

氏 名（本籍） 田 村 元

学 位 の 種 類 博 士 （ 医 学 ）

学 位 記 番 号 医 第 3 1 0 0 号

学位授与年月日 平 成 1 0 年 9 月 9 日

学位授与の条件 学位規則第 4 条第 2 項該当

最 終 学 歴 平 成 元 年 3 月 2 4 日
東北大学医学部医学科卒業

学位論文題目 一回励起のエコープラナー拡散強調画像を用いた
脳白質神経路のカラー表示
(Color Mapping of the White Matter Pathways
Using Diffusion-Weighted Single-Shot Echo-
Planar Imaging.)

(主 査)

論文審査委員 教授 山 田 章 吾 教授 福 田 寛

教授 糸 山 泰 人

論文内容要旨

【目 的】

一回励起エコープラナー法を用いた拡散強調画像 (DWI) は、短時間で撮像でき、すでに臨床で使用されている。脳の拡散異方性情報を得るため、スライス内の直交 2 方向、スライスに垂直な方向の、3 方向に motion probing gradient (MPG) をかけて DWI を得ている。しかし、MPG をかけないもの (以下、 b_0 画像) を含めてそのとき得られる 1 スライス当たり 4 枚の画像を頭の中で重ね合わせ読影することは容易ではない。一つの解決法として、拡散異方性の情報を一枚の画像上にカラー表示することが考えられる。その場合、 b_0 画像を除いた 3 枚の DWI を白黒反転し、赤、緑、青のカラーを与えて合成する手法が報告されている。しかし、DWI の信号強度は、 T_2 にも強く依存するので、DWI を反転させた画像は、 T_2 強調画像 (T_2 WI) の白黒を反転した成分を持ち、読影上問題となる。そこで、スピネコー法の T_2 WI (SET $_2$ WI) を重ね合わせることを考えた。これにより、 T_2 成分がある程度補正され、しかも、解剖学的構造が明瞭となることが期待される。本研究では、この白質神経路のカラー表示を SET $_2$ WI に重ね合わせた画像等の作成を試み、臨床的に使用可能かどうかを検討した。

【方 法】

正常ボランティアと MRI 検査を依頼された患者を対象にした。主な撮像のパラメータは、TR/TE=4700/118ms, matrix=96×128, 撮像領域 (FOV) =220mm, スライス厚 5 mm である。2 回の加算をして、撮像時間は 47 秒であった。

得られた画像に以下の処理を行った。

処理 1 : DWI を反転させて用いる白質線維のカラー表示

DWI を 8-bit の画像としてパーソナルコンピュータに取り込んだ。DWI の位相方向の偏位、大きさを、画像を見ながらの手作業で修正してから、白黒を反転させた。そうして得られた画像の明暗に応じて、頭尾方向に MPG を印加した画像には赤、前後方向のものには青、左右方向には緑のカラースケールを与え、それを合成して一枚のカラー画像とした。これにより、頭尾方向に走る線維は赤く、前後方向の線維は青、左右方向は緑に見えることになる。ただし、明暗のコントラストに T_2 WI を反転した成分を持つ。

処理 2 : Apparent diffusion coefficient (ADC) を計算して求める白質線維のカラー表示画像

b_0 画像を含めた 4 枚の画像から、3 方向の MPG に対応する 3 種の ADC の値を計算して画像を作り、上記と同様のカラースケールを与えて一枚のカラー画像として表示した。拡散情報を抽

出した画像であり、そのコントラストは理想的なものと考えられる。しかし、計算の際にノイズが増えてしまうことが予想される。

処理3：Trace 画像

3種のADCの値を平均してTrace画像とした。これは拡散テンソルのTraceを意味しており、直交3方向のMPGを回転させても一定の値をとることが期待される量である。

処理4：Traceで標準化したカラー表示画像

カラー表示画像上に明暗があると、同じ色相でも色彩が違って見える。これをなくすため、処理2で作られたカラー画像をTraceで割って、均一な明度の画像を得た。

処理5：T₂WIとの重ね合わせ

本研究が主たる目的とする方法であるが、SET₂WIに、処理1で作った画像を重ね合わせた。

上のようにして得られた画像の色相と、これまでに明らかにされている主な白質線維構造の解剖学的記載との対比を、正常例と、臨床例で行った。

【結 果】

DWIの歪みが問題となったが、歪みはすべて位相方向の変位によるものであり、時間はかかるが手作業で補正が可能であった。

処理5の画像は、コントラストは処理2の画像に近く、かつ解剖学的構造との対応をつけることが容易であり、最も優れていた。正常ボランティア、患者を問わず、このカラー表示画像において、従来、compact white matter pathwaysとしてスピネコーT₂WIで低信号に認められていた、主な白質線維路の走行の、色相による確認が可能であった。

従来のMRIでは同定できなかった壁板や、描出が不明瞭であった上縦束や下小脳脚が、MRI上初めて明瞭に描出された。症例によっては、側脳室三角部～後角外側の層状構造（内側より、壁板、内側矢状層、外側矢状層連合線維）が明らかに確められた。

脳腫瘍の症例では、内包後脚が全ての症例で描出された。腫瘍と深部白質の神経路、特に内包後脚との位置関係が明瞭となった。

本法が日常の診断に使われるようになれば、神経放射線診断の熟達者でなくとも、容易に脳白質の内部構造を認識でき、診断精度の向上が期待できる。また、外傷、梗塞、出血、炎症、変性疾患を始めとする脳白質を侵す疾患の診断にも新たな光を与えるものと考えられる。

審査結果の要旨

画像診断の基本的な要素はパターン認識である。MRIの場合、画像として表現された信号強度を、主に解剖学的知識を用いて診断している。従って、画像上にどれだけ詳細な解剖学的構造が描出されるかが極めて重要である。

MR 拡散強調画像は最近になり臨床の場で使われるようになった技術であり、その臨床的有用性の評価が現在の課題となっている。現在、拡散係数の定量による診断学への寄与の可能性が検討されているが、明確な結論は出ていない。一方、パターン認識と言うことを考えた場合、厳密な定量化よりは、むしろノイズの少ない明瞭な画像を得ることが重要である。これまで、拡散強調画像を用いて白質線維路を描出した報告はあるが、スピネコー法に匹敵するような詳細な解剖学的構造を描出するためには、臨床で使用するのは不適當なシーケンスを用いなければならなかった。臨床の場で使われている一回励起のエコープラナー法を用いた報告は、いずれも形態学的な詳細を見るには不十分なものであった。本論文では、脳白質の拡散異方性の情報を分かり易い形で解剖学的な詳細を見るのに十分な画像として表現することに成功している。

本論文では、従来のMRIのコントラストに付け加えて、脳白質の拡散異方性に着目し、新たに、拡散の情報を色彩のコントラストとして描出する手法を報告している。この手法の基本的な部分はすでに他者により報告されているものであるが、その考えを一步進め、従来の緩和時間のコントラストを重ねて拡散のコントラストを表示するという方法を採用した。しかも、重ねることにより拡散のコントラストの精度が増すことを理論的に明らかにした。本法により、今までの画像で認められた解剖学的構造に加えて、さらに脳白質内部の構造が新たに描出されている。従来のMRIによる形態学的描出能を一步前進させたものとして評価できる。

具体的には、壁板、上縦束前枝（弓状束）がMRI上新たに確認でき、上縦束の上部、内包後脚、横橋線維と皮質脊髄路、視放線、下小脳脚等が著しく明瞭となった。上後頭前頭束、脳弓、海馬采、三叉神経等の、比較的小さな構造物の線維の走行も読み取ることが出来る。

著者は臨床応用に内包後脚に接する腫瘍を取り上げているが、一般に本法を臨床的に用いることにより、脳白質の局所的病巣に関して、これまでより正確な局在診断や白質線維の破壊性変化の有無の判定が可能となるものと期待できる。

近年、画像診断の著しい進歩が見られ、特にMRI、CT等の断層画像により、低侵襲でかつ精度の良い診断が可能となってきている。これらの診断技術は現在まだ発展途上にあり、本論文はその発展に寄与するものと思われ、学位に値すると考える。