

論文内容の要旨

Intensity inhomogeneity correction for magnetic resonance imaging of human
brain at 7T

(7T 頭部 MRI における信号不均一の補正)

(上野育子)

(Medical Physics 41 巻, 2 号, 平成 26 年 2 月掲載)

I. 研究目的

7 Tesla (T) MRI は, 3T 以下の臨床用 MRI と比較して SN 比, 空間分解能, コントラストが高いという利点を持つが, 一方で RF 磁場 (B1) やコイル感度の不均一に起因する画像信号の不均一が顕著に発生し, 深刻な画質劣化をきたすことが知られている. 信号不均一の補正には, B1 シミングや RF パルス調整などの画像取得前に補正する方法と, 種々の画像処理によって画像取得後に補正する方法がある. 前者は高価な先進ハードウェアとシーケンス・撮像部位・被験者毎の最適化が必要であり, 未だ解決すべき課題が多い. 一方, 後者はハードウェア・シーケンス・部位・被験者に依存しないが, その応用は 3T 以下の MRI における軽度な信号不均一の補正に限定されており, 7T における強度の信号むらに対する補正技術の報告はない. そこで本研究では, 画像統計解析の手法を用いて 7T MRI の頭部画像に最適化した信号不均一補正法の確立を試みるとともに, その精度検証を行った.

II. 研究対象および方法

10 名の健常ボランティアを対象に, 7T MRI (Discovery MR950, GE Healthcare) を用いて 2D spin echo (2D-SE), 3D fast SE (3D-FSE), 2D fast spoiled gradient echo (2D-FSPGR), 3D time-of-flight gradient echo (3D-TOF) の 4 シーケンスにて頭部を撮像した. 信号不均一の補正には, Statistical Parametric Mapping 8 (SPM8) (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, University College London) によるガウシアン平滑化マスクと灰白質・白質自動抽出を併用した逐次近似法を用いた. 平滑化関数の半値幅 (full width at half maximum, FWHM) は 30, 60, 90, 120 mm の 4 種類にて検討した. 4 種のシーケンスにおける元画像と 4 種の信号不均一処理適用画像 (合計 20 種類) に対し, 同じスライス位置の全大脳白質 (皮質下白質と深部白質) と灰白質に関心

領域(region of interest, ROI)を設定し, 1)全大脳白質 ROI の変動係数 (coefficient of variation, CV), 2)皮質下白質 ROI と深部白質 ROI の信号値の差異, 3)皮質下白質 ROI と皮質 ROI のコントラスト比, 4) 3D-TOF 冠状断 maximum intensity projection (MIP)画像におけるレンズ核線条体動脈 (lenticulostriate artery, LSA) の全長 (放射線科医 2 名による用手計測), の 4 つの指標について元画像・各種処理画像間で比較検討した.

III. 研究結果

- 1) 信号不均一処理画像における全大脳白質の CV 値は, 元画像 ($0.20 \pm 0.03 \sim 0.27 \pm 0.03$)に比し, 全シーケンスにおいて有意に低下しており ($0.02 \pm 0.002 \sim 0.11 \pm 0.01$; $p < 0.01$, Steel-Dwass test), 白質の信号がより均一になったことが示された. CV 値は FWHM 値が小さいほど有意に低下したが ($p < 0.01$, Steel-Dwass test), 2D-SE, 3D-FSE においてその傾向は明らかであった.
- 2) 元画像における深部白質の信号値は, 皮質下白質の信号値に比し有意に低値であったが ($p < 0.01$, Wilcoxon signed-rank test), 2D-SE, 3D-FSE では FWHM 値 60mm, 30mm を用いた補正画像において有意な信号差を認めなかった. 2D-FSPGR, 3D-TOF では FWHM 値 60mm において信号差が消失したが, 30mm では有意な差異が出現し, 過補正の可能性が示唆された.
- 3) 皮質下白質と皮質質のコントラスト比は元画像 ($0.80 \pm 0.07 \sim 1.07 \pm 0.02$)と補正画像 ($0.80 \pm 0.03 \sim 1.08 \pm 0.02$)との間に有意差を認めなかった.
- 4) 3D-TOF MIP 画像における LSA の全長は, 補正画像 (FWHM 値 30mm)において 24.94 ± 7.26 mm であり, 元画像の 5.21 ± 4.22 mm に比し有意に長く描出された ($p < 0.001$, Wilcoxon signed-rank test).

IV. 結語

画像統計解析の手法を応用することで, 7T MRI における B1 やコイル感度の不均一に起因する画像信号の不均一を, どのシーケンスにおいても良好に補正することが可能であった. ただし, 平滑化関数の FWHM 値はシーケンス毎に最適化する必要があると考えられた. 本手法は種々の 7T 頭部 MRI の画質向上に寄与することが期待できる.

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 小笠原 邦昭 (脳神経外科学講座)

副査 教授 寺山 靖夫 (内科学講座神経内科・老年科分野)

副査 教授 佐々木 真理 (超高磁場 MRI 診断・病態研究部門)

国内で3台、世界で50台程度しか稼働していない7TMRIは超高磁場ゆえに画像信号の不均一によりそのままでは画像劣化が著しい。これらの補正は、ハードウェアやシークエンス等の開発による画像取得前の補正が理想的であるが、高額のコストがかかり各機器メーカーに依存するところが多い。本論文は、この信号の不均一を画像修得後の処理により改善する方法の開発にかんする研究である。その方法のベースにSPMという国際標準のソフトを用いており、どの施設でも応用できるということが、特筆すべき点である。研究方法も緻密で、シークエンスによっては過補正になるというリミテーションも明らかにしている。現在ほとんどの7TMRIは、研究機として用いられているが、今後臨床機として広まった時に各施設が応用するであろう研究成果と考える。

試験・試問の結果の要旨

高磁場MRI画像の信号不均一の原因とその対策に関する試問を行い、適切な解答を得た。学位に値する学識を有していると考えられる。また、英語試験にも合格した。

参考論文

- 1) Assessment of sensations experienced by subjects during MR imaging examination at 7T (7TでのMRI検査時における被験者の自覚症状に関する評価) (上野育子, 他11名と共著) *Magnetic Resonance in Medical Sciences* 14巻, 1号 (2015) : p35-41.
- 2) Diffusion anisotropy color-coded map of cerebral white matter: quantitative comparison between orthogonal anisotropic diffusion-weighted imaging and diffusion tensor imaging (白質の拡散異方性カラーマップ: 直交方向の異方性拡散強調画像と拡散テンソル画像との定量比較) (上野育子, 他7名と共著) *Journal of Neuroimaging* 23巻, 2号 (2013) : p197-201.
- 3) CT and MR perfusion can discriminate severe cerebral hypoperfusion from perfusion absence: evaluation of different commercial software packages by using digital phantoms (CTとMR灌流画像は超低血流と血流欠損を区別できる: デジタルファントムを用いた各種商用ソフトウェアの評価) (上野育子, 他6名と共著) *Neuroradiology* 54巻, 5号 (2012) : p467-474.
- 4) Computer-assisted identification of the central sulcus in patients with brain tumors using MRI (MRIによる脳腫瘍患者の中心溝同定) (上野育子, 他6名と共著) *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 27巻, 6号 (2008) : p1242-1249.