

急性期クモ膜下出血の描出のための 適正撮像法の検討

豊嶋英仁、小川敏英、菅原重喜、下瀬川恵久、
犬上篤、相沢康夫、奥寺利男、菅野巖、
上村和夫

秋田県立脳血管研究センター放射線科

対象及び方法

はじめに

脳出血の存在診断には、X線CTがきわめて有用であることは言うまでもない。以前MRIの果たす役割は少ないとされていたが、ヘモグロビンの状態、赤血球の溶解の有無により、MRI画像が変化することが知られ、出血の時期の推定が可能なことや、任意の断層面が撮像可能なこと、動静脈奇形などの出血原因の診断が可能なことなどにより、脳出血のMRI検査の有用性が高く評価されるようになってきている^{1)~3)}。

一方、急性期クモ膜下出血に関しては、一般にMRIによる診断は困難であり、また得られる情報も少ないとされている^{4)~8)}。しかし、クモ膜下出血の急性期であっても、MRIは有用であるという報告も散見される^{9)~11)}。我々は、急性期クモ膜下出血の診断には、プロトン密度強度画像が有用であると報告した¹²⁾。今回我々は、急性期クモ膜下出血の描出のための適正撮像パラメータの検討を行い、そのMRI画像の有用性について検討したので、文献的考察を加え報告する。

対象は、クモ膜下出血発症24時間以内にMRIを試行した13例（男性：7，女性：6）で、年齢は35-90歳（平均55.8±16.4歳）である。使用MRI装置は、島津製SMT-50X（0.5T超電導）で、解析用としてNEC製PC-9801を使用した。

撮像は、スピンエコー（SE）法を用い、T₁強調画像については、TR500ms/TE35ms（繰り返し時間/エコー時間）で、プロトン密度強調画像、T₂強調画像については、TR3000ms/TE35, 90ms（2エコー法）で行った。加算回数はそれぞれ3ないし4回及び1回で、スライス厚10mm、スライス間ギャップは設けず、マルチスライスで撮像した。なお、断層面は横断面のみとした。

クモ膜下出血を容易に検出するためには、クモ膜下出血の領域が周囲の灰白質及び脳脊髄液の2領域より、相対的に高信号かつ高コントラストとなることが必要条件となる。この条件を満たす撮像パラメータを以下の方法により検討した。

MRI装置のアプリケーションソフト¹³⁾を用い、撮像データよりT₁値、T₂値、プロトン密度値の計算画像を作成し、同日に施行したX線CTを

キーワード acute subarachnoid hemorrhage, pulse sequence, contrast map, MRI

参考にして急性期クモ膜下出血、灰白質（前頭葉内側部）及び脳脊髄液（側脳質前角部）の各領域に関心領域を設定し、それぞれの T_1 値、 T_2 値、プロトン密度値を測定した。これらのデータを基に、Bloch による SE 法の信号強度の次式^{13)~15)}を用い、パーソナルコンピューターでシミュレーションを行い、前述のコントラストの条件を満たす撮像パラメータを検討した。

$$I = Pd \times \left\{ 1 - 2 \exp\left(-\frac{TR - TE/2}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{TR}{T_1}\right) \right\} \times \exp\left(-\frac{TE}{T_2}\right)$$

ここで、 I は信号強度、 T_1 は T_1 値 (ms)、 T_2 は T_2 値 (ms)、 Pd はプロトン密度値を示す。

結 果

急性期クモ膜下出血は、全例でプロトン密度強度画像では同日の X 線 CT での high density の領域にほぼ一致して灰白質、脳脊髄液よりも high intensity の領域として認められた。Table 1 に測定した急性期クモ膜下出血、灰白質及び脳脊髄液の各組織の T_1 値、 T_2 値、プロトン密度値を示す。クモ膜下出血の T_1 値、 T_2 値は、灰白質に比べると共に有意に高値で、脳脊髄液に比べると有意な低値を示した。

これらのデータをもとに、急性期クモ膜下出血の領域が他 2 領域それぞれにおいて高信号と

なる条件で作成したコントラストマップを Fig. 1 に示す。表示は、赤色が最も高コントラストを示している。急性期クモ膜下出血と灰白質では TR 、 TE が長いほど、つまり T_2 強調画像で高コントラストになる。また脳脊髄液とは TR 2000ms、 TE が最短なほど高コントラストになることを表している。したがって 3 領域間を比較した場合、急性期クモ膜下出血が他 2 領域より高信号に描出する撮像パラメータは一義的に決定できないことが判る。

Fig. 2 に 3 種類の TR における 3 領域の緩和曲線を示す。各緩和曲線より、灰白質と脳脊髄液の緩和曲線の交点となる TE が最も高コントラストになり、その TE (交点) は TR の延長にともない短縮し、コントラストは連続的に変化していることが予想される。

この連続的なコントラストの変化を捉え、急性期クモ膜下出血が最も高コントラストになる撮像パラメータを探し出すため、Fig. 3 の縦線部分に示すように急性期クモ膜下出血と灰白質および脳脊髄液のコントラスト分布を TE 、 TR の関数としてコントラストマップを作成した。

Fig. 4 に本コントラストマップを示す。赤色が最もコントラストの高いことを表す。Fig. 2 で予想されたように高コントラストを示す赤色部分は、 TR と TE で逆比例の傾向を示した。そして急性期クモ膜下出血が他領域に比較して最も高コントラストとなる条件は、 TR 3000ms、 TE 約 50ms であると判断された。

Fig. 5 に、急性期クモ膜下出血の代表症例を示す。(a) X 線 CT 画像の鞍上槽のクモ膜下出血の領域に一致して (b) SE 法 TR 3000ms、 TE 35ms の画像でも高信号として描出されているが、(c) TR 3000ms、 TE 50ms の画像の方がより高信号、高コントラストとして描出されている。

Table 1. Relaxation times and proton density value of each area.

	T_1 (ms)	T_2 (ms)	Pd
SAH	1414 ^{a,c} (182)	160 ^{b,d} (31)	1880 (396)
Gray	937 ^c (65)	91 ^d (10)	1802 (253)
CSF	3599 ^a (435)	242 ^b (73)	2039 (345)

a,c,d : $p < 0.001$, b : $p < 0.005$ (t-test), (SD)

1992年2月26日受理 1992年8月17日改訂

別刷請求先 〒010 秋田市千秋久保田町6-10 秋田県立脳血管研究センター放射線科 豊嶋英仁

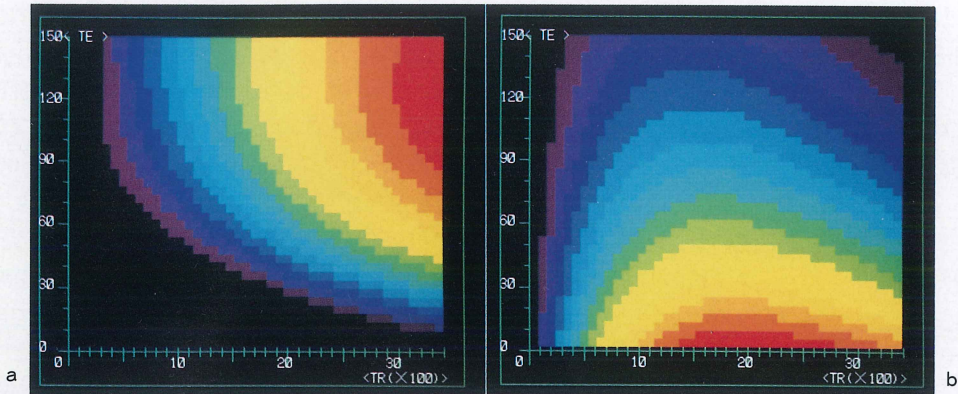


Fig. 1. Contrast maps for acute subarachnoid hemorrhage (SAH) against gray matter (a) and cerebrospinal fluid (CSF) (b). The intensity scale used in the color photograph follows the rainbow (lowest ; violet, blue, green, yellow, orange and red ; highest). The orthogonal represents TR from 0 to 3400 ms and the abscissa TE from 0 to 150 ms. The longer TR and longer TE make it easier to visualize the acute SAH against gray matter (a). On the other hands, the shorter TE and TR of 1000 to 3000 ms were suitable to visualize the acute SAH against CSF.

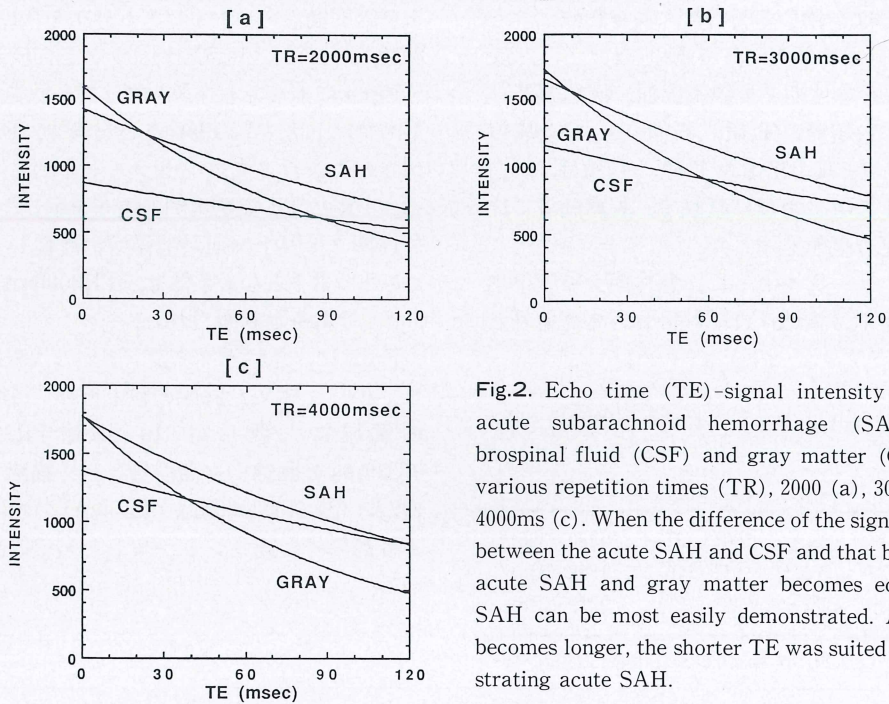


Fig.2. Echo time (TE)-signal intensity curves of acute subarachnoid hemorrhage (SAH), cerebrospinal fluid (CSF) and gray matter (Gray) at a various repetition times (TR), 2000 (a), 3000 (b) and 4000ms (c). When the difference of the signal intensity between the acute SAH and CSF and that between the acute SAH and gray matter becomes equal, acute SAH can be most easily demonstrated. As the TR becomes longer, the shorter TE was suited for demonstrating acute SAH.

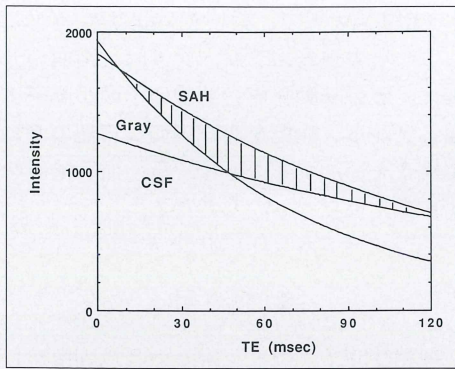


Fig.3. Echo-time (TE)-signal intensity curve of acute subarachnoid hemorrhage (SAH), cerebrospinal (CSF) and gray matter at a TR 3000 ms. The shaded area is appropriate for demonstration of acute SAH as high intensity relative to CSF and gray matter. The difference of the intensity in the shaded area between SAH and both CSF and gray matter can be indicated by the function of TR and TE. We showed the function of TR and TE for the visualization of acute SAH as a contrast map in the Fig.4.

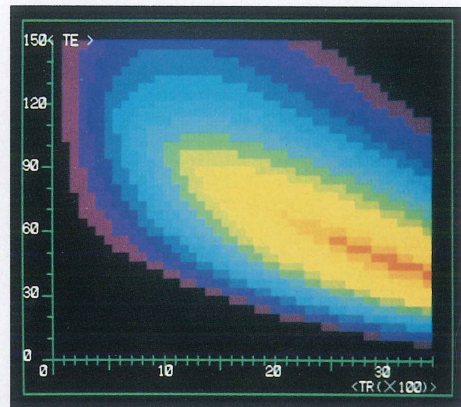


Fig.4. Contrast map for the acute subarachnoid hemorrhage (SAH) against cerebrospinal fluid (CSF) and gray matter. The higher signal intensity of SAH than those of both CSF and gray matter, the more contrast between SAH and both CSF and gray matter red on the contrast map.

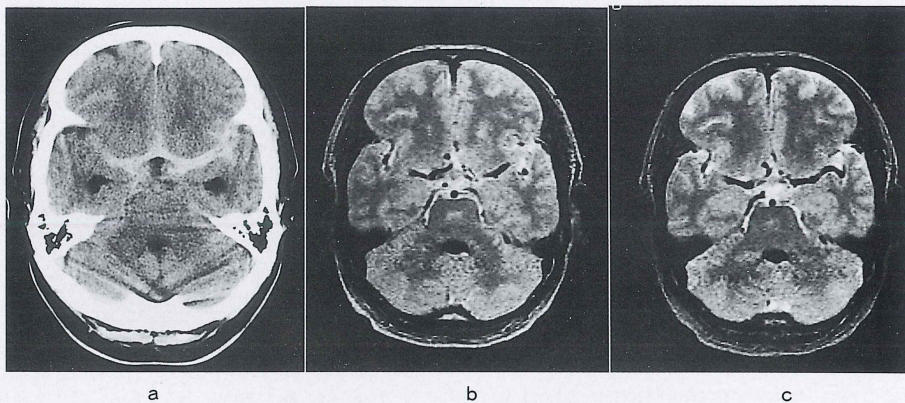


Fig.5. CT scan (a) shows symmetrical distribution of acute subarachnoid hemorrhage in the suprasellar cistern and both Sylvian valliculae. MR images (b : SE 3000/35) and (c : SE 3000/50) corresponding to the CT scan also show the acute subarachnoid hemorrhage as hyperintense in the suprasellar cistern, both ambient cisterns and Sylvian valliculae. The SE 3000/50 MR image (c) shows more clearly the acute subarachnoid hemorrhage than the SE 3000/35 MR image (b).

考 察

我々の用いたプロトン密度強度画像 (SE 法 3000/35) で、急性期クモ膜下出血が脳脊髄液および周辺灰白質の比べ、high intensity として観察されたのは、Fig.1 からクモ膜下出血の intensity が他の領域に比べ高いことから容易に理解される。これは、急性期クモ膜下出血の T_1 値、 T_2 値が、脳脊髄液に比べいずれも有意に短縮しており、また、灰白質の比べ有意に延長していることに基づいている。その原因については、ヘモグロビンの化学変化によるとする報告、凝固のメカニズムに伴う蛋白、水結合との関連を示唆する報告、脳脊髄液中の蛋白濃度との関連を示唆する報告はあるものの明らかでない^{11,9),19)}。

実際にこの撮像パラメータを用いた臨床例では、従来のプロトン密度強調画像および CT に比べ、クモ膜下出血の進展範囲が明瞭に観察された。これは、CT での high density が血腫の X 線吸収値にのみ依存しているのに対して、MRI は主にクモ膜下出血と脳脊髄液の緩和時間の相違に依存しており、理論的には MRI のほうが CT よりも容易にクモ膜下出血を検出できると言う報告を裏付けている⁹⁾。

今回用いた SE 法による T_1 値、 T_2 値、プロトン密度値の測定に関しては、測定精度、計算上の誤差、および partial volume effect 等の問題点が含まれている^{16)~18)}。しかしながら、急性期クモ膜下出血描出の撮像条件の検討のためのコントラストマップにおいては、クモ膜下出血、脳脊髄液および灰白質の T_1 値、 T_2 値、プロトン密度値の相対的な関係が重要である。

急性期クモ膜下出血が MRI によっても容易に検出されることが事実としても、motion artifact に敏感で、CT に比べ時間のかかる MRI が、CT にかわり急性期クモ膜下出血の第一選択の検査法となるかどうかは別問題である。しかし、今回の SE 法 TR3000ms, TE50ms, 加算回数 1 回では、matrix reduction および encode reduction を用いて約 6 分を要し、MR アンジオグラ

フィを組み合わせて、総検査時間は約 15 分である。これらの検査により、クモ膜下出血の分布に加え、破裂脳動脈瘤の部位の予測が高率に可能なことから、症例を選び適切な管理のもとに MR 検査を追加することは、後の血管撮像を施行する上で役立つものと考えられる。

ま と め

1. 緩和時間、プロトン密度の計算画像から、脳脊髄液および灰白質に対する、急性期クモ膜下出血のコントラストマップを作成した。
2. 我々の 0.5T MRI 装置における、急性期クモ膜下出血の描出のための適正撮像パラメータは、SE 法 TR3000ms, TE 約 50ms であった。

文 献

- 1) 井上佑一：出血性血管障害。最新 MRI 情報：16-23, 1989。
- 2) Grossman RI, Gomori JM, Goldberg HI, et al. : MR imaging of hemorrhagic conditions of the head and neck. Radiographics, 8 : 441-454, 1988。
- 3) Gomori JM, Grossman RI, Goldberg HI, et al. : Intracranial hematomas : Imaging by high field MR. Radiology, 157 : 87-93, 1985。
- 4) Bradley WG, Schmidt PG. : Effect of methemoglobin forming on the MR appearance of subarachnoid hemorrhage. Radiology, 156 : 99-103, 1985。
- 5) Zimmerman RD, Heier LA, Snow RB, et al. : Acute intracranial hemorrhage : Intensity changes on sequential MR scans at 0.5T. AJR, 150 : 651-661, 1988。
- 6) Davis JM, Hesselink JR. : Vascular lesions : Intracerebral hemorrhage. In : Taberas JM, Ferrucci JT. eds. Radiology, Diagnosis-Imaging-Intervention. Philadelphia : J. B. Lippincott, 1988 ; chap45 : 1-15。
- 7) Grossman RI, Magnetic resonance imaging of hemorrhage. In : Taveras JM, Ferrucci JT. eds. Radiology, Diagnosis-Imaging-Intervention. Philadelphia : J. B. Lippincott, 1990 ; chap46 : 1-13。

- 8) Chakeres DW, Bryan RN : Acute subarachnoid hemorrhage : In vivo comparison of magnetic resonance and computed tomography, AJNR, 7 : 223-228, 1986.
- 9) Jenkins A, Hadley DM, Teasdale GM, et al. : Magnetic resonance imaging of acute subarachnoid hemorrhage. J Neurosurg, 68 : 731-736, 1988.
- 10) Satoh S, Kadoya S. : Magnetic resonance imaging of subarachnoid hemorrhage. Neuroradiology. 30 : 361-366, 1988.
- 11) Matsumura K, Matsuda M, Handa J, et al. : Magnetic resonance imaging with aneurysmal subarachnoid hemorrhage : Comparison with computed tomography scan. Surg neurol, 34 : 71-78, 1990.
- 12) 小川敏英, 下瀬川恵久, 犬上 篤, 他 : 破裂脳動脈瘤によるクモ膜下出血のMRI診断. 日本医放会誌, 51 : 1324-1332, 1991.
- 13) 河野和宏, 清水公治, 山崎一成, 他 : MRI装置の臨床ソフトウェアII. 島津評論, 45 : 269-299, 1988.
- 14) Mills TC, Ortendahl DA, Hylton NM. : Investigation of partial flip angle magnetic resonance imaging. IEEE Transactions on Nuclear Science, 33 : 496-500, 1986.
- 15) Mills CM, Crooks LE, Kaufman L, et al. : Cerebral abnormalities : Use of calculated T_1 and T_2 magnetic resonance images for diagnosis. Radiology, 150 : 87-94, 1984.
- 16) 成瀬昭二, 他 : MRI計算画像の臨床的意義. NMR医学, 6 : 63, 1986.
- 17) Edelstein WA, et al. : Spin warp NMR imaging and application to human whole-body imaging. Pys Med Boil, 24 ; 751-756, 1980.
- 18) 遠藤真広, 他 : 縦緩和時間 T_1 の新しい計算法. NMR医学, 4 : 42-47, 1984.
- 19) Eric Spickler, Robert Lufkin, Louis Teresi, et al. : MR imaging of acute subarachnoid hemorrhage. Computerized medical imaging and graphics, vol. 24, no. 1 ; 67-77, 1990.

Evaluation of Appropriate Pulse Sequence with MR Imaging for Visualization of Acute Subarachnoid Hemorrhage

Hideto TOYOSHIMA, Toshihide OGAWA, Shigeki SUGAWARA,
Eku SHIMOSEGAWA, Atsushi INUGAMI, Yasuo AIZAWA,
Toshio OKUDERA, Iwao KANNO, Kazuo UEMURA

*Department of Radiology and Nuclear Medicine, Research Institute for Brain and Blood Vessels-AKITA
6-10 Sensyu-kubota-machi, Akita city, Akita, 010*

We performed MR imaging for 13 patients with acute subarachnoid hemorrhage (SAH) within 24 hours after bleeding episode using 0.5 T MR unit. T_1 -, proton density- and T_2 -weighted images were obtained using spin-echo (SE) pulse sequence. We calculated apparent T_1 and T_2 relaxation times and proton density values of various areas, acute SAH, cerebrospinal fluid (CSF) and gray matter. These results showed that the longer TR and longer TE were suitable for discriminating the acute SAH from gray matter. On the other hand, the shorter TE and TR of 1000 to 3000 ms were suitable for discriminating acute SAH from CSF. Based upon these results, we made a contrast map which demonstrates contrast of acute SAH against both CSF and gray matter. From the contrast map, we showed that a moderately T_2 -weighted SE sequence (TR3000ms/TE 50ms) was the most appropriate for the demonstration of acute SAH.