

頭部 MRI 画像の正常白質部平均信号値による規格化を用いた

白質病変定量評価の試み (第 1 報)

保健医療学専攻 放射線・情報科学分野 医用画像学領域

佐藤吉海

キーワード MRI 頭部白質病変 定量評価

I. はじめに

大脳白質病変は、脳卒中の最大の危険因子とされており、その臨床的意義については、認知症との関連をはじめ、様々な報告がある。多発性硬化症に関しては病変の変動性が高く、個々の患者の病変の進行や治療効果の定期的なフォローアップが重要であるとの報告がある。白質病変の定量評価に関しては、白質病変を自動検出した上で定量評価を行うことを目的とした研究が数多くなされている。しかし、これらの定量評価の手法は、病変部をはじめ、白質、灰白質などの正常組織を自動分離するため、極めて複雑なアルゴリズムを使っており、広く臨床の場で使用されるには至っていない。日常行われている臨床検査では、信号値に基づいて視覚的に病変部の診断が行われている。もし、視覚的診断に対応するようなアルゴリズムで、且つ、簡便な白質病変の定量評価が可能となれば、臨床の場で容易に病変の定量評価が行えるようになる可能性がある。本研究は、MRI画像での白質病変の検出や診断は正常白質組織の信号値からの病変の信号値の変化を視覚的にとらえて行なわれていることに着目し、基準値として個々の画像における正常白質の平均信号値を求め、これを用いて頭部画像全体の信号値を規格化し、白質病変を正常白質からの信号値のズレの程度で表すことにより、定量評価するというシンプルなアルゴリズムによる白質病変の定量評価法を考案し、詳細に検討した。なお、本研究は、著者が所属する施設の倫理委員会の承認下で実施した。

II. 正常白質の平均信号値の求め方

1. 定量評価の対象画像と症例

定量評価を行うための主な対象画像は、全て同一条件で撮像した FLAIR 画像である。T2 強調画像は評価対象とした FLAIR 画像の中から 3 症例のみを取り上げて定量評価を行った。定量評価の対象症例は、無症候性白質病変 14 例、認知症ありの白質病変 14 例、多発性硬化症 14 例の計 42 例とした。

2. ROI 法とヒストグラムピーク法による正常白質部の平均信号値の求め方

ROI 法は、統計解析ソフト SPM での白質判定画像を参考に、①脳の辺縁と脳溝が入り込んでいる領域を避ける、②脳室近傍は避ける、③病変部と思われる高信号部を避ける、④前頭葉、側頭葉、および、頭頂葉、後頭葉の左右それぞれに 3 個、7 個、3 個、の合計 26 個の 7×7 の ROI を置く、という 4 つの明確なルールに従い配置し平均信号値を求めた。ヒストグラムピーク法は、画像ヒストグラムのピーク値から正常白質の平均信号値を推定する方法であり、ガウス関数法と二次関数法により画像ヒストグラムピークを推定した。ただし、解析画像が頭頂部に近い断面では、ヒストグラムピークが単峰性でないため、正常白質の領域を限定してヒストグラムピークを求めるケースもあった。

3. ROI 法と画像ヒストグラムピーク法の比較

ROI 法とヒストグラムピーク法の検討を行った結果、ROI 法の平均信号値とヒストグラムピーク値がかなり良く一致した。無症候性白質病変群と認知症ありの白質病変群の信号値ヒストグラムは、脳実質の信号がある信号値範囲にあり、きれいな単峰特性ピークを示したが、多発性硬化症群中の 3 例はヒストグラムピークが単峰性を示さなかった。この理由として、ヒストグラムを取る画像内に白質以外の組織が多く含まれていると考えられたので、正常白質の領域を限定してヒストグラムピークを求めた。その結果、ROI 法で求めた平均信号値と近い値になった。

III. 正常白質平均信号値を用いた規格化による白質病変の定量評価方法

画像データを正常白質平均信号値とみなせるヒストグラムピークを与える信号値で規格化した。規格化された FLAIR 画像のピクセル値は、正常白質平均信号値に対する倍率で表現された数値に変換され、カラーコード化することにより、病変部の高信号部が明瞭に表示された。ここで、病変の閾値が変われば定量評価の結果が変わることが予想されるため、病変部の閾値を変えた場合の定量評価への影響についての検討をし、閾値による定量評価結果の変化を確認した。しかし、現時点では、適切な根拠の元で病変部の閾値を決めることは出来ないため、今回は、正常白質部がほとんど含まれないと推定される閾値 1.3 と仮定して定量評価を行うことにした。また、解析対象の FLAIR 画像と T2 強調画像を比較すると、脳室と脳室に接する病変部との識別の問題が無い FLAIR 画像の方が容易に解析できた。

IV. 送受信感度の不均一性の影響について

頭部組織の導電率に近い硫酸銅ファントムを用いて送受信感度の影響について検討した。硫酸銅ファントムデータを元に、感度補正マップを作成し、画像の元データに補正をかけた結果、補正前後の解析値が若干変動するケースがあった。

V. 無症候性白質病変群、認知症ありの白質病変群、多発性硬化症群における定量評価の試み

今回、考案した白質病変の定量化法により、病変部面積、病変部規格化平均信号値、病変部規格化信号値の標準偏差の3項目の定量評価を行った。また、各グループ間での項目別による相関性、有意差検定も行うことが可能であった。

VI. 考察

1. 正常白質の平均信号値の求め方について：ROI 法ヒストグラムピーク法の比較

ROI 法の平均信号値とヒストグラムピーク値がかなり良く一致した。したがって、どちらの方法を使用しても良いが、ROI 法では多数の ROI を一定のルールにしたがって画像データ上に配置し、各 ROI 内のデータを読み込んでその平均値を求めるといったやや面倒な手順が必要である上、ROI の置き方で多少の変動は起こることが考えられる。一方、ヒストグラムピーク法では殆どのケースで各々の画像で一義的にピーク値が定まり、極めて容易に求めることが出来るのでヒストグラムピーク法が第一に選択すべき方法と考えられた。

2. 正常白質部平均信号値を用いた規格化と定量評価について

今回、提示した正常白質の平均信号値で規格化する方法で構成された画像では、撮像法と撮像条件が同じであれば、経時的な白質病変の変化の定量的な把握や、異なる症例間で比較も可能と考えられる。ただし、病変部の閾値については、今後、検討が必要であると考えられた。解析する画像については、解析過程の容易さから FLAIR 画像が向いていると考えられた。また、より厳密な定量評価には送受信感度の不均一性の補正を考慮する必要があると考えられた。

3. 各グループでの白質病変定量化評価の比較について

今後は、白質病変のグレードの分類を分けての解析、多発性硬化症においては、病変部の経時変化が激しいため、1 症例ごとに、病変部の病態変化を経時的に定量評価していくことも必要と考えられた。

VII. むすび

今回、提示した方法により白質病変の定量評価は十分可能と考えられた。臨床医が日常的に行っている正常白質と白質病変との信号値の差による視覚的診断方法に対応したアルゴリズムであり、臨床の場で容易に行うことができる。この評価法は、撮像条件が同じであれば、異なる時期の画像間比較が可能であるため、病変の経時変化を定量評価することが可能であり、白質病変の診断や治療効果判定などにも貢献できるものと考えられる。なお、病変部の閾値についての課題が残されているが、今後、白質病変の診断を行っている経験豊富な放射線科医や神経内科医の病変部境界の判断との対応を検討したいと考えている。