# <sup>-般□演</sup> 一般口演5 画像情報・レポートシステム

2018年11月23日(金) 10:15~11:45 I会場(福岡サンパレスH平安(中継末広))

# [2-I-1-6] MRIにおける SWI撮像により得られた画像を利用した QSMの臨床 的有用性に関する検討

<sup>○</sup>若山 季樹<sup>1,2</sup>, 井田 正博<sup>1</sup>, 小野寺 聡之<sup>1</sup>, 妹尾 淳史<sup>2</sup>, 田部井 照美<sup>1</sup> (1.公益財団法人東京都保健医療公社 荏原病院 放射線科, 2.首都大学東京大学院 人間健康科学研究科 放射線科学域)

【目的】定量的磁化率マッピング(quantitative susceptibility mapping :QSM)は、組織が持つ磁化率を定量評価で きるようにマッピングする手法であり、MRIの magnitude画像と位相画像を用いて、無次元のパラメータである 磁化率を算出する手法である。磁化率は位相画像より算出する。しかし magic angleに相当する部分の磁化率は計 算によって算出できないため、近似的に求める必要がある。本研究では UC BERKELEYの Chunlei Liuらの STAR-QSM法を用いた。本研究の目的は、正常例ならびに疾患例の SWI撮像で得られた画像から QSMを作成し、その有 用性を検討することである。【使用装置】 MAGNETOM Prisma fitおよび Skyra (ともに3.0T、シーメンス社製)を 用いた。【方法】 SWIを撮像し得られた magnitude画像および phase画像から解析を行った。撮像には SWI用3D GREシーケンス(TR/TE=28/20ms,FA=15deg,matrix=320\*260,slice thickness=2.0mm)を用いた。画像解析に は、UC BERKELEYの Chunlei Liuらの開発した STIsuiteを用いた。撮像及び解析対象は、正常例29例、多発性硬 化症5例、脳血管障害:5例である。【結果】 SWI撮像によって得られた画像から作成した QSM画像は正常な脳内 構造による磁化率ならびに疾患によると考えられる磁化率変化を反映しており有用性があると考えられた。本研 究により、SWI撮像で得られる画像のなかでも臨床において積極的には用いられていない magnitude画像および phase画像から QSMを得られる可能性が示唆された。

# MRIにおけるSWI撮像により得られた画像を利用したQSMの 臨床的有用性に関する検討

若山季樹\*<sup>1,\*2</sup>、井田正博<sup>\*1</sup>、小野寺聡之<sup>\*1</sup>、妹尾淳史<sup>\*2</sup>、田部井照美<sup>\*1</sup> \*1東京都保健医療公社荏原病院放射線科、\*2首都大学東京大学院人間健康科学研究科放射線科学域

# Study of the clinical utility of QSM using an image obtained from SWI imaging

Toshiki Wakayama<sup>\*1,\*2</sup>, Masahiro Ida<sup>\*1</sup>, Toshiyuki Onodera<sup>\*1</sup>, Atsushi Senoo<sup>\*2</sup>, Terumi Tabei<sup>\*1</sup>

\*1 Department of radiology, Ebara Hospital, Tokyo metropolitan health and hospitals corporation,

\*2 Department of radiological sciences, Graduate school of Human health sciences, Tokyo Metropolitan University

(Purpose) Quantitative susceptibility mapping (QSM) is a method of mapping that allows the magnetic susceptibility of tissue to be quantitatively evaluated. With QSM, the magnetic susceptibility, a dimensionless parameter, can be calculated using MRI magnitude and phase images to create a magnetic field map. The purpose of this study is to investigate the utility of QSM of normal and disease cases obtained from clinical SWI images.

(Methods) We used MAGNETOM Prisma fit and Skyra (3.0 T, manufactured by Siemens AG) for clinical imaging, with the 3D GRE sequence for SWI (TR / TE = 28/20 ms, FA = 15 deg, matrix = 320\*260, and slice thickness = 2.0 mm). We then used STIsuite, developed by Chunlei Liu et al. of UC Berkeley, for the image analysis. The subjects involved were 29 normal cases, 5 cases of multiple sclerosis, and 5 cases of cerebrovascular disease.

(Results) In normal cases, it was found that the magnetic susceptibility of brain has a positive correlation with age. In disease cases, the magnetic susceptibility of the affected area was different from the value of the normal.

(Discussion) The QSM images generated from clinical SWI images reflected the magnetic susceptibility of the normal brain structure and any pathological changes.

(Conclusion) The QSM using images generated by the SWI imaging have clinical utility.

#### Keywords: QSM, SWI, MRI,

#### 1. 緒論

定量的磁化率マッピング(quantitative susceptibility mapping:QSM)は、組織が持つ無次元のパラメータである 磁化率(組織の磁気に対する性質により異なる指標)を定量 評価できるようにマッピングする手法であり、MRIのmagnitude imageとphase imageを用いて磁化率を算出する手法である<sup>1)</sup>。 磁化率は次式より導かれる。

$$\psi = FT^{-1}\{D_2 \cdot FT(\chi)\} \quad \cdots (\vec{\mathfrak{K}}1.1)$$

( $\phi$ : the normalized phase with background phase removed、  $\chi$ : magnetic susceptibility distribution、FTはフーリエ変換、 FT<sup>-1</sup>はフーリエ逆変換を示す。)

(式1.1)において、  $\psi = \frac{\varphi}{\mu_0 H_0 TE}$  …(式1.2) である。 ( $\phi$ :measured phase,  $\gamma$ :gyromagnetic ratio,  $\mu_0$ :vacuum

( $\phi$  : measured phase,  $\gamma$  : gyromagnetic ratio,  $\mu_0$ : vacuum permeability,  $H_0$ : applied magnetic field, TE: imaging

parameter of MRI) さらに (式1.1)において、

$$D_{2} = FT \left\{ \frac{\Delta r_{x} \cdot \Delta r_{y} \cdot \Delta r_{z} \cdot \left[ 3 \cdot (H^{\wedge} \cdot r)^{2} - \left(r_{x}^{2} + r_{y}^{2} + r_{z}^{2}\right) \right]}{4\pi \left(r_{x}^{2} + r_{y}^{2} + r_{z}^{2}\right)^{\frac{5}{2}}} \right\}$$
$$\cdots (\vec{\mathbf{x}} 1.3)$$

(r:vector position,  $\Gamma_x$ ,  $\Gamma_y$ ,  $\Gamma_z$ :spatial coordinates,  $\Delta r$ : voxel dimensions, H<sup>\*</sup>:applied magnetic field vector)である。 しかし、(式1.1,1.2,1.3)においてD<sub>2</sub>=0のときは磁化率  $\chi$ を算 出できない。よって磁化率は次式の様に近似的に算出する (STAR-QSM法<sup>2</sup>)。

$$\begin{split} \chi &= \min\left\{ \left\| WT \varepsilon^{-1} \chi \left( D_{2} \sqrt{(WT (\chi))}^{2} + (\psi_{1} |_{2}^{-6} + \varkappa)^{2} \| Ww_{\delta_{x}} G_{x} \cdot \chi) \right\|_{1} \right\} \\ & \square O \geq 5 \end{split}$$

…(式1.5)

…(式1.4)

( $\phi$ :measured phase,  $\gamma$ :gyromagnetic ratio,  $\mu_0$ :vacuum permeability,  $H_0$ :applied magnetic field, W:weighting factors derived using the invert-sign Fast QSM<sup>3</sup>) estimates)

従来の手法では、QSM専用の撮像条件を設定した解析専 用の撮像<sup>3)</sup>を必要としていたが、今回提案する手法は日常臨 床において撮像されているSusceptibility Weighted Imaging(SWI)法<sup>4)</sup>によって得られる画像を用いてQSMを作成 するものである。SWI法では、magnitude image、phase image、 画像処理によって組織の磁化率差を強調した画像、その画 像を最小値投影法処理した画像(以後この画像をSWI画像と 表現する)の4種類の画像が得られる。診断においてはSWI 画像が主に用いられており、他の画像は臨床的には積極的 に活用されているとは言えないが、本手法ではこのmagnitude image、phase imageを使用してQSMを作成する。

## 2. 目的

本研究の目的は、正常例ならびに疾患例のSWI撮像で得られた画像(magnitude image、phase image)からQSMを作成し、その有用性について検討することである。

### 3. 方法

SWI撮像によって得られたmagnitude画像およびphase画像 から解析を行った。撮像にはMAGNETOM Prisma fitおよび Skyra (ともに3.0T、シーメンス社製)を用い、使用した撮像 条件はSWI用3D GREシーケンス (TR/TE=28/20ms, FA=15deg,matrix=320\*260,slice thickness=2.0mm)である。 本研究では科学計算ソフトウェアMatlab上で動作するUC B ERKELEYのChunleiLiuらの開発したSTIsuiteを使用し、QSM 算出手法はSTAR-QSM法を用いた。使用したMatlabのバー ジョンは2017aである。

撮像及び解析対象は正常例29例、多発性硬化症5例、脳 血管障害(出血性疾患)5例である。検証した部位は正常例 では、被殻、淡蒼球、黒質緻密部、赤核を対象とし、疾患例 は病変部を対象とした。

本研究においては倫理的な配慮として対象者は診療申し 込み時に「診療に伴い発生する試料等の医学研究への利用 についての同意(包括的同意)」を得られている者に限定した。 解析にあたっては個人を識別しうる情報の取扱には細心の 注意を払い、画像情報は匿名化して用いた。

#### 4. 結果

SWI撮像によって得られた画像から作成したQSMは正常 例では加齢に相関して磁化率が上昇していた(図1)。また、 多発性硬化症例の脱髄プラークの磁化率は急性期の炎症病 変では磁化率の上昇は認められなかったが、陳旧性の脱髄 プラークでは磁化率の上昇が認められた(図2)。脳血管障害 (出血性疾患)では同部位の磁化率上昇が認められた(図 3)。



図1 正常例における年齢と磁化率の関係(RN:赤核、SNpc: 黒質緻密部、GP:淡蒼球、Pu:被殻)



図2 多発性硬化症例(左:急性期、右:陳旧性)



図3 脳血管障害(脳内出血)症例

## 5. 考察

正常例のQSMでは脳内構造による磁化率変化ならびに加 齢による鉄沈着増加に伴う磁化率上昇<sup>5)</sup>を反映していると考 えられた。

多発性硬化症例の脱髄プラークのQSMでは陳旧性プラー クの鉄沈着により磁化率が上昇していると考えられた。急性 期のプラークでは鉄沈着が進行していないため、明らかな磁 化率上昇が認められなかったと考えられる。これらの所見は 病期によって脱髄プラークの磁化率が異なる<sup>6</sup>と報告した先 行研究文献の記述に矛盾しない。

脳血管障害では出血にともなうヘモジデリン沈着によって 磁化率上昇<sup>7)</sup>を来したと考えられた。

## 6. 結論

SWI撮像によって得られた画像から作成したQSM画像は 正常な脳内構造による磁化率変化ならびに疾患による鉄沈 着に伴う磁化率変化を反映しており一定の有用性があると考 えられた。本研究によって臨床撮像シーケンスであるSWI撮 像で得られた画像のうち臨床的に活用されることが少ない magnitude image、phase imageをもとにして、追加撮像なしに 有用性のあるQSMを得られることが示唆された。

#### 参考文献

- Li W, Wu B, Liu C. Quantitative susceptibility mapping of human brain reflects spatial variation in tissue composition. Neuroimage 2011; 55: 1645–1656.
- Wei H, Dibb R, Zhou Y, et al. Streaking artifact reduction for quantitative susceptibility mapping of sources with large dynamic range. NMR Biomed 2015; 28(10): 1294-1303.
- 3) Li W, Wang N, Yu F, et al. A method for estimating and removing streaking artifacts in quantitative susceptibility mapping. Neuroimage 2014; 108: 111-122.
- 4) Haacke EM1, Xu Y, Cheng YC, Reichenbach JR. Susceptibility weighted imaging (SWI). Magn Reson Med 2004; 52(3): 612-618.
- 5) Li W, Wu B, Batrachenko A, et al. Differential developmental trajectories of magnetic susceptibility in human brain gray and white matter over the lifespan. Hum Brain Mapp 2014; 35(6): 2698-2713
- 6) Chen W, Gauthier SA, Gupta A, et al. Quantitative susceptibility mapping of multiple sclerosis lesions at various ages. Radiology 2014; 271(1): 183-192.
- Haacke EM, Cheng NY, House MJ,et al. Imaging iron stores in the brain using magnetic resonance imaging. Magn Reson Imaging 2005; 23(1): 1-25.