

令和元年5月31日現在

機関番号：32607

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21351

研究課題名(和文)MRI脳血流測定法(3D ASL法)の信頼性検証：模擬人体ファントムによる検討

研究課題名(英文)Reliability study of measurement of cerebral blood flow by three dimensional arterial spin labeling MRI using a perfusion phantom

研究代表者

水上 慎也(Mizukami, Shinya)

北里大学・医療衛生学部・助教

研究者番号：80759340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：MRI検査の脳血流測定法であるarterial spin labeling(ASL)法は、薬剤を投与することなく、脳血流量を測定することが可能である。本研究課題ではこのASL法に着目し、脳血流量の測定精度向上の方法を検討した。ヒトを対象とすると生理的变化によって脳血流量が変化するため、脳血流システムを開発および作成した。

完成したシステムを用いてASL法の測定精度を検証した。同じ磁力をもつMRI装置であれば、どの装置でも同じ測定結果が得られることが示唆された。しかし、脈拍数によって測定値が変動する可能性があるため、信号収集回数を増やしてデータ量を増やすことが重要であることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳血流測定検査では放射性医薬品を投与するRI検査が標準である。RI検査では放射線による被ばくを伴うが脳血流量を正確に測定することが可能である。また、X線CT検査では、放射線被ばくとともに造影剤の投与が必要となる。造影剤投与は副作用が発生する可能性がある。ASL法は放射線被ばくや造影剤の投与を必要としない方法であるため、繰り返し検査を行うことも可能である。

ASL法で測定される脳血流量が信頼できる値であれば、放射線被ばくや造影剤の副作用というリスクを除外することが可能となる。また、放射線医薬品や造影剤は高額なため、医療費の削減にも寄与する可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Arterial spin labeling (ASL), which is a cerebral blood flow measurement method for MRI, can measure cerebral blood flow without using any medicine. In this study, we focused on the ASL method and examined methods to improve the measurement accuracy of cerebral blood flow. We have developed and created a perfusion system, since cerebral blood flow changes due to physiological changes in human.

The measurement accuracy of the ASL method was verified using the perfusion system. It has been suggested that the same measurement results can be obtained with any MRI scanners having the same magnetic field. However, the measured value may fluctuate depending on the beat. So it was important to increase the amount of data by increasing the number of signal acquisitions.

研究分野：放射線診断技術学、磁気共鳴画像(MRI)、X線CT

キーワード：MRI arterial spin labeling

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

わが国において脳血管疾患による死因は常に上位にあり、認知症やうつ病も脳血流が一因と考えられている。そのため、脳血流検査は診断において重要な役割を担っている。Magnetic resonance imaging (MRI) 検査では脳血流検査法として、血液を磁氣的に標識して内因性トレーサーとする arterial spin labeling (ASL) 法が利用可能である。ASL 法は古くから存在する撮像法であるが、近年、臨床に適した pseudo continuous ASL (pCASL) を用いた 3D ASL 法が開発され、無侵襲な脳血流検査として臨床利用が広まっている。しかし、3D ASL 法で測定される脳血流量 (CBF: cerebral blood flow) は定量値として使用されず、CBF 画像を定性評価に利用しているのが現状である。3D ASL 法による測定値の信頼性向上に伴い、その臨床的価値が高まると考えられる。

過去の 3D ASL 法における再現性および定量性の検証ではヒトを対象とした報告しかなく、被験者の血流変化など生理的变化が再現性や定量性に影響を与えていることが指摘されている。被験者の生理的变化を除外するために、脳血流ファントムを用いた検討を行うことで 3D ASL 法の信頼性において確かな評価が可能となる。

### 2. 研究の目的

本申請課題では、ASL 法に対応した脳血流ファントムを開発および作成し、3D ASL 法による測定値の再現性および定量性評価を行い、3D ASL 法の特性を調査することを目的とする。本研究で得られた知見をもとに 3D ASL 法の画像診断精度を高める使用方法や撮像条件を最適化することで 3D ASL 法の信頼性が高めることが可能となり、臨床的価値が高まると考える。特に MRI 装置による測定値の変化や静磁場強度による測定値の変化、拍動周期に依存した測定値の変動の有無を検証する。

### 3. 研究の方法

(1) 脳血流ファントムは、ASL 法の磁氣的標識化が可能な構造、模擬血管が人体を模擬した形状、人体に近い循環構造となるように開発を行った。

(2) 脳血流ファントムに脈動ポンプを接続し、硫酸銅水溶液を循環させて、3.0T MRI 装置 2 台、1.5T MRI 装置 2 台で 3D ASL 法を撮像した。3D ASL 法の撮像条件は、inversion time (TI) を 1525 ms で固定し、信号収集数 (spiral arm) を 4 arm、8 arm とした。また、ファントムでは CBF 算出に使用する係数が人体と異なるため、測定値としては係数を除外して灌流画像と基準画像の信号比を用いた。同一装置で連続 5 回撮像して変動係数 (CV) を算出し、再現性を検証した。検討内容は以下の 4 点とした。

定常流を用いた循環量を反映した測定の可否。

脈動流の脈動数による測定値の変動。

同じ磁場強度における装置別の測定値変動。

磁場強度別の測定値変動。

### 4. 研究成果

#### (1) 脳血流ファントムの作成

脳血流ファントムの模擬血管 (アクリル) は微細構造となると循環に耐えられず破損する恐れが生じたため、人体を模擬した形状の主幹血管を作成し、動静脈に各 216 個の穴を空けて細血管を再現した。脳領域はアクリルビーズを充填し、壁面をゴムバッファーとすることで人体に近い循環を再現した。3D ASL 法の磁氣的標識位置に閉鎖空間を作成し、充填した水の中を動脈が通過する構造とした。(図 1)

#### (2) 定常流を用いた検討

定常流の循環量と 3D ASL の測定値は比例関係となり、脳血流ファントムにおいて循環量を反映した測定が可能であることが明らかとなった (図 2)。spiral arm による測定値の変動は見られなかった。また、RF パルス送信に multi transmit 機構を持たない 3.0T MRI 装置では、RF 照射ムラが生じ、正確な測定が不可能であった (図 3)。

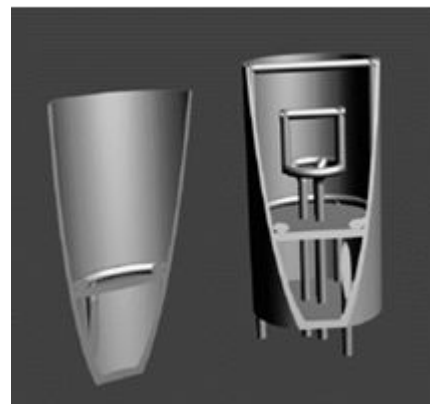


図 1 ファントム内部構造模式図

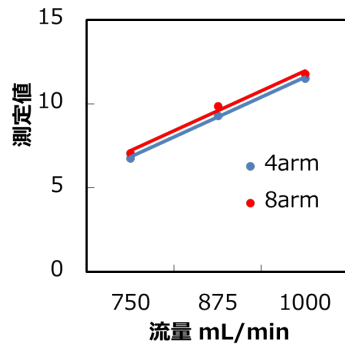
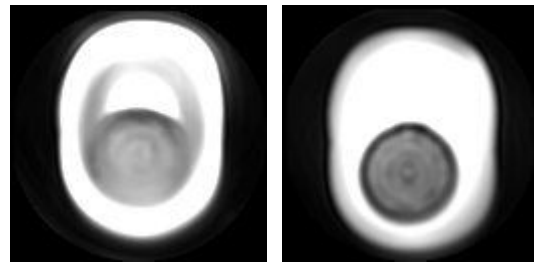


図2 定常流の流量と測定値の関係(1.5T)



左図: multi transmit 機構を持たない装置

右図: multi transmit 機構を実装した装置

図3 3.0T 装置で撮像した画像

### (3) 脈動数による検討

脈動数の変化に伴い循環量の実測値が変動したため、実測値で標準化した測定値を算出し、比較を行った。脈動数による測定値の変化は見られなかったため、3D ASL 法は脈動数の影響を受けず循環量を反映した測定が可能であると判明した(図4)。また、50~90 bpm の範囲で測定値のCVは、70 bpm が最も大きく、60、90 bpm で小さくなった(図5)。この傾向は、どのMRI装置においても同様であった。3D ASL 法は設定した撮像条件のリズムで磁氣的標識、信号収集を行う。脈動ポンプを使用した脳血流ファントムも設定したリズムで脈動が発生する。両者のリズムの同期やズレによって測定値が変動する可能性が考えられる。しかし、ヒトを対象とした場合、心拍や脈拍は常に一定ではなく変動するため、大きな問題とはならないと考えられる。また、spiral arm が多いほどCVは小さくなる傾向を示した。信号収集数の増加により脈動時相のランダム性が高まったことが原因であると考えられる。より安定した測定を行うためには、spiral arm は高く設定する必要があることが示唆された。

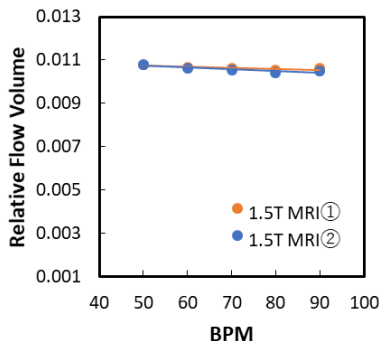


図4 脈動数と測定値の関係

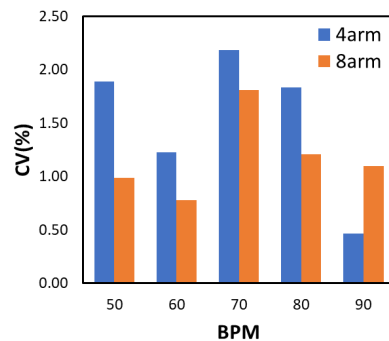


図5 脈動数と測定値変動係数の関係(1.5T)

### (4) 同じ磁場強度における装置別の検討

3.0T MRI 装置の1台はmulti transmit 機構を持たず正常な撮像が出来なかったため、1.5T MRI 装置2台で比較を行った(図4)。同じ磁場強度であれば、別装置であってもほぼ同等の測定値が得られることが示唆された。

### (5) 磁場強度別の検討

1.5T MRI 装置と3.0T MRI 装置では、3D ASL 法の測定値に差が生じた(図6)。また、3.0T MRI 装置では脈動数によって測定値も大きく変動した。今回用いた脳血流ファントムはヒトと同等の大きさであり、水を充填して使用するため、B0 不均一や B1 不均一の影響が大きく、安定した撮像が出来なかったことが原因であると考えられる。3.0T MRI 装置における3D ASL 法の検討を行うためには、撮像技術や装置の改良、もしくはファントム内容物の変更が必要となる。

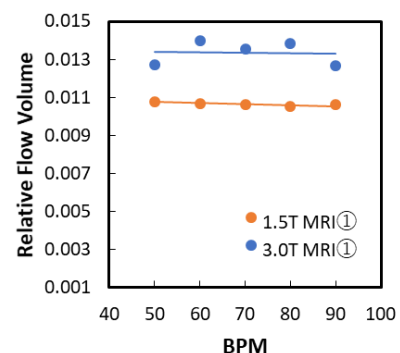


図6 磁場強度別の測定値比較

## 5 . 主な発表論文等

[学会発表](計1件)

水上 慎也、パーフェクションファントムを用いた 3D Pseudo-continuous Arterial Labeling の信頼性検証、第 46 回日本放射線技術学会秋季学術大会、2018

## 6 . 研究組織

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：小田 幹也

ローマ字氏名：(ODA, mikiya)

研究協力者氏名：栗原 龍

ローマ字氏名：(KURIHARA, ryu)

研究協力者氏名：横嶋 健吾

ローマ字氏名：(YOKOSHIMA, kengo)

研究協力者氏名：廣川 実紗

ローマ字氏名：(HIROKAWA, misa)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。