

令和 3 年 10 月 21 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K09020

研究課題名(和文) 木材を利用したMRI拡散テンソル解析用定量評価ファントムの開発

研究課題名(英文) Development of quantitative evaluation phantom for MRI diffusion tensor analysis using wood

研究代表者

妹尾 淳史 (Senoo, Atsushi)

首都大学東京・人間健康科学研究科・教授

研究者番号：00299992

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の最終目標は、商用化に耐えうるMRI拡散テンソル解析用の定量評価ファントムを世界に先駆けて開発することである。本研究の目的はヒトの脳に近い拡散テンソル解析の定量値を持つ木材を見つけることである。75種類の木材を拡散強調画像を撮像してFA値、AD値、RD値、RK値および、AK値を算出した。算出された定量値はヒトの脳の定量値と類似していることを明らかにした。1年間にわたる解析値の経時変動は最大8%以下であった。同一木材種でも解析値には約14%の差異があった。本研究の成果として、木材はMRI拡散テンソル解析用の定量評価ファントムの材料として適していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題による成果は、木材がMRI拡散テンソル解析で定量評価が可能であり、かつ長期保管でも腐食や変形せず、神経交差を模擬することが可能なファントムの材料としての適していることを明らかにした点で学術的に大きな意義を持っている。本研究課題はファントムの商用化も視野に入れており、社会的にも大きな意義を持っている。

研究成果の概要(英文)： The goal of this study is to develop a quantitative evaluation phantom for MRI diffusion tensor analysis that can withstand commercialization. The research leader focused on wood as a material for quantitative evaluation phantoms for MRI diffusion tensors. The purpose of this study is to find wood with quantitative value of diffusion tensor analysis close to human brain. A total of 75 types of wood were used in this study. Each wood was taken a diffusion-weighted image and calculated FA value, AD value, RD value, RK value and AK value. The calculated values of MRI diffusion tensor analysis were found to be similar to those of human brain.

This was a smaller value than the fluctuation due to the imaging parameter and imaging environment. The analysis values for the same wood species differed by about 14%. As a result of this study, it was revealed that wood is suitable as a material of quantitative evaluation phantom for MRI diffusion tensor analysis.

研究分野：放射線技術学

キーワード：拡散テンソル解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

MRI 装置を利用した拡散強調という撮像法は、超急性期の脳梗塞の検出が可能であり、臨床現場で汎用的に使われている。一般的な拡散強調画像の撮像は水分子の拡散を大まかに捉えることが目的のため、空間的に XYZ の 3 軸方向のみの拡散移動成分を計測している。近年、この空間軸を 3 軸よりも多くの拡散移動軸方向の成分を計測し解析することで、大脳白質神経線維の配列方向や神経線維の状態を可視化する拡散テンソル解析という技術が登場した。テンソルとは、数学的にはベクトルが配列状に並んでいる状態をあらわし、MRI での拡散テンソル解析は配列の要素である 1 画素中に 3 次元以上(通常は 6 から 256 次元)のベクトル成分を計測し、神経線維の状態を可視化している。

現在、臨床で汎用的に利用されている拡散テンソル解析法は、解析の原理上、脳神経が交差している部位と脳神経が存在していない部位との区別ができないという大きな欠点がある。そこでこの欠点を解決する新しいテンソル解析法として近年、拡散尖度解析法や q 空間解析法などが提唱され、国内外の多くの研究者らが実用化に向けて研究している。開発されたテンソル解析法の優劣を検証するためには、撮像パラメータや解析手法を最適化する必要があるが、それには拡散テンソル解析用の定量評価ファントムが必須であるが、国内外問わず商用化された拡散テンソル解析用の標準定量評価ファントムは皆無である。そのため世界中の研究者らは、自分たちが開発した新しい解析法が他の解析法と比較してどの程度優れているのか定量的に検証できないのが現状である。現在、最も多く利用されている脳神経を模した MRI 拡散テンソル解析用ファントムの材料としては、アスパラガスや糸束などで各研究者らが自作して利用しているが、これらの自作ファントムは長期保管による腐食や神経交差を模擬されておらず定量評価できないという大きな問題点がある。

拡散テンソル解析や拡散尖度解析に使用するためのファントムには異方性構造が必要である。異方性構造とは神経線維の束や管が集まった構造をしており、水分子は繊維や管の内壁に拡散運動を制限される。先行研究ではこの異方性構造材料として、直径 10 μm 程度のポリエチレンファイバーや内径数 10 μm 程度のガラスキャピラリーが利用されている。しかしこれらの材料は一般的に市場に出回っておらず、企業からの研究協力として提供を受ける際にも非常に高価である。ヒトの脳神経を模した拡散異方性構造を持ち、なおかつ廉価な材料で作成可能な MRI 拡散テンソル用の定量評価ファントムの開発は急務である。

研究代表者は MRI 拡散テンソル用の定量評価ファントムの材料として木材を世界に先駆けて着目した。研究代表者は本研究課題の準備として、針葉樹と広葉樹の木材を臨床で用いられる MRI 拡散強調画像の撮像パラメータで撮像して拡散テンソル解析をした結果、FA 値がヒトの脳の値に近く、しかもトラクトグラフィも作成可能であることを明らかにした。しかし、木材にはさまざまな種類があり、どの木材がヒトの脳に近い値を持つのかが不明であった。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、商用化に耐えうる MRI 拡散テンソル解析用の定量評価ファントムを世界に先駆けて開発することである。本研究は MRI 拡散テンソル解析で定量評価が可能であり、かつ長期保管でも腐食や変形せず、神経交差を模擬することが可能なファントムの材料を決定し、かつ商用生産するうえで再現性の高いファントムの作成法を確立することを目的とする。本研究は将来的に商用化を目標にして開発する点が大きな特徴である。

3. 研究の方法

- (1) 木材が拡散テンソル解析や拡散尖度解析可能かを調査するため、76 種類の木材を撮像し解析した。
- (2) ファントムには常に安定した解析値を提供する再現性が必要である。再現性の検証のため、複数の木材を利用することで解析値が一定増加するファントムを作成し、MRI 装置 3 機種にて撮像した。
- (3) 長期間の使用に耐えうるため、ファントムには高い保存性が必要である。保存中に解析値に変化がないか検証するため、1 年間にわたり撮像を繰り返し、解析値の変化を調査した。
- (4) 木材は自然物であるため、個体差が予想される。ファントム材料として利用の際のその個体差を把握するため、同一木材種で異なる採取地、異なる採取年月日の木材を同条件で撮像し、その解析値を比較した。
- (5) 木材の構造として仮道管や維管束、木材繊維が知られているが、実際に異方性を示した木材を顕微鏡解析し、その構造を観察した。

4. 研究成果

- (1) 76 種類すべての木材において拡散テンソル解析および拡散尖度解析が可能であり解析値が得られた。得られた解析値は先行研究により明らかになっている人体組織の解析値に近い値であった。
- (2) 撮像パラメータにより解析値が変化することは前述のとおりであり、3 機種の MRI 装置で得られた解析値には差異が見られた。しかし複数のもう材の一定の増加傾向は一致しており、ファントム材料として十分な再現性があると判断した。
- (3) 1 年間における解析値の変動は最大 8%以下であった。これは撮像パラメータや撮像環境によ

る変動よりも小さな値であり、1年間の保存性に問題はないと判断した。

(4) 同一木材種であっても、解析値に14%の差異が見られた。そのため木材種のみでその解析値を推測することはできず、ファントム材料として利用の際は実際の測定を必要とする。

(5) 低い異方性を持つ木材種は径の大きな管構造を持ち、高い異方性を持つ木材種は径の小さな管構造を持っていた。これは理論と合致する結果であり、木材の持つ異方性構造を確認した。

拡散テンソル解析や拡散尖度解析などから得られる解析値には様々な種類があり、またその算出方法も複数提唱されている。開発した異方性MRIファントムによりそれぞれの解析値の意義、算出方法の特徴や優劣が検証可能となる。撮像に際しては多数のパラメータの設定が必要であり、そのパラメータが解析値に影響を与えることが知られている。

MRI検査において撮像時間は最も重要な条件の一つであり、より正確な解析値を得るためには長い撮像時間が必要になる。しかし長時間の検査は被検者に負担を与え、MRI検査のスループットを低下させる。施設におけるMRI検査の予約枠の不足は深刻であり、MRI検査は常に最短での検査が要求されている。短い撮像時間で正確な解析値を得るために、様々な撮像条件を試さなくてはならない。そのような実験は人体を撮像対象としては強い負担を強いることになり、倫理的にも容認できない。本研究課題の成果として木材を異方性MRIファントムとして利用することで撮像回数の制限なしに実験が可能になり、最適な撮像条件を模索することが可能であることを明らかにした。

入手性がよく安価な木材を異方性材料とすることで、MRI業務に携わる多くの研究者や技術者が異方性MRIファントムの利用が可能になる。広く利用可能な異方性MRIファントムにより拡散MRIの研究が促進され、最適な撮像パラメータの決定により臨床応用が可能になる。拡散MRIの臨床応用は従来鑑別の難しかった疾患の診断に役立ち、医療に貢献することが可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. Suzuki M, Moriya S, Hata J, Tachibana A, Senoo A, Niitsu M.: Development of anisotropic phantoms using wood and fiber materials for diffusion tensor imaging and diffusion kurtosis imaging. *MAGMA*. 2019 May 29. [Epub ahead of print]
2. Suzuki M, Senoo A, Niitsu M.: Development of a Surface Marker for Fractional Anisotropy Maps Using Wood in a Phantom Study. *Magn Reson Med Sci*. 2019 Jan 10;18(1):70-74. Epub 2018 Jun 13.

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Masashi Suzuki, Junichi Hata, Atsushi Tachibana, Mamoru Niitsu, Atsushi Senoo: 産地の異なる木材比較でわかる拡散異方性材料としても木材がもつ再現性第46回日本磁気共鳴医学会大会抄録集 327 2018年9月
2. Masashi Suzuki, Junichi Hata, Atsushi Tachibana, Mamoru Niitsu, Atsushi Senoo: 木材とツナーガ®は拡散尖度解析用の拡散異方性ファントムとなりうるか?第46回日本磁気共鳴医学会大会抄録集 160 2018年9月
3. Masashi Suzuki, Atsushi Senoo: Development of anisotropic phantom for tensor imaging Determining wood speies of materials. 第45回日本磁気共鳴医学会大会抄録集 339 2017年9月
4. 鈴木政司, 守屋進, 矢崎健一, 小笠真由美, 安部久, 妹尾淳史: 臨床用MRI装置を利用した非破壊的水分分布描出システムの開発:樹木の組織構造を反映する水拡散運動の解析 日本木材学会大会研究発表要旨集 66th ROMBUNNO.A28-P-17 2016年3月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 異方性の被検知部材の製造方法

発明者: 妹尾淳史、鈴木政司

権利者: 東京都公立大学法人

種類: 特許願

番号: 特願 2020-077427

出願年: 2020

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究分担者
なし

(2)研究協力者
研究協力者氏名：鈴木 政司
ローマ字氏名： Suzuki Masashi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。