

# Optimization of post-label delay in single-phase arterial spin labeling (ASL) using multi-phase ASL in four-dimensional magnetic resonance angiography

大下, 剛史

<https://doi.org/10.15017/2534385>

---

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (保健学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名：大下 剛史

論 文 名：Optimization of post-label delay in single-phase arterial spin labeling (ASL) using multi-phase ASL in four-dimensional magnetic resonance angiography  
(MRI の非造影灌流画像における 4D-MRA を用いたラベル時間の最適化)

区 分：甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

磁気共鳴画像法(magnetic resonance imaging: MRI)を用いた灌流画像は、20 年以上前から研究され、臨床にも応用されている。特に脳 MRI 灌流画像検査は、費用が安価なことや侵襲の少なさ、拡散強調画像や血管撮像などと組み合わせることができるため広く使用されている。MRI 灌流画像は造影剤を使用する方法 dynamic susceptibility contrast (DSC)と造影剤を使用しない方法 arterial spin labeling (ASL)がある。ASL 法は飽和または反転パルスを用いて撮像断面に流入する動脈血にラベリングパルスを印加して、ポストラベルディレイ(post label delay: PLD)と呼ばれる、ラベリングパルスを印加してからデータ収集するまでの遅延時間後にデータ収集し、灌流を評価する方法である。DSC 法は造影剤を使用することや造影剤のルート確保の煩雑さから、近年は造影剤を使用しない簡便な ASL 法が多用されつつある。ASL は連続して動脈にラベリングを行う continuous arterial spin labeling (CASL)法、パルス状に分割してラベリングを行う pulsed arterial spin labeling (PASL)法の 2 種類に大別される。CASL 法は信号雑音比(signal to noise ratio: SNR)が高い反面、比吸収率(specific absorption rate: SAR)が高く臨床ではあまり使用されていない。PASL 法は SNR が低いものの、SAR が低いため臨床で広く使用されている。さらに、PASL 法の応用として複数の PLD を用いて 1 回の繰り返し時間(repetition time: TR)内で撮像する方法がある。この撮像法は 4-dimensional- magnetic resonance angiography (4D-MRA)と呼ばれ、1 度の撮像で血行動態を観察できる利点がある。一方、4D-MRA では血管の描出はできるものの脳実質の評価ができない、複数の PLD で撮像するため 1 相のみの single phase ASL (SP-ASL)と比較しさらに SNR が低い、といった欠点がある。ASL の原理は、撮像断面の上流となる動脈にラベリングパルスを印加したものと、印加しないものを撮像した 2 画像を差分し灌流画像を得るものである。この原理に起因する問題として最適な PLD で撮像できない可能性があげられる。脳灌流検査では、頸動脈にラベリングパルスを印加し 1.5 秒や 2.5 秒後などあらかじめ決まった PLD でデータを収集する。脳灌流評価では血流ピークでデータ収集することが望ましい。しかし、頸動脈に狭窄がある場合などは、血流が遅延している可能性がある。このため一定の PLD で撮像する方法では、被検者毎に最適な血流のピークでデータ収集することは困難である。また、ASL は差分して画像を作成するので SNR が低いことも問題である。ASL における低い SNR を補償するため、加算を複数回行う必要があり撮像時間が長くなる傾向がある。さまざまな PLD で撮像すれば、患者毎に血流のピークでデータを収集できるが、撮像時間が延長するので、多数の PLD で撮像することは困難である。先行研究では PLD を最適化するため、被検者の年齢や性別、疾患などで分類していた。これらの要因で分類し PLD を最適化しても、被検者毎に PLD を最適化すること

は困難である。よって本研究では、4D-MRA を用いて被検者毎に SP-ASL の最適な PLD を予測できるか検討した。

本研究の対象は、頭部に病変がなく、金属インプラントのない 10 名の健常ボランティアとした。また、本研究は研究責任者の所属する製鉄記念八幡病院の倫理委員会の了承を得て、対象者に説明、文書による同意を得て実施した。装置は 3T-MRI 装置(Ingenia; Philips Healthcare, Best, The Netherlands)を、受信コイルは 15 チャンネルヘッドコイルを用いた。撮像範囲は第 4 脳室レベルから大脳半卵円中心までとした。ラベリングパルスは両側総頸動脈に印加した。撮像は 2 種類の条件、4D-MRA と SP-ASL で行った。画像解析は商業用ワークステーション(Virtual Place, AZE, Tokyo, Japan)を使用した。画像解析は 2 名の診療放射線技師(それぞれの MRI 経験年数 5 年, 13 年)で行った。2 名別々に T1 強調像を参考に大きな脳血管を避けるように脳実質の信号値を測定した。測定部位は脳血管支配領域で分けた。左右それぞれの anterior cerebral artery (ACA) 領域, middle cerebral artery (MCA), および posterior cerebral artery (PCA) 領域に分けて測定した。4D-MRA にて PLD200-1600 ms の 200 ms ごとの 8 相で測定し、最大信号値を記録した。さらに、これらの測定の平均値を全脳の信号値とした。同様の方法で SP-ASL の信号値の各領域における最大値も測定した。統計解析は、観察者間の信号測定の相関をスピアマンの順位相関係数を求めた。また、信号測定の観察者間変動をみるため、全測定値の平均の limits of agreement と 95%信頼区間を Bland-Altman プロットを用いて検証した。次に SP-ASL の最大信号値のピーク時間(Y)を導く式を 4D-MRA の最大信号値のピーク時間(X)から  $Y = b+aX$  として回帰直線を求めた。SP-ASL の PLD を最適化するために最小二乗法を用いた直線回帰分析から係数と  $r^2$  を求めた。統計解析ソフトは Statistical package for the social sciences (SPSS ver.23, Chicago, IL, USA) を使用した。  $p < 0.05$  を統計的に有意とした。

二人の観察者による 3 つの血管支配域の最大信号値のピーク時間計測の相関は、4D-MRA で  $r = 0.61$ , SP-ASL では  $r = 0.54$  を示し弱い相関がみられた。Bland-Altman プロットの 4D-MRA 結果は 4D-MRA の limits of agreements ( $\pm 1.96$  標準偏差) は  $-0.52 \text{ s} \sim 0.24 \text{ s}$  (平均,  $-0.14$ ; 95%信頼区間,  $-0.95 \sim 1.07 \text{ s}$ )であった。また、SP-ASL の limits of agreements ( $\pm 1.96$  標準偏差) は  $-0.33 \text{ s} \sim 0.40 \text{ s}$  (平均,  $0.04$ ; 95%信頼区間,  $-1.39 \sim 1.51 \text{ s}$ )であった。ACA 領域の SP-ASL の最大信号値となるピーク時間を求める式は  $1.19 + 0.30 \times (\text{4D-MRA のピーク時間}) \text{ s}$ , ( $p = 0.017$ ,  $r^2 = 0.14$ )であった。MCA 領域の SP-ASL の最大信号値となるピーク時間を求める式は  $0.96 + 0.58 \times (\text{4D-MRA のピーク時間}) \text{ s}$ , ( $p < 0.001$ ,  $r^2 = 0.32$ )であった。PCA 領域の SP-ASL の最大信号値となるピーク時間を求める式は  $0.92 + 0.58 \times (\text{4D-MRA のピーク時間}) \text{ s}$ , ( $p < 0.001$ ,  $r^2 = 0.33$ )であった。全脳の SP-ASL の最大信号値となるピーク時間を求める式は  $1.04 + 0.46 \times (\text{4D-MRA のピーク時間}) \text{ s}$ , ( $p < 0.001$ ,  $r^2 = 0.25$ )であった。

4D-MRA を用いて SP-ASL の最適 PLD を予測可能であることを示した本研究は、臨床上も MRA で血管描出不良や血流遅延の患者における脳血流評価、腫瘍の血流評価、各血管支配領域に対応した PLD の設定などで有用である可能性を示した。