

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：22604
 研究種目：基礎研究（C）
 研究期間：2010 ～ 2012
 課題番号：22500438
 研究課題名（和文） 磁気共鳴断層撮像装置における超高速無音撮像法に関する研究
 研究課題名（英文）
 Study of the ultra high speed silent sequence
 研究代表者
 妹尾 淳史（SENOO ATSUSHI）
 首都大学東京・人間健康科学研究科・准教授
 研究者番号：00299992

研究成果の概要（和文）：

本研究の目標は、磁気共鳴断層撮影（MRI）検査の撮像時に騒音が発生せず、臨床診断が可能な画質が得られる超高速撮影法を開発することである。本研究では、汎用的なEPI法の勾配磁場の変化率と、撮像時に発生する騒音や画質との関係を明らかにした。開発した超高速撮像法は静穏化に関しては従来の10分の一と劇的に低下させることが可能となったが、信号雑音比が従来の約4分の一まで劣化した。今後はRFパルスの最適化が必要である。

研究成果の概要（英文）：

The goal of this research is to develop the ultra high-speed imaging sequence which noise does not occur during scanning of MRI, obtained higher quality. The present study demonstrates the change rate of the gradient magnetic field at modified EPI sequence, the relationship between image quality and noise generated during scanning. Ultrafast imaging method developed has become possible to decrease drastically with one tenth of conventional regarding quiescence. Signal-to-noise ratio of the image obtained was degraded up to one-quarter as compared with the conventional method. Optimization of the RF pulse is required in the future.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：磁気共鳴断層撮影装置・無音撮像法・BURST法・VERSE法

1. 研究開始当初の背景

磁気共鳴断層撮影（MRI）検査は放射線被ばくすることなく断層画像が得られるため、

臨床現場や研究所などでも汎用的に使用されている。しかし MRI 装置から発生する騒音は被検者の不安感を増大させたり、突発性

難聴を引き起こしたりするだけでなく、被検者と術者間の意思疎通を阻害するため被検者が検査中に急激変化を起こした場合に事故を引き起こしかねないという重大な問題もある。この騒音を嫌がり患者が MRI 検査を拒否することもあり、研究代表者も臨床で実際に経験したこともある。

現在、MRI 装置メーカーをはじめ多くの研究者らが MRI 装置からの騒音を低減させるために精力的に取り組んでいる。しかし、その殆どは騒音の発生そのものを抑えるという根本的な解決方法ではなく、発生した装置の騒音（振動）を伝播し難くするというようなハードウェアの開発に関するものであるために、従来法での効果は騒音の低減という程度で無音とは程遠いというのが現状である。これまで実際に実用化されたハードウェアとしては、MRI 装置内の勾配磁場コイルを魔法瓶と同じ要領で真空パック化し、騒音が伝播しないようにするものが東芝社で商用化されている。しかし、その効果としては無音と呼ぶには程遠く、騒音が低減した程度である。騒音が低減する撮像法（ソフトウェア）に関する報告はいくつかあるが、臨床診断に用いられているコントラストと異なる画質となるために無音撮像法は未だ実用化されていないのが現状である。現状として実用化が困難な原因は、無音撮像法を維持したままでエコータイムが最短となる励起法が実用化されていないことが挙げられる。

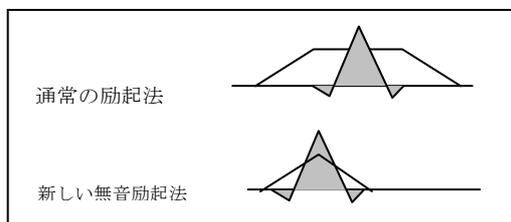


図 画質低下のない無音励起法

無音撮像法を維持したままでエコータイムが最短となる励起法の原理を上図に示す。灰色が RF 励起パルスで実線が勾配磁場の波形をあらわす。通常の励起法は勾配磁場の波形が平坦になってから RF を印加しているのに対し、新しい無音励起法では勾配磁場が平坦になるのを待たずに RF を印加する方法である。通常の励起法と比較して短時間に励起できることがわかる。

この方法は、研究代表者が独自に考案したものである。この理論の実現には特別なハードウェアの付加が必要ないために、全ての製造メーカーの MRI 装置に適用可能である。さらに、通常の撮影法と比較して MRI 装置に対する負荷が少ないために、古い MRI 装置でも適用可能なので多くの診療施設で実現可能である点で優れていると思われる。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、MRI 検査の撮像時に全く騒音が発生せず、しかも臨床診断に用いられているコントラストと同等の画質が得られるという画期的な超高速撮像法を開発することである。

研究代表者は平成 17 年に、全く音の発生しない MRI 撮像法を考案した。この撮像法は特別なハードウェアを付加することなく撮像の無音化が図れるため、理論的には全ての製造メーカー製の MRI 装置でも本法を実現できる優れた撮像法である。平成 19 年度から 2 年間の科研費基盤研究 (C) による研究成果により、無音撮像法を維持したままでエコータイムが最短となる新しい励起法の理論を開発し、画質を損なうことなく撮像を無音化することに成功した。本研究は、この技術をさらに超高速撮像法の無音撮像法に対する適用性について検証することを研究目的とした。

3. 研究の方法

本研究では既に無音の撮像プログラムを作成したことは先にも述べたが、理論の適用は画一的であり一つ一つの撮像パルスに対して最適化を施すことにより、更なる高画質化が可能となる。最も画質に影響を与えるのは RF パルスであるが、これまでの研究成果により、ブロッホ方程式による最適化法を利用した画質に影響を与えない新しい励起法の理論は既に開発済みである。ゆえに、新しい励起法の理論を超高速撮像法に組み込めば、この無音撮像法の実用化への道は一気に開かれる。

研究計画の概要として 1 年目は超高速撮像法に対する RF 励起パルスの最適化をおこない、3 年目には最適化した RF 励起パルスに無音の勾配磁場を組み合わせる場合における、RF パルスと勾配磁場の印可時間について検討し、最終年度の 3 年目には臨床用 MRI 装置における騒音レベルや画質について検討した。

4. 研究成果

(1) 超高速撮像法に対する RF 励起パルスの最適化

RF パルスの最適化は既存技術である VERSE 法を静音化に応用し、PC 上でシミュレーションをおこなった。RF パルスのシミュレーションはブロッホ方程式によりおこなう。

元となるスライス選択 RF パルス及び傾斜磁場は sinc 形 RF パルス (パルス幅: 4ms, RF バンド幅: 1kHz, フリップ角: 90) とそれに伴う台形傾斜磁場である。選択励起スライス厚は 5mm とした。選択励起パルスの位相再収束用傾斜磁場は傾斜磁場強度を半分

とした。立ち上り傾斜磁場が500[Gauss/cm/sec]以下でパルス幅が最短になるようにRFパルス及び傾斜磁場波形を設計した。

RFパルス印加時間、傾斜磁場印加時間、RF最大出力強度、最大傾斜磁場強度、最大立ち上り傾斜磁場強度の全ての項目において通常のRFパルスとほぼ同様の値で静音化レベルに設定可能なことを明らかにした。

(2) 無音の勾配磁場を組み合わせた場合における、RFパルスと勾配磁場の印可時間について

最適化したRF励起パルスに無音の勾配磁場を組み合わせた場合における、RFパルスと勾配磁場の印可時間について検討した。静磁場強度を3.0T、最大傾斜磁場強度を1.0G/cm、サンプル時間を4.0 μ s、位相数を2、実効スリューレートを20T/m/sec、スライス厚を0.5mm、およびSE型のBURST法で撮像したと仮定してPCシミュレーションした。RFパルスの印可時間については通常撮像法と無音撮像法とは、ともに同じ時間で印可可能であることが明らかになったが、勾配磁場については、RFの印可時間を4msのときに無音撮像法が通常撮像法と比較してTEが約5.3ms延長することが明らかになった。RFパルスの印可時間をさらに短縮させることでTEの延長を防止する方法については今後も検討する必要がある。

(3) 臨床用MRI装置における騒音レベルや画質について

最適化した勾配磁場が実際のMRI装置上でどの程度の騒音や加速度となるか、また通常のEPI撮像法と画質(信号雑音比)がどの程度変化するか比較検討した。

使用したMRI装置はPhilips社製の人体用MRI装置Achieva 3.0Tである。撮像に用いた撮像パラメータは、一般的に臨床で使用されているものとし、FOV=230[mm]、matrix size=64 \times 64、slice thickness=4[mm]とした。撮像コイルは8チャンネルのヘッドコイルを使用し、日興ファインズ社製の多機能ファントム(90-401システムI)を用いて撮像した。

騒音計はIEC 60804 Type1に適合しているRION社の精密騒音計(NL-32)を使用した。患者を患者支持台に乗せない状態で、磁石中心にマイクロホンを設置し、騒音が最大になる位置で測定をした。騒音計は漏えい磁場の影響によって精度が低下しないように、磁石中心から十分に離して設置して等価騒音レベルを計測した。

MRI装置は撮像していなくても超電導状態を維持するための冷却用コンプレッサーによる騒音が常に発生しているために、ある一定以下の騒音を正確に計測することがで

きない。そこで撮像時にMRI装置内で発生する微弱な振動を計測する加速度ピックアップ計を使用した。測定に用いた機器はRION社製の圧電式加速度ピックアップ(PV-87)、2チャンネルチャージアンプ(UV-16)、Agilent Technologies社製のオシロスコープInfiniiVision MSO7104Aである。圧電式加速度ピックアップをガントリ内患者支持台中心に置き、2チャンネルチャージアンプとオシロスコープを磁場の影響のない距離まで離して設置し、コイルの振動による加速度を測定した。

等価騒音レベルの検証では、通常撮像法が85.6dBだったのに対し、本研究で開発した最適化した勾配磁場では76.3dBであった。暗騒音72.0dBなので、ほぼ静穏化が達成できた。

加速度の検証では、通常EPI撮像法が2.08m/s²だったのに対し、本研究で開発した最適化した勾配磁場では0.20dBであった。

信号雑音比の検証では、通常EPI撮像法が385.2だったのに対し、本研究で開発した最適化した勾配磁場では102.7であった。

本研究で開発した超高速撮像法は静穏化に関しては従来の10分の1と劇的に低下させることが可能となったが、信号雑音比が従来の約4分の1まで劣化してしまった。この原因は、1年目に最適化したRF励起パルスを臨床用MRI装置で実現することが時間の関係でできず、勾配磁場のみの最適化しか実現できなかったことが挙げられる。

今後は最適化した勾配磁場に合わせてRFパルスを最適化する方法をMRI装置に実装し、画質の向上に努めたい。

無音撮像法の実用化は、検査を受ける被検査者のみならず、MR検査室全体の環境にも大きく影響し、MR検査に携わる全ての人たちに福音をもたらす。

MR装置から発生する騒音はMR検査の欠点として挙げられる問題点の一つであった。この解決を目指して、これまで多くの研究者らが取り組んできた課題であるが未だ実用化に至っていないのが現状だった。

本研究は撮影時に発生する騒音を無音と呼べるほど劇的に低減し、なおかつ得られた画像は通常検査の画像と同程度の画質であるという大きな特徴を持つ。本研究の実用化により、MR検査室にBGMなどを流しながら検査が可能となるなど、検査室環境を大きく変革させることができると思われる。さらに、脳機能撮影においては音声や音などの刺激の解析が可能となり、大脳生理学の発展にも大きく貢献可能だと思われる。

本研究を継続して成果を出すことにより、世界中のMR検査を受ける人々に貢献できるものと確信している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

妹尾 淳史 (SENOO ATSUSHI)

首都大学東京・人間健康科学研究科・准教授

研究者番号: 00299992

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号: