

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：32610
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2017～2019
課題番号：17K18086
研究課題名（和文）不変性をもった拡散テンソルファントムの開発

研究課題名（英文）Development of stable diffusion tensor phantom

研究代表者
只野 喜一（Tadano, Kiichi）
杏林大学・保健学部・助教

研究者番号：20759443

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：ミシン糸とガラス管を用いて任意の安定したFA値（0.2～0.5程度）を長期間にわたって維持できる拡散テンソルファントムを開発した。このファントムを用いて校正を行うことでFA値を定量指標として用いることが可能となる。
また、ガラス管の代わりにミシン糸をきつく巻き付けることで任意形状に変形することのできる拡散テンソルトラクトグラフィ用ファントムも開発した。このファントムを用いることで客観的なトラクトグラフィ描出ソフトウェアの性能評価が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

FA値は従来より脳梗塞や水頭症の診断において有用性の高い指標として用いられてきた。しかしFA値は装置や条件によって値が変化するため相対評価としての利用にとどまっていた。
本研究課題により開発されたファントムは安定して固有のFA値を持つため、このファントムでFA値を校正することで、FA値の絶対評価が可能となる。
また、トラクトグラフィ描出ソフトウェアの開発や検証をする際にはこのファントムを用いることで客観的な評価が可能となる。

研究成果の概要（英文）：I have developed the diffusion tensor phantom that can maintain an arbitrarily stable FA value (about 0.2 to 0.5) over a long period using a sewing thread and a glass tube. The FA value can be used as a quantitative index by performing calibration using this phantom. Also, I developed a phantom for diffusion tensor tractography that can be deformed into an arbitrary shape by tightly winding a sewing thread instead of a glass tube. By using this phantom, it is possible to objectively evaluate the performance of the tractography software.

研究分野：医学物理学

キーワード：ファントム 拡散テンソル トラクトグラフィ 拡散異方性 MRI DTI DTT

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

拡散テンソル画像(DTI : Diffusion Tensor Imaging)により得られる FA(Fractional Anisotropy)値は細胞レベルの障害や圧迫などの構造変化を反映した情報を得ることが可能で、近年盛んに臨床応用が行われている。しかし FA 値は使用する MR 装置によるバラつきがあることが知られており、定性的な評価にとどまっているのが現状であった。

FA 値を定性指標から定量指標へと格上げするためにはファントムによる MR 装置ごとの校正が必須である。これまでにアスパラガスなどの繊維に富む植物を利用した DTI ファントムの報告があるが、植物であるため、短期間で腐敗、変質するため校正用ファントムとして期待される要件である、不変性、安定性、さらには任意の複数の FA 値を容易に設定できる点を満たしていない。また、ガラス製毛細管である capillary plate や合成繊維である Dyneema®を用いたファントムの報告もあるが、これらは不変性、安定性についての問題は無いものの、その作成方法から任意の複数の FA 値を設定するのは困難であると考えられた。

2. 研究の目的

本研究では上記の問題を解決するために、任意の FA 値を不変的に維持できるファントムの開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 本研究で作成するファントムの原理

ミシン糸数千本を束にしたものをガラス管に圧入することでファントムとする。ミシン糸同士の間には微細な空間が生まれ、この空間が拡散制限領域としての働きをする。同一径のガラス管を使用した場合、糸束の本数を変化させることで糸束に掛かる圧力=拡散制限領域の大きさを任意に変化させることが可能であり、結果として任意の FA 値を設定することができる。

(2) 使用機器及び環境

DTI の撮像には Canon Medical Systems 社製 Vantage Titan 3.0T を用いた。主な撮像条件はシーケンス SEPI、印可軸数 12 軸、b 値 1000 s/mm²、スライス厚 2 mm、TE 90 ms、TR 10000 ms、NEX 3 回である。

DTI 解析には増谷佳孝氏開発の dTVIISR を用いた。使用したミシン糸は Fujix 社のキングポリエステル糸 (ポリエステル 100%長繊維糸)、キングポリエステルスパン糸 (ポリエステル 100%短繊維糸)、コットン糸 (綿 100%短繊維糸)、レジロン糸 (ナイロン 100%長繊維糸) であり、それぞれ#30~#100 までの入手可能な太さすべてを対象とした。

(3) 作成手技

- ① ステッピングモータを用いてミシン糸を任意の回数巻取り、糸束を作成する
- ② 糸束を超音波洗浄機に 30 分~1 時間かけ、繊維の隙間に存在する気泡の脱気を行う
- ③ そのまま水中にて糸束に紐をかけてガラス管の中に引き込む (Fig.1)
- ④ あらかじめ脱気し、防腐剤としてアジ化ナトリウムを添加した水で満たしたガラス瓶に③で作成したガラス管を移し、スポンジで固定しファントムとする

(4) 検討項目

- ① ファントムに適した糸の選定
脱気が容易、長期間にわたって変性しない、FA 値の調整が容易、入手が容易の 4 つの条件を満たすミシン糸を選定した。
- ② 糸の本数と FA 値の相関の検討
糸の本数を変化させた複数のファントムで FA 値を計測し、本数と FA 値の相関を検討した。
- ③ 再現性の検討
同じ条件のファントムを複数個作成し、個体間およびファントム内の位置による FA 値のバラつきについて検討した。
- ④ 不変性の検討
作成したファントムを 2 年間、定期的に撮像し FA 値の変化を観察した。また加速劣化試験として 80°C 環境下で 2 週間保存した場合の FA 値の変化を観察した。

(5) トラクトグラフィファントム (DTT ファントム) の作成及び評価

研究開始時の目的には含まれていないが、ファントムの作成方法を変えることで拡散テンソルトラクトグラフィ(DTT : Diffusion Tensor Tractography)の評価に利用可能なファントムの開発を行った。これまでのファントムでは均一な FA 値を得るために、糸束を均一に圧迫することのできるガラス管を用いていたため変形させることができなかった。そこでガラス管の代わりにミシン糸を糸束にきつく巻き付けることで DTT 可能な程度の FA 値を示しつつ、任意形状に変形させることができるファントムを開発した。(Fig.2)

4. 研究成果

(1) 糸の種類と FA 値の相関について

キングポリエステルスパン糸はどの太さにおいても FA 値が低く、本数との相関も弱かった。得られた FA 値の最大値は 0.24 であった。コットン糸は FA 値と本数の間に相関がみられず、SD も大きかった。得られた FA 値の最大値は 0.36 であった。レジロン糸は本数が少ない間は FA 値との間に相関がみられたが、本数が増えると相関は失われた。得られた FA 値の最大値は 0.50 であった。キングポリエステル糸は本数と FA 値に強い相関を認めた。得られた FA 値の最大値は 0.55 であった。以上よりポリエステル 100% 長繊維糸であるキングポリエステル糸が最もファントムに適していた。

(2) 再現性について

キングポリエステル糸について FA 値が 0.50 を示した本数で 5 つのファントムを作成して再現性を検討したところ FA 値の SD は 0.019 であり、十分な再現性を持つことが示された。撮像された Color map を Fig.3 に示す。

(3) 不変性について

不変性について、2 年間の定期的な撮像及び 80°C 環境下 2 週間による加速劣化試験のどちらでも FA 値の有意な変化、外見上の異常は見られず優れた不変性を持つことが示された。

(4) DTT ファントムについて

DTT ファントムによる FA 値は 0.6 程度とガラス管を用いた場合に比べてわずかに高い値を示した。DTT を行うのに必要とされる FA 値は 0.2 程度であるので DTT ファントムとして十分な FA 値を得ることができた。ファントムは手で容易に変形させることが可能であり、また任意形状に切り抜いたスポンジなどに挿入することでその形状を維持することができる。作成したファントムによる DTT を Fig.4 に示す。



Fig.1 ファントム外観

(写真撮影のため空気中においている)

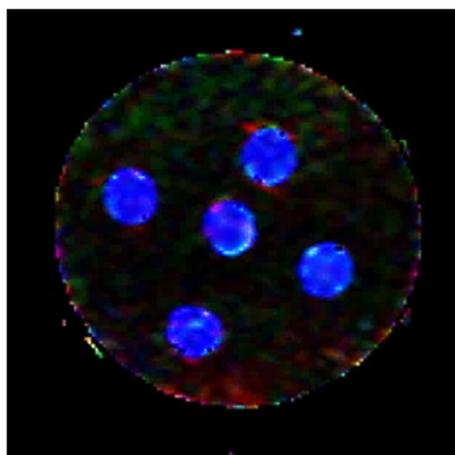


Fig.3 5 つのファントムによる Color map



Fig.2 DTT ファントム外観

(写真撮影のため空気中においている)

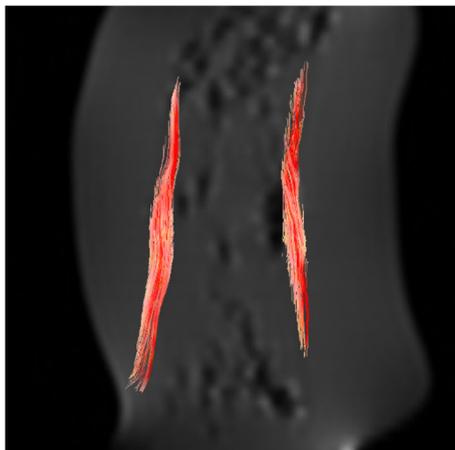


Fig.4 DTT ファントムによる DTT

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 只野喜一, 伊藤良真, 野沢真吾, 中村卓斗, 市川知志, 佐藤英介
2. 発表標題 ミシン糸を用いた拡散テンソルファントムの開発
3. 学会等名 第13回九州放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.Tadano, Y.Tajima, E.Sato, T.Hashimoto
2. 発表標題 Development of flexible diffusion tensor phantom
3. 学会等名 第118回医学物理学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----