

- 1) Ohno Y, Kawamitsu H, Higashino T, et al. Time-resolved contrast-enhanced pulmonary MR angiography using sensitivity encoding (SENSE). J Magn Reson Imaging. 17: 330-336, 2003.
- 2) 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. 183: 91-98, 2004.
- 3) 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. 41:136-146, 2002. 46(1): 166-171, 2001.
- 4) 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. 182: 73-78, 2004.

- ① time-resolved contrast-enhanced MR angiography
- ② contrast-enhanced MR perfusion imaging

time-resolved contrast-enhanced MR angiography(time-resolved MRA)

現在では、造影剤の急速静注により血管を高信号に描出させて、その間に高速撮像を行ってMRAを得るのが一般的である。新たに開発された高速撮像用の再構成技術であるSENSEなどのparallel imagingとあわせて多チャンネルコイルの併用などを行ない持てる技術を集約した手法を利用して高空間・時間分解能の画像を取得する¹⁾。

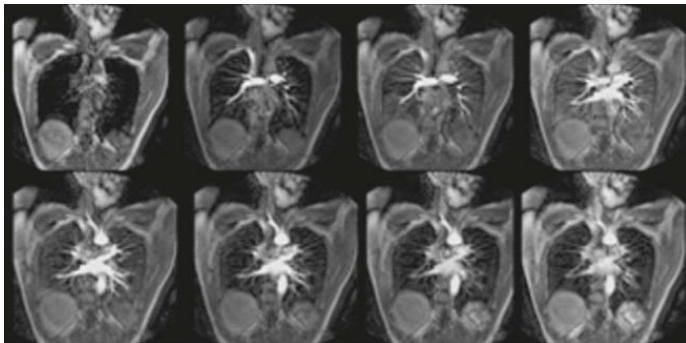
- データ収集時間(1時相) 可能な限り高分解能を維持しつつ、時間分解能を4秒以下が推奨される。
- 造影剤急速静注 5mL/秒, 造影剤は総量5mLがよい
- 最低5~7時相/息止め25~28秒

評価できること

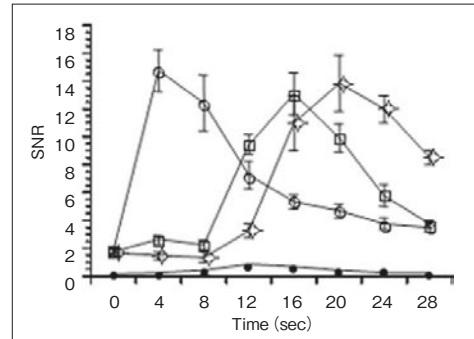
- 肺血管の解剖学的異常
- 肺血管・肺末梢の血流(図1)
 - 肺動静脈瘻や肺血栓・塞栓症の定性的診断¹⁻³⁾(図2)
 - 造影CT angiographyや肺血流シンチグラフィの代用⁴⁾

図1 正常被検者におけるtime-resolved MR angiographyの原画像および時間-SNR変化曲線(30歳代,男性)

原画像および時間-SNR変化曲線において肺循環および体循環は明瞭に分離されている。

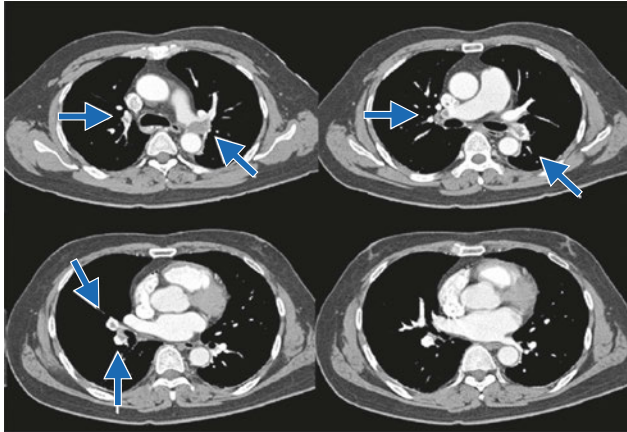


5mL Gd-DTPA BMA was injected at a rate of 5ml/sec



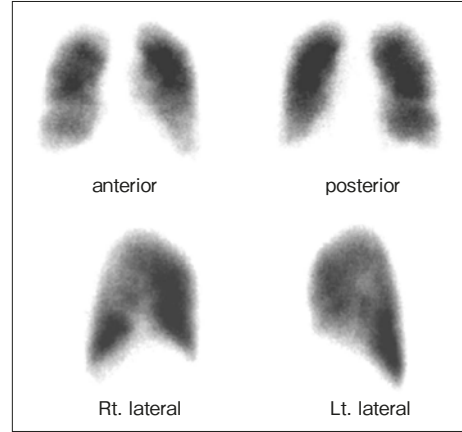
(文献1より引用)

【図2】急性肺血栓・塞栓症患者(40歳代, 男性)



a contrast-enhanced MDCT

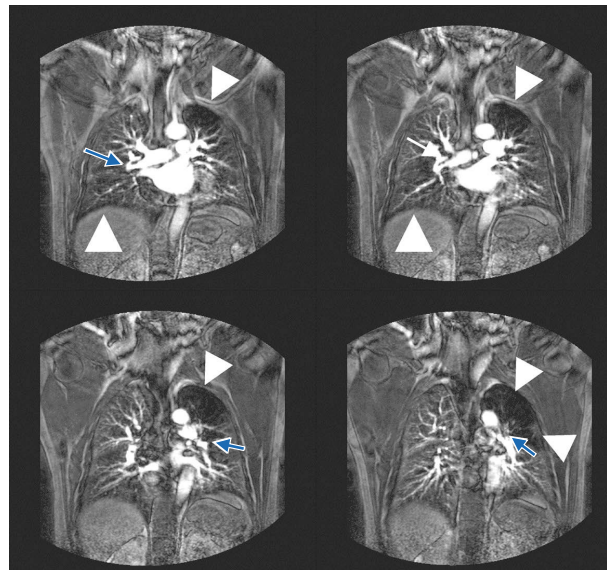
右上幹, 中間幹および右下葉枝および左主幹, 左上葉枝および下葉枝内に血栓を認める(→)。



b 肺血流シンチグラフィ

両側肺は不均一な血流分布を示す。

- 5) 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*, 224: 503-511, 2002.
- 6) Ohno Y, Koyama H, Matsumoto K, et al: Dynamic MR perfusion imaging: capability for quantitative assessment of disease extent and prediction of outcome for patients with acute pulmonary thromboembolism. *J Magn Reson Imaging*, 31: 1081-1090, 2010.
- 7) Ohno Y, Koyama H, Yoshikawa T, et al: Contrast-enhanced multidetector-row computed tomography vs. Time-resolved magnetic resonance angiography vs. contrast-enhanced perfusion MRI: assessment of treatment response by patients with inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *J Magn Reson Imaging*, 36: 612-623, 2012.



c time-resolved MRA

(文献2より引用)

右上幹, 中間幹および右下葉枝および左主幹, 左上葉枝および下葉枝内に血栓を認めるとともに(→), 亜区域枝レベルでの血栓による血流低下および血流欠損を両側肺に認める(▷)。

contrast-enhanced MR perfusion imaging の撮像法

目的: 半定量ないし定量的肺血流パラメータ解析

肺腫瘍の性状診断, 肺動静脈瘤などの肺血管性疾患の診断, 重症度評価や治療効果判定肺癌患者の術後肺機能予測などのさまざまな臨床応用が可能^{2~7)}

方法: 超高速 3D GRE 法

本法は time-resolved MRA と異なり, 半定量ないし定量的肺血流パラメータ解析を目的として用いられる場合が多く, その解析には肺血流解析専用のソフトウェアの開発が不可欠である。通常の肺循環時間は約 4~5 秒とされており, 肺末梢の平均通過時間は肺生理学上 0.7~1 秒前後とされているため, 3D 超高速 GRE 法により, 1 時相の全肺の 3D データを 1 秒前後で撮像することが必要になってくる。

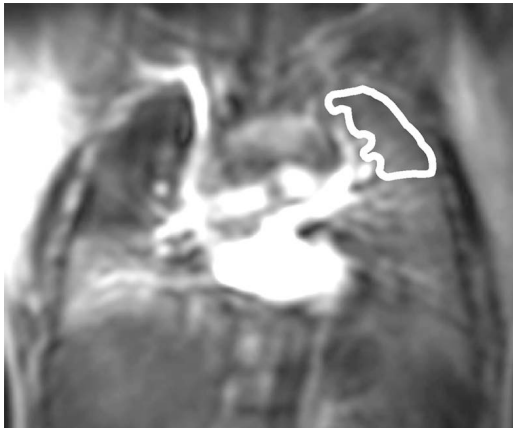
- データ収集時間(1 時相) 1.0 秒程度とする
- TR/TE=2.7ms 以下 /0.7ms 以下
- 造影剤急速静注(生食 20mL を 5mL/ 秒にて後押しあり)
Gd 造影剤を総量 2 ~ 15mL, 5mL/ 秒にて静注する。造影剤の総量は目的によって変える。
- 息止め時間は撮像目的によって変えるが、肺血流の定量評価では 15 ~ 30 秒間(撮像は全体で 13 ~ 30 時相), 肺腫瘍や肺血管性疾患の定性診断では酸素を与えたうえで 30 ~ 40 秒間(撮像は全体で 27 ~ 40 時相)とする。
- 肺血流の定量的肺血流解析ソフトおよびそれが使用できるワークステーションに関しては、現在市販されており、すぐに使用できるものではなく、各研究者がそれぞれの理論で画像解析ソフトを作成し、臨床応用に向けて試行錯誤が繰り返されているのが現状である。

8) Meier P, Zierler KL. On the theory of the indicator-dilution method for measurement of blood flow and volume. J Appl Physiol, 6: 731-744, 1954.

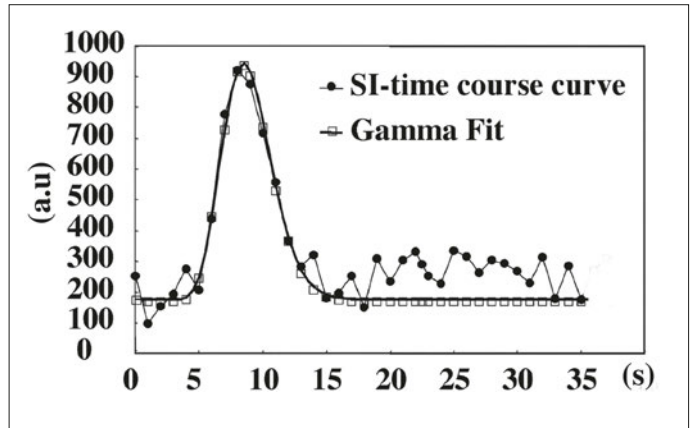
定量的血流解析における基本理論

contrast-enhanced MR perfusion imaging による局所血流解析における基本理論は indicator-dilution method として 1950 年代に確立され⁸⁾、古くから核医学および CT において使用されていた。本法を用いて contrast-enhanced MR perfusion imaging における時間-信号強度変化曲線をガンマ関数に fitting した場合 **図 3** のようになる。

図 3 3D contrast-enhanced MR perfusion imaging



a 10 スライス中の 1 スライスにおける左上葉に設置された関心領域内の時間-信号強度変化曲線



b (I) およびガンマ関数における近似曲線(o)の一例

(文献 4 より引用)

また、その信号強度変化は次式 [1] として表される。

$$S(t) = S_{\text{peak}} \left(\frac{e}{a\beta} \right)^a (t - T_a)^a e^{-(t-T_a)/\beta} + S_0 \quad [1]$$

ここで t は時間を表し、 $S_{(t)}$ はそのときの信号強度を示す。 S_0 は基準線となる $t=0$ のときの信号、 S_{peak} は時間 - 信号強度変化曲線がピークを示すときの信号強度を示す。 T_a は造影剤の到達時間を示し、 a と β はガンマ関数への変換時の係数を示す。このときに平均通過時間 (mean transit time: MTT) は次式 [2] として表すことができる。

$$\text{MTT} = \frac{\int t \times (S(t) - S_0) dt}{\int (S(t) - S_0) dt} \quad [2]$$

ここにおいて、central volume principle に基づくと関心領域内の肺血液量 (pulmonary blood volume: PBV) は時間 - 信号強度変化曲線の曲線下面積として求めることができる。また、PBV と肺血流量 (pulmonary blood flow: PBF) との間には次式 [3] が成り立つ。

$$\text{MTT} = \frac{\text{PBV}}{\text{PBF}} \quad [3]$$

したがって、上記式から PBV、PBF、MTT を算出し、局所肺血流解析をすることは可能であるが、そのほかにも indicator-dilution theory, fuzzy cluster analysis, central volume principle を用いることにより異なる手法にて肺血流を算出することも可能である。双方の手法はすでに統計学的に確立されつつあり、その臨床応用の促進には画像情報処理ソフトの活用が不可欠であり、今後その方面での研究とあいまって、臨床応用が図られるであろう。

また、現在、perfusion MRI による定量的肺血流パラメータが各肺疾患でどのような値や変化を示すかは明らかにされていない。したがって、今後の更なる研究により、各疾患における有用性が明らかになることが期待される。