

氏 名 (本 籍)	宮 地 利 明 (石川県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 号 番 号	甲 第 178 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 14 年 3 月 25 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	MRIにおける撮像法および解析法の開発と画質を 中心とした諸特性の評価に関する研究 (Studies on development of imaging and analytical methods and evaluation of properties mainly on image quality in MRI)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 藤 田 廣 志 (副査) 教 授 田 中 嘉 津 夫 教 授 岸 田 邦 治

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、磁気共鳴画像 (MRI : magnetic resonance imaging) において、人体の形態ならびに機能の情報を得るための撮像法および解析法の開発と、画質を中心に MRI 装置の諸特性の評価を行うことを目的としている。

論文の前半においては、新しい撮像法と解析法について述べた。最初に、フリップ角度を変化させた T1 強調高速 SE (VF-TSE) の開発について述べるとともに、本手法の理論の検証を行うとともに臨床適応範囲をまとめた。VF-TSE は分解能や T1 コントラストを低下させずに大幅な時間短縮もしくは高い画像信号雑音比を達成することが可能となった。短い TR の VF-TSE は、息止め撮像、ダイナミックスタディ、三次元フーリエ変換法、また、長い TR の VF-TSE は、ECG-triggering やより多くのスライス数が必要な場合のマルチスライスに利用可能であった。特に、胸部や頭蓋底など組織間の磁化率差の影響を受ける部位において適していた。

次に、中枢神経系腫瘍性病変の血流動態評価を行うために開発した T1 強調ダイナミックスタディおよび R2*ダイナミックスタディを、一度に行う手法 (DUCE 法) について述べた。DUCE 法によって、T1 強調ダイナミックスタディから脳腫瘍の造影パターン (vascularity や permeability) の評価を、また R2*ダイナミックスタディから脳腫瘍および周囲の組織の血流動態の評価 (血液プール、局所脳血液量) を同時に行うことが可能になった。DUCE 法を使用すれば、血流動態の情報が増加し、脳腫瘍を中心とした疾患の血流動態を簡便かつより詳細に得られた。

続いて、心電同期 phase contrast cine-MRI によって得た髄液流量波形の周波数解析法

の開発に関して述べた。実際に NPH を中心に検討した結果、髄液流量波形の主要な周波数成分（基本波から第 3 高調波）における NPH 群の振幅は、コンプライアンスの低下によって control 群、VD 群と比較して大きくなった。また、SAH-NPH 群の位相は control 群（基本波、第 2 高調波）、VD 群（基本波）と比較して異なった。Diamox 注入によって、基本波から第 3 高調波までの振幅が増加するとともに、基本波の位相が変化した。Diamox 注入後における直流成分の経時変化を観察することで、頭蓋脊髓腔の圧代償能の違いが得られた。流入動脈と流出静脈の血流差分波形（driving vascular pulsation）から髄液流量波形への PTF を算出することで、頭蓋内の力学的特性が得られた。以上より、髄液流量波形の周波数解析によって、非侵襲的に頭蓋内の髄液循環動態の情報がより詳細に得られ、NPH の病態や頭蓋内環境の変化の評価が向上すると結論づけた。

論文の後半では、MRI 装置の諸特性の評価に関して述べた。正負の空間周波数における MRI の解像特性（MTF）と信号雑音比（SNR(f)) を、正確かつ簡便に測定する方法の開発に関して述べた。独自のファントムによりスリット有無の複素画像間で減算処理を行って LSF を測定して、MTF を算出した。一方、SNR(f)は、MTF 測定と同じファントム設定のまま Wiener spectrum を測定して算出した。実際に複素減算法を使用して、通常の SE と実効エコーが第 1 エコーである高速 SE の MTF および SNR(f)を、周波数エンコード方向と位相エンコード方向においてファントムの T2 値を変えて評価した。MTF は、各シーケンスの k 空間のトラジェクトリの特徴を表していた。SNR(f)は、従来の測定法では得られない正負の空間周波数の情報が得られた。複素減算法によって、アーチファクトや画像不均一性の影響が除去可能となった。これらの結果から、複素減算法による MTF と SNR の空間周波数特性の測定は、MRI の画質をより詳細に評価可能であると結論づけた。

次に、EPI を中心とした MRI 装置の騒音特性に関して述べた。その結果、明らかとなったことをまとめると以下のごとくなる。本実験条件における EPI の等価騒音レベルは 94.2 ± 2.7 dBA、ピーク音圧レベルは 109.1 ± 3.5 dB であった。EPI の騒音レベルは施設間で異なっていたものの、規制値の範囲内であった（同一機種でも等価騒音レベルおよびピーク音圧レベルの施設間の最大差は、7.0 dBA、7.7 dB、暗騒音の最大差は 5.7 dBA）。また、EPI の騒音レベルは、他のシーケンスと比較して有意な差を認められなかったが、読み出し傾斜磁場の振動周波数が高いために、他の高速シーケンスよりも高音域の騒音が大きかった。single-shot EPI の方が、multi-shot EPI よりも高音域の騒音が大きく、等価騒音レベルも大きい。スライス数が増加すると等価騒音レベルの差がなくなった。また、EPI 撮像時の暗騒音の影響は無視可能であった。

以上、MRI の撮像法および解析法の開発によって、短時間かつ非侵襲的に各種の生体情報を得ることが可能となった。また、MRI の画質を中心とした諸特性の評価法の開発および解析結果より、客観的な性能評価法の重要性を立証した。

論文審査結果の要旨

本論文は、磁気共鳴画像 (MRI : magnetic resonance imaging) において、人体の形態ならびに機能の情報を得るための撮像法および解析法の開発と、画質を中心とした諸特性の評価に関する研究成果をまとめたものである。論文の前半では、独自に開発したいくつかの撮像法と解析法に関して述べている。フリップ角度を変化させた T1 強調高速 SE の開発、T1 および R2* ダイナミックスタディ同時収集法の開発、cine-MRI によって得た髄液流量波形の周波数解析法の開発について述べ、その過程でパルスシーケンスのプログラミング、画像再構築および処理、さらには流体解析などの工学的な知見が多数使用されている。これらの撮像および解析法は何れも斬新な手法であり、検査時間が大幅に短縮するとともに、より多くの血流動態、髄液循環動態に関する情報が得られることを、論文中でそれぞれ実証している。論文の後半では、画質、騒音など、診断用 MRI 装置の諸特性の評価に関して述べている。MRI の解像特性と信号雑音比の測定法を開発し、実際に高速撮像法において画質を評価するとともに、撮像時に発生する騒音の音響特性も評価している。論文中には画像工学に加えて音響工学の知見も多く用いられている。この評価法によって、解像特性と画像信号雑音比を簡便かつ詳細に評価可能であることをシミュレーションを交えながら実証している。また、超高速シーケンスの刺激音の原因が読み出し用傾斜磁場の振動周波数に起因していることを明らかにしている。

総合して、本論文は MRI の撮像法および解析法の開発と MRI 装置の諸特性の評価において多くの新しい知見と成果を示しており、その過程で用いられている新旧の工学的な知見も含め、学術的に高い価値を有すると判断する。

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。

最終試験結果の要旨

提出された学位論文を熟読し、その内容が工学的にも学術的にも高い価値を有すると判断した。また、公聴会後に学位論文に関する口頭試問を行い、工学的な知識はもちろん医学的な知識を含めた MRI における撮像、解析、評価法の全般に関する試問をしたが、論文提出者はそれらの試問に的確に答えていた。これらのことから論文提出者は学位を授与するに十分な専門的知識を有していると判断できる。

以上の理由により最終試験を合格と判定した。