

SWIにおける角度依存性の検討 [大会長賞記録]

豊嶋 英仁, 中村 和浩, 佐藤 郁, 沢木 昭光,
茨木 正信, 木下 俊文

秋田県立脳血管研究センター放射線科

はじめに

SWI (susceptibility weighted imaging)¹⁾は、磁化率効果による位相シフトを重み付けマスク処理した磁化率強調像であり、デオキシヘモグロビンや鉄分子を含む深部静脈や赤核などが低信号に描出される。髄質静脈奇形や脳微小出血を鋭敏に検出することができ、臨床的有用性が高い撮像法である^{2)~5)}。

SWIには、静磁場方向 (B_0) に対する走行方向により描出能が変化する角度依存性が指摘されている^{6),7)}。髄質静脈や赤核は、長管形、楕円体の形体を有する。これら形体の違いによる角度依存性は不明であり、被写体間および経時変化を比較するには重要なポイントである。そこで今回、深部静脈および赤核の角度依存性による描出能を検討した。

方 法

対象は、本測定に同意を得た健常者 5 名 (26~48 歳, 平均 33 歳)。被験者の鼻棘耳孔線 (AM 線), 眼窩下縁耳孔線 (Reid's 線), 眼窩上縁耳孔線 (SM 線) の基準線を B_0 に対して垂直にポジショニングして、各々、ACPC 線に平行な軸位断 SWI, 矢状断 SWI および矢状断 2D phase contrast MRA (2DPC MRA) を撮像した。撮像範囲は、軸位断 SWI では赤核下縁から側脳室上縁の範囲とし、矢状断 SWI および 2DPC MRA は正中を中心に 30 mm の範囲とした。SWI シーケンスは流速補正した 3D FLASH シーケンスで、主なパラメータは TR/TE = 56/40 ms, FA = 20°, スライス厚 = 2 mm, 撮像視野 (FOV) = 23 cm, マトリックス = 256 × 179。2DPC-MRA は TR/TE = 80/10 ms, FA = 10°, FOV = 23 cm, マトリックス = 256 × 128, flow velocity = 5 cm/s。MRI は、Siemens MAGNETOM VISION 1.5T (Siemens medical systems, Erlangen, Germany), QD 型 Head coil を使用した。

SWI の k-space raw data (raw data) から phase 像を作成した⁷⁾。簡単にその方法について述べると、low-pass hanning filter と raw data から 2D-FFT により low-pass filter (64 × 64 pixels) を作成した。この low-pass filter 像でオリジナル magnitude 像を除き、得られた high-pass filter 像の複素数から phase 像が計算される。この処理は、汎用ワークステーションで数値解析ソフト MATLAB (The Math Works) を用いて行った。

静脈走行方向による描出能の評価方法; 内大脳静脈 (ICV) を対象静脈とし、2DPC-MRA で描出した ICV を 3 区分し、 B_0 に対する走行角度を測定した。次に、矢状断および軸位断 SWI において同部位の CNR および位相を測定し、走行角度に対する描出能を比較した。CNR は次式により測定した。

キーワード SWI, vein, red nucleus, CNR, MVM

$$\text{矢状断 ICV CNR} = (\text{脳梁膨大部 SI} - \text{ICV SI}) / \text{バックグラウンド SD}$$

$$\text{軸位断 ICV CNR} = (\text{視床部 SI} - \text{ICV SI}) / \text{バックグラウンド SD}$$

赤核長軸方向による描出能の評価方法；赤核を楕円体と見なし、その長軸が中脳前辺に平行であると仮定し、 B_0 に対する中脳前辺の角度を測定した。次に軸位断 SWI において赤核の CNR および位相を測定し、走行角度に対する描出能を比較した。CNR は次式で測定した。

$$\text{赤核 ICV CNR} = (\text{中脳白質部 SI} - \text{赤核 SI}) / \text{バックグラウンド SD}$$

結 果

ポジショニングによる ICV の描出能を Fig.

1 に示す。矢状断像において B_0 に対する矢印部の走行角度は、AM, Reid's, SM 基準線の順に $16^\circ, 34^\circ, 54^\circ$ 。 16° では静脈が最も明瞭に描出されているのに対して、 54° では最も不明瞭であった。軸位断でも同部位（矢頭）が同様な描出能であった。

ICV の走行角度に対する CNR の変化を Fig. 2 に示す。走行角度が 0° に近いほど最も CNR が大きく、約 50° で極小化し、さらに約 90° で極大化し、約 120° で最も減少した。軸位断像より矢状断像の方が顕著な変化を示した。静脈走行角度による描出能の変化が見られた。

ICV の走行角度に対する位相シフトを Fig. 3 に示す。矢状断像では、角度 0° に近いほど負の位相シフトが大きく、約 90° で最大となり、その後低下した。約 $50^\circ, 120^\circ$ で位相シフト ≈ 0 になった。軸位断像でも同様な傾向を示したが、 $50^\circ \sim 120^\circ$ では負の位相シフトであった。

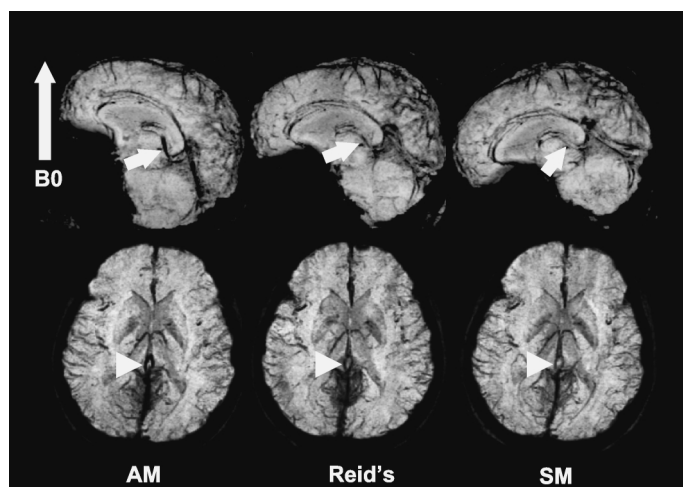


Fig. 1. Typical SWI images of three different head positions from a volunteer. The baseline of the AM, Reids and SM was perpendicularly located to the B_0 direction. Sagittal and axial images are shown. The vein (arrow) direction to the B_0 field in the AM, Reids and SM position was $16, 34$ and 54 degrees, respectively. The vein is not easy identified at the SM position, however it is clearly visible at the AM position.

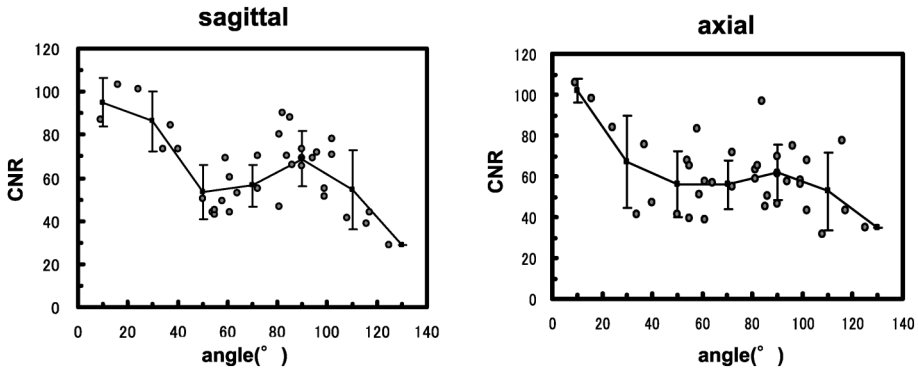


Fig. 2. Correlation between vein direction and CNR estimated from sagittal and axial image of SWI. The angle was determined using the sagittal image of 2DPC-MRA. The CNR was diminished at the θ of 55 and 125, especially in sagittal data.

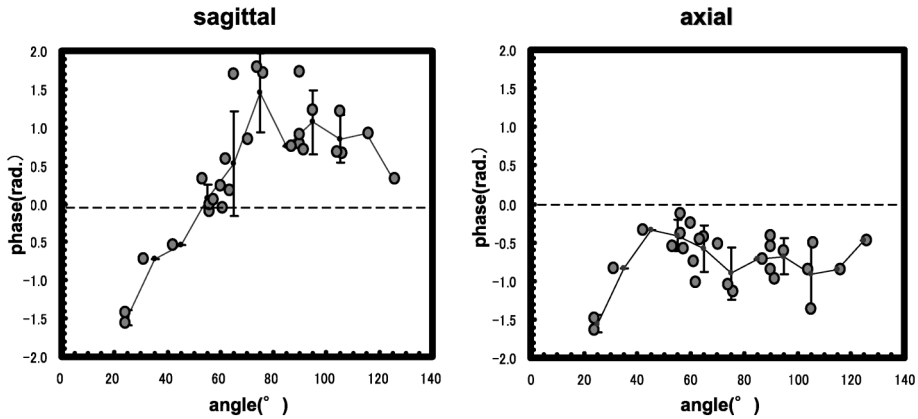


Fig. 3. Correlation between vein direction and phase shift estimated from sagittal and axial image of SWI. The phase shift was almost zero at the θ of 55 and 125 in both sagittal and axial data.

SWIにおける 50° , 120° での CNR 低下は、位相シフト ≈ 0 と一致した。

B_0 に対する中脳前辺の角度と赤核の CNR および位相シフトの比較を Fig. 4 に示す。中脳前辺の角度 65° 以下では、CNR および位相シフトともに角度による変化は見られなかった。

考 察

SWI での描出能が ICV では走行角度により

変化した。赤核では変化が見られなかった。つまり長管形では走行角度依存性があるが、楕円体では影響ないことが示唆された。ICV の走行角度が約 50° , 120° で周囲組織との CNR が最も低下し、これらの角度では位相シフトがほぼ 0° であった。SWI は位相シフトを重み付けマスク処理するため、位相シフトの変化が原因となり CNR が変化したと考えられる。

この位相シフト量変化の要因として、静脈血による磁化率効果の角度依存性が考えられてい

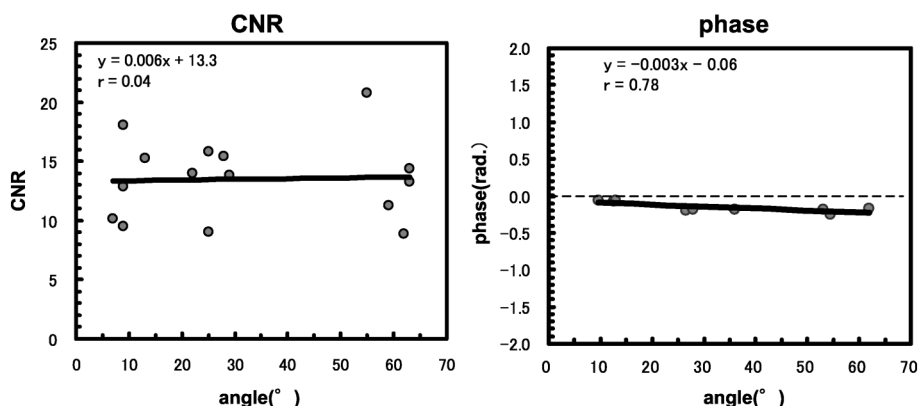


Fig. 4. Correlation between red nucleus direction, CNR and phase shift. The angle to the B_0 field was determined at the ex-side in mid brain. No difference in any direction was observed.

る⁷⁾。静脈血は常磁性体であり、この磁気双極子から生じる微小な局所磁場の影響のため、 B_0 とのなす角度 θ においてプロトンが揺動磁場から受ける影響が異なる。この角度依存性は双極子-双極子相互作用の影響であり、その強さは $(3 \cos^2 \theta - 1)$ に比例する。 $3 \cos^2 \theta - 1 = 0$ の解である $\theta \approx 55, 125^\circ$ はマジックアングルと呼ばれ、この角度において相互作用が消失する。位相差の消失はこの相互作用に関係があると考えられている⁸⁾。

今回の結果は、静脈内のプロトンに対する双極子-双極子相互作用の影響が静脈の走行角度によって変化したためだと考えられる。赤核のような楕円体の構造では磁気双極子の分布に方向性がないため、磁化率効果の角度依存性は生じなかったであろう。今後ファントム実験等で形状による信号強度依存性を検討していきたい。

マジックアングルに関わる方向は、3次元的に考える必要があり、 B_0 を長軸とする円錐状の方向に走行する血管について考慮する必要がある。临床上は、髄質静脈奇形など静脈病変の描出が問題になる。マジックアングル方向に走行した静脈がSWIで不明瞭化し、偽陰性になる可能性があるため、病変が疑われる場合に

は、ポジショニングを変えて複数回の撮像を行うことも必要であろう。また、フォローアップ検査時には、ポジショニングの再現性に留意する必要がある。

結 語

長管形を有する静脈ではCNRの角度依存性を認め、楕円体を有する赤核では認めなかった。

B_0 に対してマジックアングル $\theta \approx 55, 125^\circ$ に走行する静脈で、最もCNRが低下した。

临床上は、マジックアングル方向に走行した静脈がSWIで不明瞭化し、偽陰性になる可能性がある。病変が疑われる場合には、ポジショニングを変えてみる必要がある。また、フォローアップ検査時には、ポジショニングの再現性に留意する必要がある。

文 献

- 1) Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, et al. : Susceptibility weighted imaging (SWI). Magn Reson Med 2004 ; 52 : 612-618
- 2) Essig M, Reichenbach JR, Schad L, et al. : High

- resolution MR-venography of cerebral arteriovenous malformation [in German]. *Radiologie* 2001 ; 41 : 288-295
- 3) Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. : Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with posttraumatic diffuse axonal injury : improved detection and initial results. *Radiology* 2003 ; 227 : 332-339
 - 4) Hermier M, Nighoghossian N : Contribution of susceptibility-weighted imaging to acute stroke assessment. *Stroke* 2004 ; 35 : 1989-1994
 - 5) Sehgal V, Delproposto Z, Haddad D, et al. : Susceptibility-weighted imaging to visualize blood products and improve tumor contrast in the study of brain masses. *J Magn Reson Imaging* 2006 ; 24 : 41-51
 - 6) Haake EM, Lai S, Yablonskiy DA, Lin W : *In vivo* validation of the BOLD mechanism : a review of signal change in gradient echo functional MRI in the presence of flow. *J Imag Systems Tec* 1995 ; 6 : 153-163
 - 7) Wang Y, Yu Y, Li D, et al. : Artery and vein separation using susceptibility-dependent phase in contrast-enhanced MRA. *J Magn Reson Imaging* 2000 ; 12 : 661-670
 - 8) Erickson SJ, Cox IH, Hyde JS, et al. : Effect of tendon orientation on MR imaging signal intensity : a manifestation of the “magic angle” phenomenon. *Radiology* 1991 ; 181 : 389-392

Evaluation of Tilting Effect in SWI Internal [Presidential Award Proceedings]

Hideto TOYOSHIMA, Kazuhiro NAKAMURA, Kaoru SATO,
Akimitsu SAWAKI, Masanobu IBARAKI, Toshifumi KINOSHITA

*Department of Radiology, Research Institute for Brain and Blood Vessels Akita
5-18 Kubotamachi, Senshu, Akita 010-0874*

We examined tilting effects in susceptibility-weighted imaging (SWI) signal, using an inferior cerebral vein (cylindrical shape) and a red nucleus (oval shape) to evaluate shape effects.

We performed SWI of 5 healthy volunteers (aged 26 to 48 years ; mean age, 33 years) at 3 different head positions, locating the base lines of AM, Reid's, and SM perpendicularly to the B_0 field. We evaluated the angles (θ) to the B_0 field, contrast-to-noise ratio (CNR), and phase shift in an inferior cerebral vein and in a red nucleus.

The phase shift and CNR were diminished at θ of 55° and of 125° in the vein, whereas no difference was observed at any direction in the red nucleus.

The diminished angles have almost the same value of the magic angle estimated from magnetic dipole interaction. The angle-related effect from this interaction in the vein should change the vein signal in SWI. Because vein evaluation deteriorates in SWI, especially at the magic angle of 55° and 125° degrees, careful diagnosis of the medullary venous malformation from SWI is needed.