりも低信号の腫瘍があり、腫瘍近傍の右葉間動脈は圧排変位を受け、この末梢血管の信号強度は低下している (Fig.3 c)。画像は不明瞭であるが、形態的には conventional angiography と 3D TOF MR angiography は比較的良好な相関を示している。

考 察

胸部 MR angiography には他の部位と異なる様々な利点と問題点がある。利点としては肺血管はプロトン密度の低い肺組織に囲まれているため血管と周囲とのコントラストが比較的付きやすい。問題点として 1. 呼吸により生じる motion artifact. 2. 心拍動により生じる motion artifact. 3. 周囲に磁化率のかなり異なる空気が存在するために susceptibility artifact が生じ、血管や腫瘍性病変が実際よりも小さく描出されること¹⁰⁾. 4. 心臓に RF pulse がかった場合、ここから拍出される血液のスピンが飽和されることによる血管の信号低下. 5. 肺と比較し相対的に胸壁の信号が強く、これをそのまま MIP 処理して得られた MR angiogram は良好な画像でないことなどが考えられる。

以上の問題点を克服するために次の様な対策が考えられる。1. 呼吸の動きによる画像劣化をなくすには息止めが必要である。今回は撮影時間 20 秒のシークエンスでは息止めを施行して効果を上げている。2. 心拍動による画像劣化を防止するには心電同期が必要と思われるが時間がかかる¹⁰⁾。3. susceptibility artifact については TE を短くすることによりある程度は回避できる¹⁰⁾。4. 3D TOF MR angiography では比較的厚い slab 内に含まれる血液が RF pulse を受けるためにスピンの飽和により末梢血

管の信号が低下しやすい。特に胸部では心臓にRF pulseがかかると、ここから分岐する肺動脈の信号が抑制されやすい。今回の検討でも肺門近傍に腫瘤が存在し、心臓に広い範囲のslabがかかってしまう場合は肺血管描出が不良であった。これを防止するためにはslabの位置を斜めにし、心臓にslabがかからないようにしたり、また、paramagnetic agentによるT₁ shortening効果を期待して造影剤を用いる必要がある。

5. MR angiogramを作成するにあたり不必要な胸壁の信号を消去するためには原画像において胸壁の信号を取り去る必要がある。この目的のためにarea cut programを用い、この有用性も確認できた。

また、臨床の場でMR angiographyに求められることは肺癌や縦隔腫瘍などのoperabilityや術式の決定、大血管系の奇形の評価についてであり、比較的中枢側の太い肺動脈が良好に観察できなければならない。さらに、腫瘤と血管とコントラストが付くのが望ましい。肺血栓塞栓の診断については太い中枢側の肺動脈から細い肺動脈までの描出が求められる。

今回用いたパルスシーケンスは2種類あり、前11例で用いたシーケンスはTRが長く、撮影時間が約10分かかり息止めはできなかった。後3例で用いたシーケンスはTRが短く、約20秒の撮影のため息止めが可能であった。両者とも臨床で充分役立つ情報が得られた。

肺動脈については3-5次分枝程度は同定可能であった。比較的動きの少ない上葉では6次分枝まで同定可能な症例もあった。しかし、息止め無しでのTOF MR angiographyでは血管影の辺縁は不鮮明であり、主に呼吸に伴う体動による影響を受けていたと考えられる。

肺の腫瘍性病変については全例で描出可能であった。一般的に静止部位はtime-of-flight効果を受けないが、肺腫瘍は周囲が無信号の空気であるために相対的に高信号として描出されたと考えられる。肺腫瘍の栄養血管は気管支動脈であるのでDSAによる肺動脈造影で腫瘍は描出

されない。これに対し、MR angiographyで血管とともに腫瘍も描出されるのは利点と考えられる。

AVFにおけるMR angiographyではnidusの他にfeederとdrainerが描出された。造影剤の使用によりさらにdrainerが明瞭となり、feederとdrainerの区別ができた。これは造影剤により血液のプロトンのT₁時間が短縮し、RF pulseにより飽和されにくくなったためと考えられる。X線写真でAVFが疑われた時の診断目的や治療後の経過観察にMR angiographyが利用できるものと思われる。

以上のように今回の検討でMR angiographyにより胸部においても良好な情報が得られることが示された。ヨード造影剤を用いたconventional angiographyと比較するとMR angiographyは放射線被爆がなく、非観血的で非侵襲的である。さらに画像が改善されれば、診断目的でのconventional angiographyの一部に置き替わるかあるいは相補的な役割を持つ検査となりえると思われる。

結 論

肺の3D TOF MR angiographyでは血管及び腫瘤が描出され、これらの関係が良好に同定できた。

文 献

- 1) Edelman RR, Wentz KU, Mattle HP, et al. : Intracerebral arteriovenous malformations : Evaluation with selective MR angiography and venography. *Radiology*, 173 : 831-837, 1989.
- 2) Marchal G, Bosmans H, Fraeyenhoven LV, et al. : Intracranial vascular lesions : Optimization and clinical evaluation of three-dimensional time-of-flight MR angiography. *Radiology*, 175 : 443-448, 1990.
- 3) Masaryk AM, Ross JS, DiCello MC, Modic MT, Paranandi L, Masaryk TJ : 3DFT MR angiography of the carotid bifurcation : Potential and

- limitations as a screening examination. *Radiology*, 179 : 797-804, 1991.
- 4) 杉田 修, 柏木史郎, 山下哲男, 伊藤治英 : 頭部 MR angiography—診断能およびスクリーニング検査としての有用性の検討—. *日磁医誌*, 11 : 275-281, 1991.
 - 5) 馬淵順久, 津田永明, 福山秀直, 他 : MR アンジオグラフィによる脳動脈瘤のスクリーニング. *日磁医誌*, 12 : 1-7, 1992.
 - 6) Kim D, Edelman RR, Kent KC, Poter DH, Skillman JJ : Abdominal aorta and renal artery stenosis : Evaluation with MR angiography. *Radiology*, 174 : 727-731, 1990.
 - 7) Hasegawa S, Isoda H, Takehara Y, Furuya Y, Takahashi M, Kaneko M : Utilization of three-dimensional MR angiography in the better demarcation of the renal arteries : Comparative study with two-dimensional technique. *Radiology*, 177 (p) ; 279, 1990.
 - 8) Lewin JS, Laub G, Hausmann R : Three-dimensional time-of flight MR angiography : Applications in the abdomen and thorax. *Radiology*, 179 : 261-264, 1991.
 - 9) Kauczor H, Layer G, Schad LR, et al. : Clinical application of MR angiography in intrathoracic masses. *J Comput Assist Tomogr*, 15 : 409-417, 1991.
 - 10) Wielopolski PA, Haacke EM, Adler LP, et al. : Three-dimensional MR Imaging of the pulmonary vasculature : Preliminary experience. *Radiology*, 183 : 465-472, 1992.
 - 11) Foo TKF, MacFall JR, Hayes CE, Sostman HD, Slayman BE, et al. : Pulmonary vasculature : Single breath-hold MR Imaging with phased-array coils. *Radiology*, 183 : 473-477, 1992.
 - 12) Hatabu H, Gefter WB, Listerud J, et al. : Pulmonary MR angiography utilizing phased-array surface coils. *J Comput Assist Tomogr*, 16 : 410-417, 1992.
 - 13) 須田博喜, 本城和光, 本間 穰, 他 : 2D time of flight 法による Stereoscopic pulmonary MR angiography の検討. *日本医放会誌*, 52 : 291-299, 1992.
 - 14) 本田憲業, 町田喜久雄, 間宮敏雄, 他 : 肺門および縦隔の 2 次元 time-of-flight MR アンジオグラフィの血管描出能および診断能の検討. *日本医放会誌*, 52 : 1521-1528, 1992.
 - 15) 戸上 泉, 三谷政彦, 北川尚広, 他 : 3 次元撮像法を用いた肺の MR angiography. *日本医放会誌*, 52 : 1602-1604, 1992.
 - 16) Bergin CJ, Noll DC, Pauly JM, Glover GH, Macovski AM. : MR imaging of lung parenchyma : A solution for susceptibility. *Radiology*, 183 : 673-676, 1992.

Clinical Evaluation of Pulmonary 3 Dimensional (3D) Time-of-Flight (TOF) MR Angiography

Haruo ISODA¹, Takayuki MASUI¹, Shinichi HASEGAWA²,
Takao MOCHIZUKI¹, Kazuya SUZUKI³, Atsuko OHTA⁴,
Toyomi SHIRAKAWA⁴, Motoichiro TAKAHASHI¹, Masao KANEKO¹

¹*Department of Radiology, Hamamatsu University School of Medicine
3600 Handa-cho, Hamamatsu 431-31*

²*Department of Radiology, Fujinomiya City General Hospital*

³*First Department of Surgery, Hamamatsu University School of Medicine*

⁴*Siemens-Asahi Medical Technologies Ltd.*

Pulmonary 3 dimensional (3D) time-of-flight (TOF) MR angiography was performed with a body coil using a 1.5T superconducting MR system in order to evaluate its clinical utility.

In this study, fourteen cases of intrathoracic diseases (twelve lung cancers, one carcinoid and one arteriovenous fistula (AVF)) were studied. Two kinds of three-dimensional steady-state free precession pulse sequences were used (TR=40ms, TE=7ms, flip angle=20 degrees, slab thickness=96mm, 64 partitions, matrix=192×256, FOV=320mm, one acquisition, imaging time=about 8 min ; TR=12ms, TE=5ms, flip angle=20 degrees, slab thickness=32mm, 16 partitions, matrix=100×128, FOV=300mm, one acquisition, Imaging time=about 20s). All images were processed by an area-cut method to eliminate signals from the chest wall and then were processed with a maximum-intensity projection algorithm.

On the average, the 3D TOF MR angiograms displayed the 5th branches of the pulmonary arteries in the upper lobes and the 4th branches in the middle and lower lobes. All masses were visualized by MR angiograms. In all cases the 3D TOF MR angiograms demonstrated relations between masses and surrounding vessels. Furthermore, in a case of AVF, a draining vein was clearly shown by MR angiograms using a paramagnetic agent and were distinguished from a feeding artery.

Therefore, pulmonary 3D TOF MR angiography is useful to evaluate intrathoracic masses.