

様式4A

## 学位論文要旨

学位請求論文題名

脳機能磁気共鳴イメージング用気泡圧縮ファントムの開発

著者名・雑誌名

山城 晶弘

金沢大学大学院医薬保健学総合研究科保健学専攻

医療科学領域  
機能画像解析学分野  
学籍番号 2029022016  
氏名 山城 晶弘  
主任指導教員名 宮地 利明  
副指導教員名 市川 勝弘

**【目的】**Blood oxygen level-dependent (BOLD) 効果を利用した脳機能磁気共鳴イメージング (fMRI) は、脳科学の研究に加えて臨床での適用範囲が広がっている。fMRI では、神経活動に対応した信号強度変化を解析するが、信号強度変化は数%程度と非常に小さく、精度管理および向上のためには多くのパラメータの要因を実測して検証しなければならない。この検証作業を人体で実施するとなると、個体差の影響を排除することができないために適切なファントムが必要になる。しかし、信号強度の微小かつ任意の可変性、汎用性、脳と同等の  $T_1$  と  $T_2^*$  の諸条件を満たす fMRI 用ファントムはこれまでなかった。そこで、これらの条件を満たすために気泡を圧縮した fMRI 用ファントムを開発し、本ファントムの特性を評価した。

**【方法】**ガドリニウム造影剤の水溶液に塩化ナトリウム、寒天、空気を混合して脳を模した fMRI 用ファントムを作製した。本ファントムは気泡を含有するようにし、加圧してファントム内の気泡を圧縮すると、BOLD 効果と同様に  $T_2^*$  が延長して信号変化が生じるようにした。このファントム内圧変化による信号強度変化率を解析した。さらに、長期的な変性を確認するため、本ファントムの  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_2^*$  を 90 日間に渡って測定した。

**【結果】**本ファントムの  $T_1$  と  $T_2^*$  は先行研究の人間の脳と近い値を示したが、 $T_2$  は一致しなかった。ファントムの加圧に伴ってファントムの信号強度は非線形に増加した。信号強度の変化率は 150.7kPa の加圧で 13.51% であり、人間の脳の fMRI における信号強度変化の範囲を網羅した。ファントムの加圧によるプロトン密度、 $T_1$ ,  $T_2$  に大きな変化はみられなかったが、 $T_2^*$  は 52ms から 85ms に増加した。マイクロスコープで測定した気泡サイズは、非加圧下で 0.13mm, 151.7kPa の加圧下で 0.08mm であった。本ファントムの  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_2^*$  は、約 60 日間は 5% 以下の変化率、60 日経過後は 5% 以上の増加傾向にあった。

**【結論】**開発した fMRI 用ファントムは、 $T_1$ ,  $T_2^*$  が人間の脳の灰白質と等価で汎用性が高く安定しており、ファントム内に分散させた微小気泡を圧縮する気泡圧縮法によって BOLD 効果と同様の微小信号変化を再現することが可能である。

## 博士論文審査結果報告書

学籍番号 2029022016

氏名 山城 晶弘

## 論文審査員

主査(職名) 市川 勝弘 (教授) 印

副査(職名) 宮地 利明 (教授) 印

副査(職名) 松原 孝祐 (教授) 印

論文題名 脳機能磁気共鳴イメージング用気泡圧縮ファントムの開発

## 論文審査結果

## 【論文内容の要旨】

Blood oxygen level-dependent (BOLD) 効果を利用した脳機能磁気共鳴イメージング (fMRI) は、脳科学の研究に加えて臨床での適用範囲が広がっている。fMRI では、神経活動に対応した信号強度変化を解析するが、信号強度変化は数%程度と非常に小さく、精度管理および向上のためには多くのパラメータの要因を実測して検証しなければならない。この検証作業を人体で実施すると、個体差の影響を排除することができないために適切なファントムが必要になる。しかし、信号強度の微小かつ任意の可変性、汎用性、脳と同等の  $T_1$  と  $T_2^*$  の諸条件を満たす fMRI 用ファントムはこれまでなかった。そこで、これらの条件を満たすために気泡を圧縮した fMRI 用ファントムを開発し、本ファントムの特性を評価した。ガドリニウム造影剤の水溶液に塩化ナトリウム、寒天、空気を混合して脳を模した fMRI 用ファントムを作製した。本ファントムは気泡を含有するようにし、加圧してファントム内の気泡を圧縮すると、BOLD 効果と同様に  $T_2^*$  が延長して信号変化が生じるようにした。このファントム内圧変化による信号強度変化率を解析した。本ファントムの  $T_1$  と  $T_2^*$  は先行研究の人間の脳と近い値を示したが、 $T_2$  は一致しなかった。ファントムの加圧に伴ってファントムの信号強度は非線形に増加した。信号強度の変化率は 150.7kPa の加圧で 13.51% であり、人間の脳の fMRI における信号強度変化の範囲を網羅できた。ファントムの加圧によるプロトン密度、 $T_1$ 、 $T_2$  に大きな変化はみられなかったが、 $T_2^*$  は 52ms から 85ms に増加した。マイクロスコプで測定した気泡サイズは、非加圧下で 0.13mm、151.7kPa の加圧下で 0.08mm であった。本ファントムの  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_2^*$  は、約 60 日間は 5% 以下の変化率、60 日経過後は 5% 以上の増加傾向にあった。開発した fMRI 用ファントムは、 $T_1$ 、 $T_2^*$  が人間の脳の灰白質と等価で汎用性が高く安定しており、ファントム内に分散させた微小気泡を圧縮する気泡圧縮法によって BOLD 効果と同様の微小信号変化を再現することが可能である。

## 【審査結果の要旨】

学位請求者は、脳機能 MRI 用気泡圧縮ファントムを開発してその有効性を本論文で実証し、口頭試問においても的確に返答していた。以上より、学位請求者は本論文の論文審査及び最終試験の状況に基づき、博士 (保健学) の学位を授与するに値すると評価する。