

【MR 研究会】

平成29年度MR研究会報告

本研究会の今年度の活動内容は、夏季学術大会と第4回MR医療安全セミナーを11月に高知大学医学部附属病院で第8回MR基礎セミナーを12月に岡山大学病院で開催予定です。詳細についてはHPにて確認をお願いします。

本報告書では、夏季学術大会について、そのプログラムと講演の抄録を記載します。

代表世話人 岡山大学病院 大野誠一郎

日時：平成 29 年 7 月 2 日（日） 10:00～15:15

会場：岡山大学鹿田キャンパス 臨床第 2 講義室

「ASL を追求しよう」

【午前の部】（10：00～12：00）

司会 岡山大学病院

大野誠一郎

1. 「Syngo ASL のご紹介」

シーメンスヘルスケア株式会社
ダイアグノスティックイメージング事業本部 DI リサーチ & コラボレーション部 今井 広 先生

2. 「3D ASL のポイントと臨床」

GE ヘルスケア・ジャパン株式会社
MR 営業推進部 三浦 功平 先生

3. 「ASL の技術動向～基礎から最新技術～」

株式会社フィリップスエレクトロニクスジャパン
MR Field Marketing 中村 理宣 先生

4. 「HITACHI ASL Technique」

株式会社日立製作所 ヘルスケア
画像診断営業部 西日本営業グループ
中国・四国地区担当 新井 一秀 先生

5. 「非造影血流評価技術 最新情報」

東芝メディカルズ株式会社
営業推進部 MR 担当 甲斐 征八 先生

昼休憩（12：00～13：15）

【午後の部】（13：15～15：15）

司会：徳島大学大学院医歯薬学研究部

医用画像情報科学分野 金澤 裕樹

6. 技術講演

「Arterial spin labeling による血流イメージング」

熊本大学大学院生命科学研究部

講師 藤原 康博 先生

7. 特別講演

「造影・非造影 Perfusion MRI の特徴と臨床応用」
徳島大学大学院医歯薬学研究部 放射線医学分野
教授 原田 雅史 先生

1. 「Syngo ASL のご紹介」

シーメンスヘルスケア株式会社
ダイアグノスティックイメージング事業本部 DI リサーチ & コラボレーション部 今井 広

ASL (Arterial Spin Labeling) 技術を応用した弊社のアプリケーションとして、Syngo NATIVE trueFISP と Syngo ASL についてご紹介しました。MRA として使用する NATIVE trueFISP はこれまで主に腹部 MRA に使用されてきましたが、現在では頭部の非造影 MR DSA 撮像にも応用されています。また Syngo ASL により非造影で脳灌流の評価が可能となりましたが、定量評価としての正確性や single TI 設定によるラベル血流到達時間の影響などが依然として課題ですので、複数 TI による撮像と general kinetic model を組み合わせた改善手法など最近の報告について述べました。

2. 「3D ASL のポイントと臨床」

GE ヘルスケア・ジャパン株式会社
MR 営業推進部 三浦 功平
3D ASL (Arterial Spin Labeling) 技術は、1986 年の Dixon らによる flow induced adiabatic inversion の原理¹⁾の報告に遡ることができる。1992 年、この原理を用いて、造影剤を使用することなく、灌流を撮像する方法が Continuous

Arterial Spin Labeling として初めて実現された²⁾。その後、研究用途には、90年代を通して多くの応用が広がっていったが、臨床アプリケーションとしての応用は限定されていた。その理由としては、汎用臨床MRIではflow induced adiabatic inversionを実現するために必要な、連続的なRF及び勾配磁場の印加が困難であったこと、体動の対策が難しかったこと、高速に撮像するための方法が発展途上であったこと、感度不足などがあげられる。2000年代を通して、ASLを臨床適応する様々な環境が整ってきた。3T装置及び頭部用多チャンネルPhased array coilの普及による感度の飛躍的な向上、撮像方法、ラベル手法に様々な改良が加えられ、撮像の安定化及びラベル効率の向上が行われた。これにより近年、臨床応用が可能であるシーケンスが利用可能になってきた。また、臨床での福音は本技術が3T装置だけでなく1.5T装置にも実装可能になった点であろう。

ASLは、動脈内流入血中のスピンの磁化を選択的に励起することにより、血液そのものを灌流トレーサーとして利用し、外因性トレーサーを用いることなく、灌流画像を得る手法である。また、拡散性トレーサーである水そのものを標識して使用することができるため、血液そのものの灌流をより正確な計測ができる可能性があるとして期待されている。ASLはRFパルスと勾配磁場を組み合わせることで流入血のスピンを反転させた画像(Label画像)と、反転を行わない画像(Control画像)を撮像し、その差分が組織灌流を反映した灌流強調画像となることを利用する。しかしながら昨今、ASLの撮像手法は非常に多岐に渡り、メーカー間での技術的差異があるのが現状である。

そんな矢先の2014年4月、Magnetic Resonance in Medicine(MRM)誌から、一片のレビューがepub ahead of printで出版された³⁾。この文献は、国際磁気共鳴医学会(ISMRM)のPerfusion study

groupが中心となりまとめたもので、現在のASL技術を総括し、技術的な観点から推奨される方法を解説している。この文献で推奨されている手法は①pCASL Labeling、②Background suppressionを使用する、③Segmented 3D収集、④Vascular Crusherは使用しない、⑤差分画像とCBF定量画像の両方を提示する、である。尚GEでは、現在の製品でお使い頂ける3D ASLは、①~⑤の推奨条件に全て適合している。

・ Pulsed Continuous Arterial Spin Labeling(pCASL)

ラベリングパルスの印可方法は、RFを連続印可するCASL法が理想的ではあるが、SARの問題・装置への負荷を考慮すると現実的ではない。これらの問題を解決する手法として、pCASL法が提案された。pCASLでは、連続パルスを細分化することで、SARの低下を実現することが可能となった。また、勾配磁場印可方法を工夫することにより、擬似的な連続印可を実現することができるようになる。pCASLのラベル効率は極めて安定しており、流速が10cm-100cmの範囲でlabel/controlの双方を考慮した正味のlabel効率は、80%以上を達成できることが報告されている⁴⁾。RFの位相を変えることだけで、labelパルスとcontrolパルスの切り替えを行うことが可能ということになり、RFパルスによる撮像面におけるMT効果が、labelとcontrolで全く同一になる。これらの技術的な改良により、3D ASLでは臨床MRI装置において安定した血流標識が可能となり、非造影灌流画像撮像が可能となった。

・ Background suppressionを使用

ASLではラベル収集とコントロール収集時の極めて微細な信号変化を扱う。

言い換えると、この2つの収集時の動きによる位置ずれが大きな計測エラーを生じさせる可能性がある。静止組織からの信号をできる限り抑制し、灌流信号だけが信号を生じさせるようにすれば、このエラーを低減させることが可能となる。これ

を Background Suppression 法と呼ぶ⁵⁾。技術的には、複数の Inversion 及び Saturation pulse を組み合わせることにより、ある範囲の縦緩和時間 (T1 値) を持つ静止組織の信号が Null point 近傍で撮像することが可能となり、信号を抑制することが可能となる。この背景信号抑制を使用することにより、極めて安定した収集が可能となった。

・CBF の算出

ASL データに基づいた CBF の算出方法には、コンパートメントモデルが使用される。有限の label 時間での 2 コンパートメントモデルがしばしば使用される⁶⁾。このモデルでは、有限のラベル時間において十分な効率で血流がラベルされること、及び PLD 時間の間に、血流が組織内に灌流することが想定されている。ASL 画像及びプロトン強調画像の簡易な撮像及び簡便な処理により、有用な灌流指標が得られる有用な方法ではあるが、この前提条件から外れる場合においては、値の推定精度は低下する可能性があることは念頭に置いておくべきである。特に到達時間に遅延がある場合は、PLD 時間の間に血流が組織内に灌流するという条件を満たさないことになるため、ASL 信号がモデルとは異なる挙動を示すため、その値の解釈には注意が必要である。

ASL は、造影剤を用いることなく比較的短時間に灌流画像を撮像することを可能とした。また、非造影であるため繰り返し検査が可能であること、容易に検査に追加可能であることなど有用性の高い手法であると考えられる。いくつかの課題を解決するための新たな技術的検討も進められており、より高い精度の計測が近い将来可能となってくると期待される。

参考文献

- 1) Projection angiograms of blood labeled by adiabatic fast passage. Dixon WT, Du LN, Faul DD, Gado M, Rossnick S. Magn Reson Med. 1986 Jun;3(3):454-62
- 2) Magnetic resonance imaging of perfusion

using spin inversion of arterial water. Williams DS, Detre JA, Leigh JS, Koretsky AP. Proc Natl Acad Sci U S A. 1992 Jan 1;89(1):212-6

3) Recommended implementation of arterial spin-labeled perfusion MRI for clinical applications: A consensus of the ISMRM perfusion study group and the European consortium for ASL in dementia. Magn Reson Med. 2014 Apr 8. doi: 10.1002/mrm.25197. [Epub ahead of print]

4) Continuous flow-driven inversion for arterial spin labeling using pulsed radio frequency and gradient fields. Dai W, Garcia D, de Bazelaire C, Alsop DC. Magn Reson Med. 2008 Dec;60(6):1488-97

5) Efficiency of inversion pulses for background suppressed arterial spin labeling. Garcia DM, Duhamel G, Alsop DC. Magn Reson Med. 2005 Aug;54(2):366-72

6) Alsop DC, Detre JA. Reduced transit-time sensitivity in noninvasive magnetic resonance imaging of human cerebral blood flow. J Cereb Blood Flow Metab. 1996;16:1236-1249.

3. 「ASL の技術動向～基礎から最新技術～」

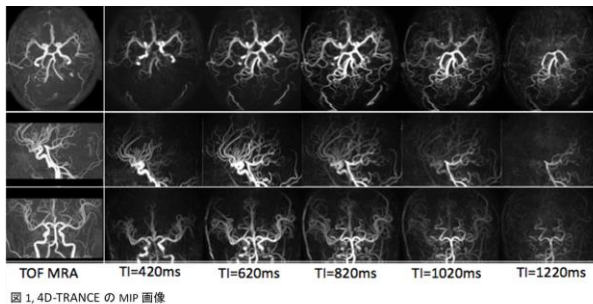
株式会社フィリップスエレクトロニクスジャパン

MR Field Marketing 中村 理宣

Arterial Spin Labeling (ASL) は、関心臓器に血液を供給している動脈、あるいは関心血管の上流側に存在する血中プロトンを磁化的にラベリングし、灌流情報を得る手法である。ASL の新たな応用例として注目されているのが、血流動態の把握である。灌流情報取得を目的とした場合、ラベリング後、遅延時間を設け撮像を行うが、ラベリング直後から遅延時間を変化させながらデータ収集を行うことで、血流動態を把握することが可能となる。CINEMA は、ラベリング後に異なる時相情報

を連続的に収集する Look-Locker データサンプリングスキームを取り入れることで、撮像時間の大幅な短縮、また、データ収集効率を上げ末梢血管の描出能向上を実現した。

CINEMA は、すでに頸動脈狭窄、arteriovenous malformation (AVM)、あるいは dural arteriovenous fistulas (DAVF) 症例に応用され、有用性が報告されている。また、目的血管のみをラベリングすることで選択的 dynamic MR Angiography を得ることができる。血管支配に対応する領域的な情報は、閉塞性疾患における側副血行路の確認あるいは脳組織の viability の評価にとって重要であり、血流動態評価に加えて側副血行路の解剖学情報が得られる。今後、非造影で血流動態情報が得られる CINEMA の臨床応用が広がっていくことを期待している。



4. 「HITACHI ASL Technique」

株式会社日立製作所 ヘルスケア
画像診断営業部 西日本営業グループ
中国・四国地区担当 新井 一秀

ヘルスケアを通じた社会貢献を実現すべく、2016年4月1日より株式会社日立製作所は、株式会社日立メディコ、及び日立アロカメディカル株式会社を統合し、ヘルスケア部門において完全に一体化した経営を進めることとなった。今後さらに、日立の持つ総合力を活用した技術開発や関連システム、ソリューション、サービスの提供を行い、一人ひとりが健康で安心して暮らせる社会の実現を目指していく。

今回、日本放射線技術学会 中国・四国支部 平

成 29 年度 夏季学術大会 MR 研究会において 弊社の ASL 技術について紹介する機会をいただき、以下の内容で発表を行った。

1. ASL-Perfusion 計測機能について

現在の製品版の仕様と実際の検査の流れについて紹介した。ポイントとしてまずはじめに、撮像スラブとラベルパルスの印加位置がともにオプリークも含めて変更可能であることが挙げられる。これにより、適正な位置でラベルパルスを印加することを可能としている。次に撮像後の解析処理として、B1 不均一、コイルの感度差の影響を低減するために ASL 画像をプロトン密度強調画像で規格化していることについても紹介した。また、関連する技術として現在開発中の QSM (Quantitative Susceptibility Mapping) と QSM-OEF (酸素摂取率) の画像も紹介した。QSM-OEF は酸素代謝を評価する簡便な手段として現在注目を集めている技術である。

2. Beam Sat による選択的 TOF MRA について

Beam Sat はプリサチュレーションパルスを Beam 状にコントロールした技術で、TOF MRA と併用することで頭頸部の血行動態を非造影で評価することができるアプリケーションである。任意の位置を抑制可能で、DSA の様に造影剤による圧の上昇がないため通常状態の血行動態が反映された画像を得ることができる。発表では、パルスシーケンスの特徴や要素技術、操作性とともに臨床例 (ICA 狭窄、AVM、もやもや病) についても紹介を行った。

5. 「非造影血流評価技術 最新情報」

東芝メディカルズ株式会社
営業推進部 MR 担当 甲斐 征八

最初に、原理を含め、ASL の概要についてお話しさせていただきました。

次に ASL を用いた灌流情報を収集する手法について、臨床画像を供覧いたしました。腫瘍に集積する血流やステント評価で利用いただいております。解析におきましては、コンソールでの解析のほか、

弊社ワークステーション Vitrea を用いることで、簡便な ASL 解析を可能とします。

また、低 b 値の拡散強調画像を用いて灌流情報を得る IVIM も解析可能です。こちらについては、様々なモデルを用いてカーブフィッティングを行い、精度の高い解析を可能とします。

最後に、ASL をもちいた血管描出法について最新情報をご紹介します。

mUTE 4D-MRA は、静音環境での MRA 撮像手法で、複数フェーズの画像を一度の撮像で取得可能で、DSA のような形で、血流動態を観察可能です。

超短 TE (UTE) で撮像するので、TOF で描出される乱流による中抜けアーチファクトやインプラントに起因するアーチファクトを低減させるという効果もごございます。

また、更に時間分解能をあげた撮像を可能とする mASTAR も弊社最新ソフトで可能としております。弊社は様々な手法を準備し、臨床のニーズに対応させていただきます。

6. 技術講演

「Arterial spin labeling による血流イメージング」

熊本大学大学院生命科学研究部
講師 藤原 康博

脳は、全身の臓器の中でエネルギー代謝が最も活発な臓器であり、そのエネルギーの供給は血流に依存している。脳に供給される血流量は、1 分間に 100g あたり約 50mL と多く、脳機能の維持に血流が極めて重要な役割を果たしている。脳の画像診断において、脳局所の毛細血管レベルの微小な血流動態 (灌流) を評価することは、多様な病態変化を示す一情報としての有用性が高い。

Arterial Spin Labeling (ASL) は、MRI で灌流画像を得る手法の一つで、血液のスピンを内因性のトレーサとして利用する。脳組織に流入する動脈スピンを磁氣的に標識し、撮像することによって、局所脳血流量を反映した画像を得ようとする

技術である。ASL は、造影剤が不要なことから、完全に非侵襲的で、何度でも繰り返し利用できる特徴がある。一方、原理的に得られる画像の SNR が低いため、長い間実用化に至らなかった。ここ数年間に、高磁場化や受信コイルの高感度化、そして、高い SNR を得るための様々な要素技術が開発されたことから、ようやく臨床に導入され始めた。

本講演では、ASL による灌流画像の撮像法の概要を説明した後に、高い SNR を得るための要素技術 (ハードウェア、ラベル技術、ラベル面の設定、Post-Labeling Delay、背景信号の抑制技術、信号収集技術、定量化モデルと計算法、後処理と画像表示方法、撮像時間) についてそれぞれ解説した。さらに、Alsop らが提案する ASL を臨床利用する際の推奨条件についても解説した (Alsop DC, et al. Magn. Reson. Med. 2014;73:102-116)。最後に、画像のチェックポイントや注意点 (ラベル効率の低い領域、血管内の高信号スポット、モーションアーチファクトなど) についても解説した。

現在の推奨条件をまとめると、3.0T, Pseudo-Continuous ラベリング、ラベル時間は 1.8 秒程度、Post-Labeling Delay は 2 秒、背景信号の抑制技術を併用、3D での分割収集、差分画像とスケールバーを付けた定量値 (rCBF マップ) の両方で評価、が望ましい。また、これらの推奨条件を使用した場合でも、組織への到達時間の問題などの ASL 特有のピットフォールは依然として残るため、利用には原理の理解が不可欠である。

7. 特別講演

「造影・非造影 Perfusion MRI の特徴と臨床応用」
徳島大学大学院医歯薬学研究部 放射線医学分野
教授 原田 雅史

MRI を用いた脳灌流画像では、造影剤を使用した方法とラジオ波で血流に磁化を印加した非造影法があり、代表的な方法として造影剤を用いた dynamic susceptibility contrast (DSC) 法と非造影の pseudo-continuous arterial spin

labeling (pCASL)法を取り上げ、同一疾患における両者の定量マップによる比較検討を行った。DSC法のパラメーターとしては、rCBF, rCBV, MTTのほかTmaxのパラメーター画像も作成してpCASL法のCBFマップと比較を行った。比較のためにSPM8を用いて標準化を行い、自動ROIを各血流領域に設定して定量値を測定した。

その結果血管狭窄を有する脳虚血疾患については、DSC法のrCBF, rCBVマップはpCASL法のCBFマップとは有意な相関は認められず、pCASL法のCBFマップと最も相関が高かったのはTmaxマップであった。

一方で新生血管の増生等により血流増加が推測される悪性脳腫瘍においては、pCASL法のCBFマップとDSC法によるrCBF, rCBVマップとの相関は有意に高く、Tmaxとの相関は中等度であった。

以上からは、疾患や血流変化の病態によって、pCASL法のCBFマップに影響する血流パラメーターが変化することを示唆しており、pCASL法によるCBFマップは複数の要因によって成立していることを反映すると考えられた。

また、pCASL法ではスピンラベルから信号取得までの時間、すなわちpost labeling delay (PLD)時間が血流通過に対して不十分であった場合には、血管内信号の消え残りとして認められる。これは脳血流の定量に対してはpCASL法の欠点となり、vascular artifactと呼ばれることもあるが、血流シャントや血管狭窄による血流うっ滞等が存在する場合には、病態を反映した血管内信号として診断に利用することができる。

このように、pCASL法によるperfusion MRIを理解するためには、病態によってコントラストや定量値に及ぼす要因が異なり、さらに血管内信号を生じる背景因子を探索する必要がある。従って、pCASL画像の診断においては、病態の背景の知識とともに測定パラメーター設定におけるコントラストへの影響度合い等測定条件への理解も必要となることから、他のMRI画像以上に診断におけ

る撮像者である放射線技師と診断医である放射線科医の連携と理解が重要となる。

今後pCASL法においても通過時間を含めたtransit timeマップの作成と補正が可能になると考えられ、さらに撮像技師と診断医との連携が求められるようになると思われる。