

機関番号：14301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 ~ 2010

課題番号：21791186

研究課題名 (和文)

超高磁場MRI装置と32チャンネルコイルによる高精細拡散テンソルマップ作成

研究課題名 (英文)

Ultra high resolution diffusion tensor imaging atlas using 3T MRI with 32ch coil

研究代表者

山本 憲 (AKIRA YAMAMOTO )

京都大学医学研究科・助教

研究者番号：60525567

研究成果の概要 (和文)：3.0 テスラ MRI 装置と 32 チャンネル頭部用受信専用コイルを用いた従来法の限界を超える超高空間分解能拡散テンソル画像撮像方法を確立した。脳神経線維束のうち、特に臨床上も重要な視放線について、超高空間分解能拡散テンソル画像による解析を行い、遠心性線維及び求心性線維から成る内部構造や周囲脳梁線維や下縦束との関係性を検討した。また、皮質下白質についても超高分解能拡散テンソル画像による解析を行った。

研究成果の概要 (英文)：In this study, ultra high resolution diffusion tensor imaging method using 3T-MRI and 32-ch head coil was validated. The optic radiation was analyzed thoroughly. After the evaluation of subcortical white matter, whole brain diffusion tensor atlas of subcortical white matter was constructed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学放射線科学

キーワード：核磁気共鳴画像 (MRI)、拡散テンソル画像、脳皮質下白質

## 1. 研究開始当初の背景

脳などの軟部組織コントラストに非常に優れた MRI は臨床現場でも広く用いられており、各種脳疾患の診断や治療方針決定に非常に重要な画像診断検査方法の一つである。この MRI 撮像法のうち、特に組織内部の水分子の拡散運動 (ブラウン運動) の多寡からコントラストを生み出す撮影方法である、拡散テンソル画像法を用いることで、従来 MRI 撮像方法では可視化することが不可能であった、脳白質内部の個々の神経線維束の走行方向や走行位置を生体にて可視化することが可能となった。超高磁場 3TMRI の登場により、従来撮影法でも高い空間分解能画像を

得ることが可能となったのであるが、拡散テンソル画像法では画像歪み等の問題により高分解能撮像を行なうことが困難であった。

## 2. 研究の目的

- (1) 従来 MRI 撮像法を用いた拡散テンソル画像法での空間分解能を超える、超高分解能拡散テンソル画像撮像法を 3TMRI 装置と頭部専用 32ch コイルを用いて確立すること。従来法である、シングルショットエコープラナー撮像法での高分解能撮像時における画像歪みという欠点を補い、さらに高い分解能での撮像を可能とする方法について検討を

行なう。

- (2) 3TMRI と 32 チャンネル頭部コイルによる超高分解能拡散テンソル画像撮像法を脳白質繊維束解析に導入し、視放線や周囲繊維束の構造解析を行なうこと及び全脳白質皮質下白質アトラス作成に応用することを試みる。

### 3. 研究の方法

- (1) 所属機関設置の超高磁場 3TMRI 装置を用い、頭部専用 32 チャンネル受信装置を用いた MR 画像撮像を行ない、超高分解能拡散テンソル画像の撮像を行なう。
- (2) 超高分解能拡散テンソル撮像パラメータ設定の調整を行い、至適画像撮像方法の確立を行なう。
- (3) 上記にて確立した全脳超高分解能拡散テンソル画像撮像法を用いて全脳撮像を 3TMRI 装置と 32ch コイルを用いて行なう。対象は研究に参加する意志をもった健常ボランティア者若干名とし、各被験者から得られた画像データを用いて、被験者間での解析結果の相違点についても検討を加える。
- (4) 拡散テンソル画像データ解析、拡散テンソルパラメータ定量解析には米国ジョーンズ・ホプキンス大学放射線科森進教授が開発した DTIstudio を用いる。複数の被験者から得られた超高分解能拡散テンソル解析データを用いて、超高分解能皮質下白質拡散テンソルアトラスを作成する。

### 4. 研究成果

従来 MRI 撮像法では達成困難であった、3TMRI 装置と 32ch 頭部コイルを用いた超高分解能拡散テンソル画像撮像方法確立を達成した。また、本法を脳神経線維束の一つである、視放線解析に応用した。また、皮質下白質超高分解能拡散テンソルデータ解析も行った。

- (1) 超高分解能拡散テンソル画像撮像方法  
従来の MRI 撮像法の一つとして用いられていた、シングルショットエコープラナー法は、非常に高速に撮像が可能な方法であり、短時間に拡散テンソル画像を撮影するには非常に適した方法であった。しかしその反面、高い空間分解能での撮影を行おうとすると、画像歪みが強くなり、画像解析に問題を生じることがあり結果として、3TMRI 装置の利点の一つである、高空間分解能での撮影には困難があった。研究代表者らは、シングルショット法以外の拡散テンソル画像撮像方法の一つとして、マル

チショット法や小撮像範囲法等をヒト脳撮影に試行し、それらの中でも、マルチショットエコープラナー法による撮影が、3TMRI と 32 チャンネル頭部コイルを用いた超高空間分解能拡散テンソル画像撮影に最適であることを見出した。このマルチショットエコープラナー法をさらに拡散テンソル撮像用に最適化した撮像方法の一つである、読み出し方向分画化法及び動きによる信号位相変化を抑える目的としてのナビゲーターエコー法を併用し、近年の MRI 技術の大きな進歩である並列信号収集法を併せて用いることにより、従来法では得られない、3TMRI と 32 チャンネル頭部コイルを用いた超高分解能拡散テンソル画像撮像に成功した。3TMRI と 32 チャンネル頭部コイルの組み合わせは、3TMRI 装置だけでも 1.5TMRI 装置と比較して 40~60%の信号雑音比向上が得られるとされるが、これらの組み合わせにより、そこからさらに最大で 120%の信号雑音比改善が得られる、大変優れた撮影装置である。この 3TMRI と 32 チャンネル頭部コイルの組み合わせにより、T1 強調画像や T2 強調画像でもコントラストの改善や空間分解能の向上が図られ、従来の脳 MRI 画像を遥かに凌ぐ高精細かつ高コントラスト画像の撮像が可能となっている。この恩恵を拡散テンソル画像撮像法にも活用したのが今回の研究成果の一つである。

拡散テンソル画像法を高分解能化する際には、シングルショット法からマルチショット法への変換は従来も試みられていた方法であるが、拡散強調コントラスト法を用いるため、分画化した各ショット間での動きによる撮像データ間の位相のずれが生じる点の一つの大きな問題としてあった。本法では、このマルチショット法に加えてさらに、ナビゲーターエコー法により位相ずれの補正を行なうことで、マルチショット法の問題点であった位相ずれを克服することが可能となった。

- (2) 研究代表者らは、次に、上記にて確立したマルチショットエコープラナー法による 3TMRI 超高分解能拡散テンソル画像法を、脳内神経線維束の一つであり、臨床上も非常に重要な神経線維束である視放線描出に応用し、その内部構造描出能及び周囲繊維束との関係性描出について検討を行った。本研究にて超高分解能拡散

テンソル画像によって描出された視放線は、脳神経線維束を解析する従来から用いられてきた一つの方法である、Klingler 法と同等の結果が得られた。また、従来法では分からなかった、視放線外側を走行する下縦束及び内側を走行する脳梁線維との位置関係をより詳細に評価することが可能となり、この研究成果について、2011 年モンリオールにて開催された国際磁気共鳴医学会大会にて報告を行った。

また、視放線内部では、遠心性線維がその外側領域に、求心性線維がその内側領域に配置しているとの報告が過去の解剖学的、電気生理学的検討からなされている。今回の検討結果においても、視放線外側領域と内側領域での各種拡散テンソルパラメータが異なる値を示しており、この結果は過去の視放線内部構造解析結果を反映しているものと推察された。さらに、視放線内部の神経線維束のうち、軸索密度と髄鞘化の厚みがそれぞれ内側領域と外側領域で異なるとする報告があることから、その点についても検討を行った。

さらに、複数の被験者から得られたデータを解析することにより、視放線及び周囲の脳梁や下縦束線維構造の描出について、被験者間での相違があるかどうかを検討し、検体間変動有無について検討した。その結果、放線冠レベルでの白質内部構造は、拡散テンソル画像上はコントラストが低下する領域が存在し、従来から報告されている通り、この領域には神経線維束の交差が数多く存在することから、拡散テンソルパラメータ上、コントラストが低下する領域であると考えられた。その検討において、空間分解能を高めることにより、従来法ではコントラスト低下領域として捉えられていた他の白質内部領域において、明瞭な境界構造と思われる線状構造や面状構造が描出されており、従来法では可視化することが不可能であった、解剖学上の神経線維束間の境界領域が可視化された物であると考えられた。

- (3) 研究代表者らは、上記視放線に続いて、申請時点での研究目的である、脳皮質下白質への超高分解能拡散点ル画像法を応用した。超高分解能拡散テンソル画像法による全脳皮質下白質解析は画像解析手法だけでなく、神経解剖学においても未開拓の分野

であり、解析には様々な障害が存在する。皮質下白質繊維束には領域毎に異なった特徴が存在することが解析結果より判明し、そのため、個々の領域毎に最適な撮像方法が必要である。視放線周囲の皮質下白質について、超高分解能拡散テンソル画像を用いて、詳細な検討を行った結果、脳領域毎に異なる結果が得られ、やはり脳領域ごとに皮質構造が異なるように、皮質下白質構造も異なっていることが考えられた。また、これら領域毎の脳皮質下白質構造の違いについて、超高分解能拡散テンソル画像法だけでなく、近年の超超高磁場 MR 装置である 7TMRI でも用いられている撮像方法である、磁化率強調画像についても初期検討として、拡散テンソル画像法との対比検討を行った。磁化率強調画像は、従来撮像方法の一つである、T2 スター強調画像法に加えて、信号強度だけでなく信号位相情報を最終画像に加味する撮像方法である。この撮像方法では、脳内部の微細な鉄の存在や、脳内部構造自体から生じる位相情報ずれを利用して、全く新しいコントラストを示すことが出来る画期的な撮像方法の一つである。この磁化率強調画像と超高分解能拡散テンソル画像解析結果とを組み合わせると、皮質下白質内部構造について、非常に興味深い知見を得ることができた。この知見については、米国一流査読有雑誌に投稿するべく、現在執筆準備中である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Yamamoto, M., Kanagaki, T. Okada, S. Kasahara, E. Morimoto, M. Iima, R. Sakamoto, S. Nakajima, T. M. Mehemed, and K. Togashi. Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 19 (2011) 4226 査読有
- ② M. Iima, A. Yamamoto, T. Okada, M. Kanagaki, D. L. Bihan, S. Kasahara, E. Morimoto, S. Nakajima, R. Sakamoto, T. M. Mehemed, and K. Togashi Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 19 (2011) 4283 査読有

[学会発表] (計 7 件)

- ① 山本 憲、High Resolution Distortion-Free Diffusion-Tensor Imaging of Optic Radiation Using Readout-Segmented Echo-Planar

- Imaging and a Two-Dimensional Navigator-Based Reacquisition at 19<sup>th</sup> annual meeting of International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2011/5/10, Montreal, Canada
- ② 飯間麻美 (山本憲) High Resolution Distortion-Free Diffusion-Tensor Imaging of Craniovertebral Junction at 19<sup>th</sup> annual meeting of International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2011/5/10, Montreal, Canada
  - ③ 山本憲、超高分解能拡散テンソル画像による皮質下白質トラクトグラフィー描出の試み、第40回日本神経放射線学会、2011年2月26日、品川、東京
  - ④ 山本憲 3 T MR Imaging with 32 Channel Head Coil: A New Horizon for Neuroimaging 、 96th Scientific Assembly and Annual Meeting of the Radiological Society of North America、November 28-December 3, 2010 、 McCormick Place, Chicago
  - ⑤ 山本憲、脳拡散テンソルの基礎から応用 第38回日本磁気共鳴医学会大会 2010年10月1日つくば国際会議場
  - ⑥ 山本憲、3 T MRI 32 チャンネルコイルを用いた脳局所高分解能撮像法、第38回日本磁気共鳴医学会大会、2010年10月1日、つくば国際会議場
  - ⑦ 山本憲、頭蓋内腫瘍性病変の画像診断 2. 脳室内および近傍部 (松果体を含む) 第69回日本医学放射線学会総会 2010年4月9日パシフィコ横浜

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 憲 (AKIRA YAMAMOTO )  
京都大学医学研究科・助教  
研究者番号：60525567