

京都大学	博士 ( 工 学 )	氏名	東 高志
論文題目	超高速 MRI 撮像法の医療分野への応用に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は超高速の磁気共鳴画像装置 (Magnetic Resonance Imaging system : MRI) 撮像法の医療分野における応用について述べたものである。人体の MRI 超高速撮像を行うために、撮像シーケンスの最適化方法を検討し、その顎運動解析、関節構造画像化、血流速度測定、及び、脳機能測定への応用結果を報告している。</p> <p>第 1 章は緒論である。核磁気共鳴の歴史、原理、信号計測から MRI の撮像手法、高速撮像方法等に関して述べられた後に、特に生体を対象とした高速撮像に関連して、複数のグラジェントエコーによる高速撮像シーケンスの撮像条件最適化方法について理論的考察を行なっている。</p> <p>第 2 章第 1 節と第 2 節は MRI の超高速撮像シーケンスの顎運動解析への応用に関して述べられている。第 1 節では、複雑な動きを有する顎関節の MRI 超高速撮像を行うために、下顎頭部における骨と周囲軟部組織とのコントラストを指標とし、第 1 章で求めた各組織コントラストのシーケンスによる変化を参考として、スポイル型グラジェントエコー Turbo FLASH シーケンスの最適化を行っている。また、第 2 章第 2 節では、第 1 節と同じく下顎頭部における骨と周囲軟部組織とのコントラストを指標として、さらに顎関節の 4 方向同時運動撮像のために、リワインダ型グラジェントエコー True FISP の最適化を行っている。この最適化による超高速撮像を実現することによって、下顎の正中矢状断面、左右両側の顎関節矢状断面、そして、左右両側の顎関節の下顎頭を含む水平断面の 4 断面の同時撮像が可能となり、下顎、下頭、顎関節の運動軌跡と関節円板などの軟組織との関係を明らかにしている。</p> <p>第 2 章第 3 節は関節軟骨構造の画像化に関して述べている。関節軟骨の組織構造はコラーゲン線維の配向が異なる 3 層のマトリックス構造から構成されているが、MRI によるそれらの層の描写は困難であった。本節では軟骨組織内のコントラストを指標として、超高速撮像シーケンスの最適化を行い、層状構造が MD 値、FA 値の差によって表される事を示している。具体的には脳神経計測で用いられている超高速撮像 (twice refocused spin echo EPI Diffusion) シーケンスを小さな軟骨組織のイメージングが可能なシーケンスへ最適化し、拡散テンソル画像からヒト関節軟骨の 3 層の構造の画像解析を行っている。また、本方法で観察された微視的な軟骨内構造が水分子ブラウン運動の空間分布情報を反映している可能性を考察している。</p> <p>第 2 章第 4 節は循環系の機能計測について述べている。従来の超音波を用いた血流速度計測では、分解能が低く、骨などの影響で深部の血管を計測するのが困難であった。本節では、双極子傾斜磁場が印加された血液が傾斜磁場中を移動することでスピンの位相 (PC: phase contrast) が変化することを用い、MRI 高速撮影による血流計測を可能としている。血管血流ファントムを作成して実際の流速と MRI 撮像による計測値の比較を行い、FLASH シーケンスの最適化や血流速度値との補正を行い、その後、被験者の頸部の左右動静脈の血管の血流速度を計測している。本方法での計測では、たとえば左右の動静脈を同時に計測することが可能であり、その有用性が示されている。</p>			

(続紙 2 )

氏 名

東 高志

第2章第5節では、従来から行われてきた超高速撮像法である、functional MRI (fMRI) に、刺激装置を付加させることによって、認知と刺激負荷との関係が計測できるデバイスを開発している。具体的には、MRI 撮像時に外部よりの情報刺激を被験者に与えるデバイスを開発し、血中の hemoglobin の酸化状態による信号変化のコントラストを指標として、脳機能を画像化する超高速撮像 EPI シーケンスのパラメータを最適化した。本システムを利用して、高磁場中において被験者に対して外部から様々な情報刺激を与え、同時に、被験者の fMRI 測定を行うことによって、リアルタイムで脳機能と認知との相関を定量化している。本節では、金銭的な報酬と罰金を伴う2つの選択肢を選択させるタスク実験を行い、意思決定時と収入等の結果確認時における脳の賦活部位を調べている。特に脳の尾状核、被殻および側坐核を包括する線条体における賦活を観察し、従来の知見との比較を行うと共に、リアルタイムで脳機能と認知との相関を定量化することで新たな脳機能部位を示唆している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、MRI 超高速撮像を用いて生体組織の機能を画像化する事を目的として、撮像シーケンスの最適化方法について検討を行ない、さらにその臨床研究への応用例を報告している。得られた主な成果は以下のごとくである。

- 1) 顎関節の関節運動の画像化を目的として、下顎頭部における骨と周囲軟部組織とのコントラストを指標とし、スポイル型グラジエントエコーTurbo FLASH シーケンスの最適化を行っている。その結果、顎関節の正中下顎運動と顎関節運動のリアルタイム撮像が可能となり、咬筋、顎動脈の脈動、顎関節および関節円板などのCTでは把握が困難である周囲軟組織の閉口運動時の動きを明らかにしている。
- 2) 顎関節の関節運動の画像化において、さらにリワインダ型グラジエントエコーTrue FISPの最適化等を行い、4断面のマルチセクション撮像を可能とした。実際に被験者10名の左右顎関節多断面リアルタイム撮像を行い、顎関節の運動機能障害に及ぼす各組織の運動の影響の解析している。
- 3) 軟骨組織内のコントラスト最大化を指標として撮像シーケンスの最適化を行い、軟骨内の層状微細構造をMD値、FA値の差によって表す方法論を構築している。また、周囲の潤滑液環境や荷重環境の違いによってそれらの値が変化する結果を示し、観測された微細構造の変化が軟骨内の水分子ブラウン運動の空間分布情報が反映している可能性を考察している。これらの成果は、軟骨病変の早期診断のための新たな診断手法開発の可能性を示していると思われる。
- 4) MRIによる脳機能計測において、高磁場中での外部からの刺激装置を考案し、情報刺激と同時に、被験者のfMRI測定を行うシステムを開発している。また、実際に17人の成人健康ボランティアを対象として、報酬などの認知と脳の賦活部位との関係を検討し、新たな知見を報告している。

以上、本論文は超高速MRI撮像法の撮像シーケンス最適化方法について検討を行ない、その医学研究や医療分野への応用例を報告している。超高速MRI撮像の医療における役割を広げ、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平22年3月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。