

1) 種別

原著

2) タイトル

頸動脈ステント留置術前後の脳血流評価における頭部 MRI ASL  
arterial spin-labeling 画像の有用性

3) 著者

水橋 里弥 1), 2)、福田 和正 2)、佐藤 幹 2)、神山 信也 1)

4) 所属

1) 埼玉医科大学国際医療センター 脳血管内治療科

2) 千葉中央メディカルセンター 脳神経外科

5) 連絡先

〒350-1298 埼玉県日高市山根 1397-1

埼玉医科大学国際医療センター 脳血管内治療科

水橋 里弥

Tel:042-984-4111 E-Mail:satomi-mizuhashi@jcom.home.ne.jp

6) carotid artery stenting, hyperperfusion, arterial spin labeling

7) 本論文を、日本脳神経血管内治療学会機関誌 JNET Journal of  
Neuroendovascular Therapy に投稿するにあたり、筆頭著者、共  
著者によって国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないこ  
とを誓約いたします。

## 和文要旨

### 【目的】

頰動脈ステント留置術(CAS)の周術期管理において過灌流症候群の予測は非常に重要である。本研究は、Pulsed Artery Spin Labeling (ASL)法を用いてCAS周術期の脳血流を定性的に評価し、有用性を検討した。またラベリング位置を工夫することでステント留置の影響を受けず、CAS前後の誤差を減らす検討をした。

【方法】2015年6月から2016年12月までに当院でCASを施行した頰動脈狭窄症例のうち、術前後にASLを施行し得た13症例を対象とした。ASLはCAS施行前1週間以内、及び術後1日目、7日目に施行した。血流評価は基底核レベルの大脳皮質の左右差及び術前後差の比較を定行的に行った。

### 【結果】

CASは全例で病変部の良好な拡張が得られた。定行的ではあるが術前、患側ASLの血流低下を認めたのは9例、術翌日4例でASLにて過灌流を予測し得る所見が得られ、内1例で過灌流症候群による内包出血を認め、術後7日目のASLにおいて9例で術前と比較し脳血流の改善が得られたことを捉えることが可能であった。

【結論】ASLはCASの周術期管理において、迅速で侵襲がなく、短期間に繰り返し撮像可能であり、脳血流評価の一助として有用であった。

## 【 緒 言 】

頸動脈狭窄症に対する頸動脈ステント留置術(carotid artery stenting: CAS)は低侵襲のため近年広く行われるようになってい  
る。しかし CAS による合併症が高率に発生する高危険例も存在す  
る 1)。特に術後過灌流(hyperperfusion: HP)が発生し、痙攣、頭  
痛、くも膜下出血、脳出血をきたす過灌流症候群(hyperperfusion  
syndrome: HPS)に進行すると患者の生命予後を悪化させること  
から 2-5)、CAS の周術期においては常に HPS を念頭に置いて術  
後管理する必要がある。CAS は頸動脈内膜剥離術(carotid  
endarterectomy: CEA)よりも術後 HPS に頭蓋内出血が合併する  
頻度が高く、HPS 発症時期のピークが術後 12 時間以内と早期に  
あり 6)、術前の脳循環動態から HPS 高危険群を抽出し HP を早期  
に診断し HPS を未然に防ぐことが重要と考えられる。術前に脳血  
流 single photon emission computed tomography(SPECT)で脳循  
環予備能(cerebral vascular reserve: CVR)を評価し CVR 低下例に  
おいて術後 HP 発生のリスクが高いことが報告されている 3-5)。  
しかしながら、当施設も含め全施設で常に SPECT が利用できる  
とは限らない。そこで本研究では組織に流入する動脈血に磁化を  
加える(ラベリング)ことで、血液自体を内因性トレーサーとし  
て造影剤を用いることなく定性的脳灌流画像を得ることができ  
る arterial spin labeling (ASL) 法 7) が HP の診断に有用である  
か否か検討した。ASL は SPECT や positron emission tomography  
(PET) といった既存検査と同等の信頼性は未だ確立されていな  
いものの、非侵襲的、低コスト、脳血流トレーサー不要、短時間

で複数回施行可能といった点で有利である。一方、ステント留置によるアーチファクトで評価不能となる症例が報告されており、そこで、本研究ではラベリングをステントの影響を受けない位置に設定し、ステント留置前後で同位置にラベリングし誤差を減らす測定法を工夫し CAS 前後の脳血流を評価することで ASL の有用性に関して検討したので報告する。

## 【対象と方法】

### 対象

2015 年 6 月から 2016 年 12 月までの期間に当院で CAS を施行した頸動脈狭窄症例のうち、術前後に MRI の ASL を施行した 13 症例（男性 8 例、女性 5 例、平均年齢  $72.7 \pm 7.8$ （63-85）歳、右内頸動脈狭窄 9 例）を対象とし後方視的に検討した。

### MR 撮像方法

MR 撮像装置は GE 社製 SignaHDxt 1.5T、コイルは 8chNV ARRAY、シーケンスは 3D ASL (pCASL)、Post Labeling Delay (PLD) は 1525 ms、TR/TE は 4587/10.5 ms、FOV は 24cm、Slice Thickness は 4.0mm、BW は 62.5kHz、Scan Locs は 32、Arm/Points は 8/512、Scan Time は 4.26 min に設定し、CAS 施行前 7 日以内及び CAS 施行後 1 日目と 7 日目に全脳 ASL 画像を取得した。ただし、HP を示唆する所見が得られた場合頻回に ASL 撮像を行い経時的変化を観察し収縮期血圧を 130mmHg にする厳重な血圧管理を施行した。また、ASL において、ステント留置後に起こり得るラベリングミスによる画像取得不良を回避し、ラベリング位置を一定にすること

により **CAS** 前後での誤差を少なくする目的で、頸椎ローカライズ画像 (**FR(Fast Recovery)**)をベースとした **30** 秒での撮像) を追加撮像し、軸椎下端と狭窄遠位 (両側の内頸動脈狭窄の場合はより高位) の距離から患者固有の撮像位置を計測しステントの影響を受けないラベリング位置のプランニングを行った。ラベリング位置はスラブ下端より **2cm** 下方の位置となるように設定した。対象とする頸動脈狭窄遠位部から **6cm** 上方に **pulse** が当たるように位置を決定した。軟部組織を指標とするとステント留置前後で誤差が生じる可能性があるため軸椎下端とラベリングの位置関係を測定し患者固有の撮像位置を決定し **CAS** 前後で軸椎下端から同じ位置関係となるところでラベリングを施行した (**Fig.1**)。ASL 法による **Perfusion Weighted Image (PWI)**における血流評価では脳血流量の定量はできないため、基底核レベルでの大脳皮質における左右対称部位での **ASL** カラー表示画像の比較と患側小脳と患側基底核レベルの大脳皮質の **ASL** カラー表示画像の比較を術前と術後で毎回同じ **3** 人の脳外科専門医が定性的に評価した。対象となった **13** 症例全例で **3** 人の読影者の評価は一致した。術後に患側の基底核レベルでの大脳皮質部分の **ASL** カラー表示画像における脳血流が対側より増加していると読影者全員が定性的に評価した場合を **HP** と定義した。**ASL** カラー表示画像で読影者が定性的に評価した基底核レベルの大脳皮質と小脳部分の **ASL** 元画像で **ROI** を設定し数値化し比較した。**ASL** 画像が定性的であるため得られた数値は定量化されたものではなく、絶対値ではないが比較は可能である。術前の血流低下は基底核レベルでの大脳皮

質の ROI の値の患側と健側の比が 1.0 以下と定義した。また、術直後の血流増加は基底核レベルでの大脳皮質の ROI の値の患側と健側の比が 1.2 以上と定義した。術後 7 日目の術前との比較における血流増加は基底核レベルの大脳皮質と小脳比を術前後で 1.0 倍以上と定義した (Table 1)。CAS

頸動脈血行再建の適応は NASCET 法 (脳血管撮影) で症候性 50% 以上、無症候性 80% 以上とした。CAS の適応は CEA 高危険群とし、病変へのアクセス、プラーク量や性状、壁在血栓をもとに個別に検討し CEA ないし CAS を選択した。同時期間の CEA は 5 例であった。症候性病変は全例、発症後 3 週間以上経過した慢性期に治療した。手術手技としては CAS 施行 1 週間以上前からアスピリン 100mg/日およびクロピドグレル 75mg/日の内服を開始し、抗凝固療法中やシロスタゾール内服中の患者は周術期もこれを併用した。CAS は局所麻酔下経大腿動脈アプローチ、全身ヘパリン投与下 (activated clotting time 300 秒を目標) に行い、バルーン付ガイディングカテーテルを総頸動脈に留置し embolic protection device (distal filter 1 例、distal balloon 12 例) は全例で使用した。ステントは全例、症候性病変またはプラーク性状が不安定と考えられる狭窄病変であったため closed cell stent である Carotid Wallstent (Boston Scientific, Natick, MA, USA) を使用した。ステント径は総頸動脈血管径より 1-2mm 大きいものを、後拡張は遠位内頸動脈正常血管径の 8 割程度の径のバルーンを使用した。術後ヘパリンのリバー스는行わず、持続投与も行わなかった。術後 72 時間は収縮期血圧を 130mmHg 以下になるよう嚴重

に管理した。

## 【結果】

CAS手技に関しては全例で内頸動脈から総頸動脈にかけてステントが留置され、狭窄病変の良好な拡張が得られた（遠位内頸動脈正常径の75%以上）。術後経過中、脈拍50/分未満の除脈が継続した症例はなく、収縮期血圧90mmHg未満となり昇圧剤の投与継続を必要とした低血圧も認めなかった。対象となった13例のまとめをTable 1に示す。HPSによる内包出血を1例で生じた。周術期major stroke、minor strokeとも生じた症例は認めなかった。術前に患側のASLにおける脳血流低下を認めたのは9例（ $0.88 \pm 0.08$ , range 0.71-0.98）、その内4例で術翌日のASLにおいて、患側の脳血流が対側の脳血流より増加（ $1.34 \pm 0.14$ , range 1.25-1.50）しておりHPを予測し得る所見が得られた。内包出血を生じた症例においても術後12時間後から36時間後までHPを予測し得る所見が得られたため、鎮静、降圧療法を行った。術前に対側と比較し患側のASLにおける脳血流低下を認めなかった4例においては術翌日の患側の血流は術前または対側と比較して同程度（ $1.04 \pm 0.04$ , range 1.00-1.08）でありHPを予測し得る所見は認めなかった。術後7日目に術前と比較し脳血流の増加が得られたことを明確にとらえることができたのは、術前に患側のASLにおける脳血流低下を認めた9例（ $1.13 \pm 0.07$ , range 1.02-1.28）であった。以下に代表症例を提示する。

代表症例

ステント留置の影響でラベリングができず術後 **ASL** での評価が不可能であった症例

80歳、男性、右散在性脳梗塞（分水嶺）で発症した。梗塞の精査で行った頭部 **MRI** で **MR angiography (MRA)** において右内頸動脈の描出不良を認めた。脳血管撮影で右内頸動脈起始部に **NASCET** 法で **99%**、高位は **C2-C4** の狭窄を認め、内頸動脈は偽性閉塞の状態であり、内頸動脈は外頸動脈と比較し描出が遅延していた。頸動脈エコーでは低輝度病変であり、頸動脈 **MRI** では **T1** 強調画像でプラークは高信号を呈しており不安定プラークと考えられた。術前の **ASL** では患側の脳血流低下が示唆される所見であった。バルーン付きガイディングカテーテルを右総頸動脈に誘導し遠位 **Protection device** の通過時、近位遮断を行い遠位バルーンプロテクション下に前拡張をした後 **Carotid WALLSTENT 8×29mm** を留置、後拡張を施行した。狭窄部位が比較的高位であったため **Autolabelling** 法ではラベリング位置がステント留置部分と重なったため術後の **ASL** は評価不能であった (**Fig. 2**)。

ステント留置後患側の脳血流が対側と同程度まで改善した症例  
(**Case 9**)

65歳、女性、右前頭葉皮質下梗塞で発症した。3か月前に左内頸動脈に対し **CAS** 施行し、右 **CAS** 施行予定であった。梗塞の原因精査で行った頭部 **MRA** において右内頸動脈の描出不良を認め、脳血管撮影で右内頸動脈起始部に **NASCET** 法で **85%**、高位は **C2-C3** の潰瘍を伴う狭窄を認め、右内頸動脈は急速に狭窄が進行した状態であり、内頸動脈は外頸動脈と比較し描出は遅延してい



た。頚動脈エコーでは低輝度から等輝度のモザイク病変であり、頚動脈 MRI では T1 強調画像でプラークは高信号を呈しており不安定プラークと考えられた。術前の ASL では患側の灌流低下が示唆される所見であった。バルーン付きガイディングカテーテルを右総頚動脈に誘導し Distal protection バルーン通過を近位遮断で行い遠位バルーンプロテクション下に前拡張を施行し Carotid WALLSTENT 8×29mm を留置、後拡張を施行した。術後の ASL では患側の血流は対側と同程度まで改善していた (Fig. 3)。

ステント留置後患側の脳血流が対側より増加し (HP) 脳出血を呈した (HPS) 症例 (Case 10)

80 歳、男性、進行性の右散在性梗塞で発症した。術前全身検索の過程で腹部大動脈瘤、進行性胃癌を指摘された。また、梗塞の精査で行った頭部 MRA において右内頚動脈の描出不良を認め、脳血管撮影で右内頚動脈起始部に NASCET 法で 90%、高位は C1-C3 の狭窄を認め、プラーク量も多かった。頚動脈エコーでは低輝度病変であり、頚動脈 MRI では T1 強調画像でプラークは高信号を呈しており不安定プラークと考えられた。術前の ASL では患側の灌流低下が示唆される所見であった。担癌状態であること、全身麻酔による血圧低下のリスクがあることを考慮し CAS を選択した。側副血行も乏しく、HPS の高危険群とみなし CAS を施行した。上腕動脈からのアプローチで遠位バルーンプロテクション下に前拡張を施行し、Carotid WALLSTENT 8×29mm を留置した。術中新たな神経脱落症状は認めなかった。術後は収縮期血圧 120 mmHg 未満を目標として厳格に血圧管理を行ったが、術翌日

に施行した ASL で患側の MCA 領域が対側より血流増多を認めたことから HP が示唆された。引き続き血圧管理を厳格に行ったが、CAS 施行 16 時間後 HPS による患側の脳出血を呈した。ASL を連日施行し患側の MCA 領域の血流が対側と同程度になるまで血圧の厳重管理を継続した。術前 modified Rankin Scale (mRS) score 4 であったが 3 か月のリハビリテーション施行後 mRS 3 で施設に退院となった (Fig. 4)。

### 【考察】

当院のように PET や SPECT などの定量的に脳血流を評価できる撮像機器を持たない施設においては、脳梗塞による後遺症で activities of daily living (ADL) が低下している患者や術翌日を含む周術期に患者が他施設に赴き SPECT を施行することが不可能な場合、脳血流を評価することが難しく HPS の発症予測も困難であった。そこで、定性であっても ASL を施行することにより脳灌流状態の情報を得ることが可能となり、HPS の予測と術後の脳血流の評価において有用であった 8-10)。ASL 法は動脈血中のプロトンを反転パルスでラベルし、そのラベルされた動脈血が動脈から毛細血管に移行し脳実質のプロトンと交換されることにより脳組織の血流イメージングを可能とし、ラベルされた動脈血が多ければ多いほど血流量は高いことになる。そのため ASL 法では造影剤を用いる必要はなく、全く無侵襲であり（核医学的手法である 150 標識水を用いる PET や脳血流製剤を用いる SPECT とは異なり放射線被曝がない）、安全かつ数分で脳血流測定が可能であ

り、放射性物質が体外に排泄されるのを待つ必要もないため短期間に繰り返し測定も容易である。ASL と SPECT の比較を行った報告によると両者の安静時脳血流の測定値は良く一致しているだけでなく、CVR もかなり良く一致している。SPECT での高血流が ASL でさらに高血流に評価されることも示唆されているが、個々の画像による評価でも SPECT と非常によく似た画像を提供できることも示されている 16-17)。ただし ASL の信号はその原理から血流の多寡だけでなく、心機能による血流の変化、血管床が多い組織、到達時間の遅れから生じる血管内のラベル化されたスピンの残存、アーチファクト等、様々な因子により影響を受ける 11)。このことから脳血流の評価を誤る場合があることは常に念頭に入れておかなければならない。

ASL のピットフォールの一つとして金属アーチファクトを受けやすい点があげられ 15)、評価不能症例のように頸部のステントによるアーチファクトでラベリングが出来ず、ASL 画像が取得できないという現象が起こり得る。そこで本研究では術後のステントによるアーチファクトを回避し、かつラベリング位置を CAS 前後で一定にすることにより、ラベル化から画像取得のプロセスにおいてラベリング位置の違いによる誤差を少なくした。CAS 前より頸椎ローカライズ画像を基に予測したステント留置位置より上部にラベリングを行うことで、CAS 後ラベリング位置がステントに重なることが回避でき、本研究でのラベリング位置設定においてステントアーチファクトは一例も認めなかった。術前後でラベリング位置が同じであることからラベル化された血液が脳内に

分布する時間においてラベリング位置の誤差の影響は少なくなつたと考えられる。

また、**ASL** 画像の問題点として、ラベル化された動脈血は循環時間の影響を受けるため、循環時間の延長により良好な血流画像が得られないことや、スライス内でも循環時間の差異が血流情報を修飾する可能性がある。通常ラベルされた血液が脳内に分布する時間として健康成人で **1.5** 秒程度要すると報告されており、この時間を考慮してラベリングからデータ収集までの時間である **PLD** を設定するが、**PLD** の設定の違いにより得られる画像が異なってくる **12)** ことが報告されている。そこで本研究では **1.5** 秒、**2.0** 秒、**2.5** 秒の **3** 点で **ASL** 撮像し検討した結果、**PLD** を最も健側と患側の差を検出し得た **1.5** 秒とした。特に **ASL** の **short PLD**

(**1000/1500 msec**) の画像は **SPECT**、**15O-PET** による **CBF/CBV** と非常によく相関しているという報告もあり妥当であると考えられた **18)**。**PLD** を複数設定することで遅れて組織内に流入する血流により灌流される領域を側副血行の状態として評価できる可能性も報告されている **13)**。そこで、今後はより多くの症例で複数の **PLD** を設定し、複数の画像を検討することが必要であると考えられた。

今回対象となった **13** 例中術前に病側の **ASL** における血流低下を認めたのは **9** 例、内 **4** 例で術翌日の **ASL** において **HP** を予測し得た。この **4** 例に対しては嚴重な血圧コントロールを行った。**HP** によって頭痛，不穩，痙攣，頭蓋内出血などを発症した **HPS** は患者の予後を悪化させる場合がある。特に **Case 10** のように頭蓋内

出血は重篤な合併症である 6)。HP 発生例は厳重な血圧管理が必要であり、無症候の過灌流といわれている過灌流現象 (hyperperfusion phenomenon : HPP) でも大脳皮質全体で神経細胞の脱落をきたし高次脳機能障害に陥ることがあるため 14)、HP 発生の予知とその予防策は重要である。今回のわれわれの検討は、SPECT 所見と比較のない ASL 単独の評価であったが、HPS の予測は可能であった。ASL で HP を示唆する所見を認めた場合、早期に HP 状態を捉えることでその後に降圧など適切な対処が行われ、HPS への進展を防ぐことに寄与できたと考えられる。特に、SPECT と異なり ASL は短期間に繰り返し画像を得ることが可能であり、脳血流の継時的変化を捉えることができた。また、術前患側の血流低下を示唆する所見のなかった 4 例全例において HP は認めなかった。

本研究では CAS の周術期における ASL の有用性を検討した。ASL は SPECT や PET といった既存検査と同等の信頼性は未だ確立されていないものの、MRA や diffusion weighted imaging (DWI) と同時に施行可能であり、虚血性変化や血管の情報と同時に灌流の情報を得られ病態の把握には非常に有用であった。HPS の予防においては事前に対策を行うことが重要であり、定量性は乏しいものの従来の SPECT と安静時脳血流の測定値は良く一致しているという報告があることから 16) ASL 単独でも評価は可能であり、実臨床での HPS 対策には有用と考えられた。今後は症例数を増やし、PLD の条件や画像評価の方法を検討する必要がある。

## 【結語】

頸動脈ステントの周術期管理において、迅速で侵襲がなく繰り返し撮像可能である ASL による脳血流評価方法は有用であった。また、ラベリング位置を一定にすることでステント留置によるアーチファクト、ラベリング位置による誤差を減らすことができ頸動脈狭窄症の周術期管理において HP 診断の一助となり得た。しかし、ASL の信号はその原理から血流量のみではなく、その他様々な因子により影響を受けるため病態の把握における画像評価には注意が必要である。本研究より ASL が CAS 周術期における HP を予測する脳循環評価のスクリーニングとして有用であることは示されたが、15O-PET や SPECT のような信頼性は確立できず、今後定量化を可能にするなど、さらなる発展が必要である。

## 【利益相反開示】

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

## 【文献】

1) Brott TG, Hobson RW 2nd, Howard G, Roubin GS, Clark WM, Brooks W, Mackey A, Hill MD, Leimgruber PP, Sheffet AJ, Howard VJ, Moore WS, Voeks JH, Hopkins LN, Cutlip DE, Cohen DJ, Popma JJ, Ferguson RD, Cohen SN, Blackshear JL, Silver FL, Mohr JP, Lal BK, Meschia JF; Stenting versus endarterectomy for treatment of carotid-artery stenosis. N Engl J Med. 2010; 363: 11-23.

- 2) 柏崎大奈, 黒田敏, 牛越聡, 他. ステント留置術により血行動態が著明に改善した高度内頸動脈狭窄症の 1 例 – hyperperfusion の予防と対策の重要性 – 脳神経外科 2003; 31: 1315-1320.
- 3) 植田敏浩, 正田大介, 伊藤淳史, 他. 頸動脈狭窄症に対する血管拡張術後の過灌流症候群発症の術前予測における脳血流測定の有用性. Rad Fan 2004; 2: 126-129.
- 4) 福本真也, 久門良明, 渡邊英昭, 他. CAS, CEA 術後の cerebral hyperperfusion syndrome 発症に関する術前リスクファクターの検討 脳神経血管内治療 2008; 2: 16-22.
- 5) Iwata T, Mori T, Tajiri H, et al. Predictors of hyperperfusion syndrome before and immediately after carotid artery stenting in single-photon emission computed tomography and transcranial color-coded real-time sonography studies. Neurosurgery 2011; 68: 649-655.
- 6) Ogasawara K, Sakai N, Kuroiwa T, et al. Intracranial hemorrhage associated with cerebral hyperperfusion syndrome following carotid endarterectomy and carotid artery stenting: retrospective review of 4494 patients. J Neurosurg 2007; 107: 1130-1136.
- 7) Williams DS, Detre JA, Leigh JS, et al: Magnetic resonance imaging of perfusion using spin inversion of arterial water. Proc Natl Acad Sci U S A 1992; 89: 212-216.
- 8) Detre JA, Leigh JS, Williams DS, et al: Perfusion imaging.

Magn Reson Med 1992; 23: 37-45.

9) Wang JJ, Alsop DC, Li L, et al: Comparison of quantitative perfusion imaging using arterial spin labelling at 1.5 and 4.0 tesla. Magn Reson Med 2002; 48: 242-54.

10) Yun TJ, Sohn CH, Han MH, et al. Effect of carotid artery stenting on cerebral blood flow: evaluation of hemodynamic changes using arterial spin labelling. Neuroradiology 2013; 55: 271-81.

11) Deibler AR, Pollock JM, Kraft RA, et al: Arterial spin-labeling in routine clinical practice, part 1: technique and artifacts. AJNR Am J Neuroradiol 2008; 29: 1228-1234.

12) 青山国広 : Arterial Spin Labeling (ASL) 法を用いた脳血流評価の現状と今後. 脳外速報 2013; 23: 176-187.

13) Zaharchuk G: Arterial spin label imaging of acute ischemic stroke and transient ischemic attack. Neuroimaging Clin N Am 2011; 21: 285-301.

14) Chida K, Ogasawara K, Suga Y, et al. Postoperative cortical neural loss associated with cerebral hyperperfusion and cognitive impairment after carotid endarterectomy: 123Iiomazenil SPECT study. Stroke 2009; 40: 448-453.

15) Chen DY, Kuo YS, Hsu HL, Yan FX, Liu HL, Chen CJ, Tseng YC: Loss of labelling efficiency caused by carotid stent in pseudocontinuous arterial spin labelling perfusion study. Clin Radiol. 2016; 71: 21-27.



16) Uchihashi Y, Hosoda K, Zimine I, Fujita A, Fujii M, Sugimura K, Kohmura E : Clinical application of arterial spin-labeling MR imaging in patients with carotid stenosis : Quantitative comparative study with singlephoton emission ct. AJNR Am J Neuroradiol. 2011; 32: 1545-1551.

17) Bokkers RP, Bremmer JP, van Berckel BN, Lammertsma AA, Hendrikse J, Pluim JP, Kappelle LJ, Boellaard R, Klijn CJ: Arterial spin labeling perfusion MRI at multiple delay times: a correlative study with H2 15O positron emission tomography in patients with symptomatic carotid artery occlusion. J Cereb Blood Flow Metab. 2010; 30: 222–229.

18) 板垣寛、小久保安昭、笹生香菜子、他：15O-PET との比較からみた MRI ASL (arterial spin labeling) における multiphase PLD (post labeling delay) の重要性。脳循環代謝 2017; 28: 273-279.

### 【図表の説明】

#### Table 1

ASL による CAS 周術期における CBF 変化の定性的評価。術前の Ratio は基底核レベルでの大脳皮質の ROI の値の患側と健側の比である。術直後 (POD1) の Ratio は基底核レベルでの大脳皮質の ROI の値の患側と健側の比である。術後 7 日目の Ratio は基底核レベルの大脳皮質と小脳比を術前後で比をとった。

#### Figure 1

A:ラベリング位置の設定方法。ラベリングはスラブ下部 2cm の部

位になるため狭窄遠位部から **6cm** 上方の位置で行う。軸椎下端とラベリングの位置関係を測定し患者固有の撮像位置を決定した。  
**B**: 頸椎ローカライズ画像のシーケンス。

#### Figure 2

ステント留置の影響でラベリングができず術後 **ASL** での評価が不可能であった **80** 歳、男性症例。 **A**: 術前 **ASL**、 **B**: 術翌日 **ASL** は **Autolabelling** 法で施行しラベリング位置がステント留置部分と重なったため評価不能であった。 **C**: 術前脳血管撮影で右内頸動脈起始部に高度狭窄、 **D**: 術後脳血管撮影で右内頸動脈狭窄改善。

#### Figure 3

**CAS** 周術期の **ASL** 評価が有効であった **65** 歳、女性。 **A**: 術前 **ASL**、 **B**: 術翌日 **ASL**。 **C**: 術前脳血管撮影で右内頸動脈起始部に高度狭窄を認める。 **D**: 術後脳血管撮影で内頸動脈狭窄は改善。

#### Figure 4

**CAS** 周術期の **ASL** により **HPS** の評価が可能であった **80** 歳、男性。 **A**: 術前 **ASL**、 **B**: 術翌日 **ASL**、 **C**: 術後 **7** 日目 **ASL**。 **D**: 術翌日頭部 **CT** にて右内包出血を認めた。 **E**: 術前脳血管撮影で右内頸動脈に高度狭窄を認める。 **F**: 術後脳血管撮影で内頸動脈狭窄は改善。

Table 1 CBF evaluation by ASL after CAS

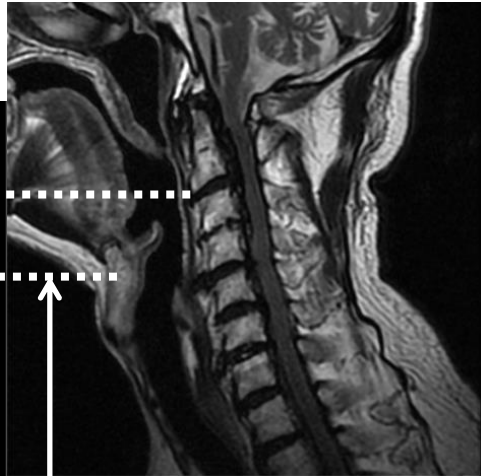
Case	Age	Gender	CBF compared between Ipsilateral (i) and contralateral (c) hemisphere						Change	HPS			
				Pre, ratio		Post (POD1), ratio		Post (POD7), ratio					
1	79	M	+	(i<c)	0.89	+	(i=c)	1.10	+	(i=c)	1.08	+	Not occurred
2	78	M	-	(i=c)	1.00	-	(i=c)	1.00	-	(i=c)	1.01	-	Not occurred
3	75	M	-	(i=c)	1.01	-	(i=c)	1.01	-	(i=c)	1.01	-	Not occurred
4	68	M	+	(i<c)	0.87	+	(i=c)	1.10	+	(i=c)	1.16	+	Not occurred
5	63	F	+	(i<c)	0.93	+	+(i>c)	1.25	+	(i=c)	1.18	+	Not occurred
6	65	F	+	(i<c)	0.87	++	(i>c)	1.40	+	(i=c)	1.10	+	Not occurred
7	72	M	-	(i=c)	1.00	-	(i=c)	1.07	-	(i=c)	0.99	-	Not occurred
8	63	F	+	(i<c)	0.90	+	(i=c)	1.18	+	(i=c)	1.02	+	Not occurred
9	65	F	+	(i<c)	0.98	+	(i=c)	1.12	+	(i=c)	1.08	+	Not occurred
10	79	M	+	(i<c)	0.79	+	+(i>c)	1.50	+	(i=c)	1.28	+	Hemorrhage
11	85	M	+	(i<c)	0.70	+	(i=c)	1.12	+	(i=c)	1.11	+	Not occurred
12	84	F	-	(i=c)	1.01	-	(i=c)	1.08	-	(i=c)	1.01	-	Not occurred
13	69	M	+	(i<c)	0.94	+	+(i>c)	1.20	+	(i=c)	1.16	+	Not occurred

CAS : carotid artery stenting, CBF : cerebral blood flow, ASL : arterial spin labeling, HPS : hyperperfusion syndrome

Figure 1

A

Anterior inferior extremity  
of the axis



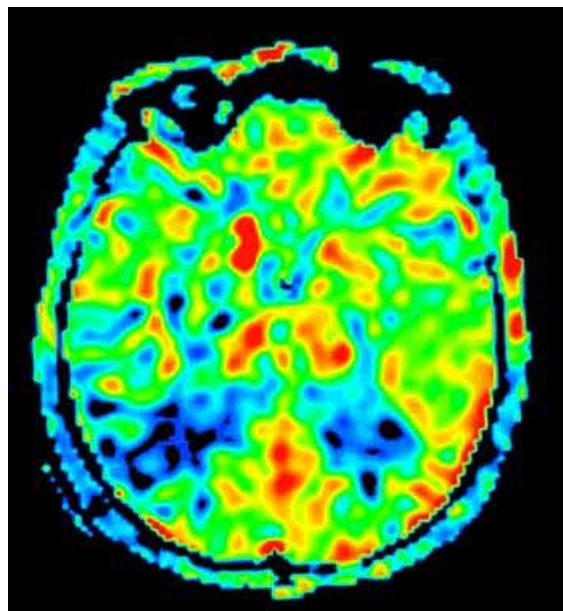
Distal portion of stenotic lesion

B

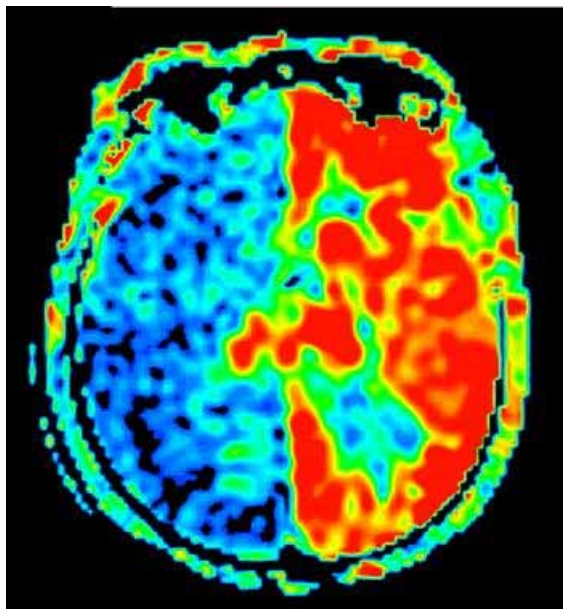
Pulse sequence	FRFSE – XL
Slice orientation	Sagittal
TR / TE (ms)	1160 (Auto) / 102
FOV (cm)	24
Slice thickness (mm)	5.0 / 1.0
Freq / Phase	256 / 192
Echo train length	24
NEX	3
BW (kHz)	31.25
Scan time (sec)	30

Figure 2

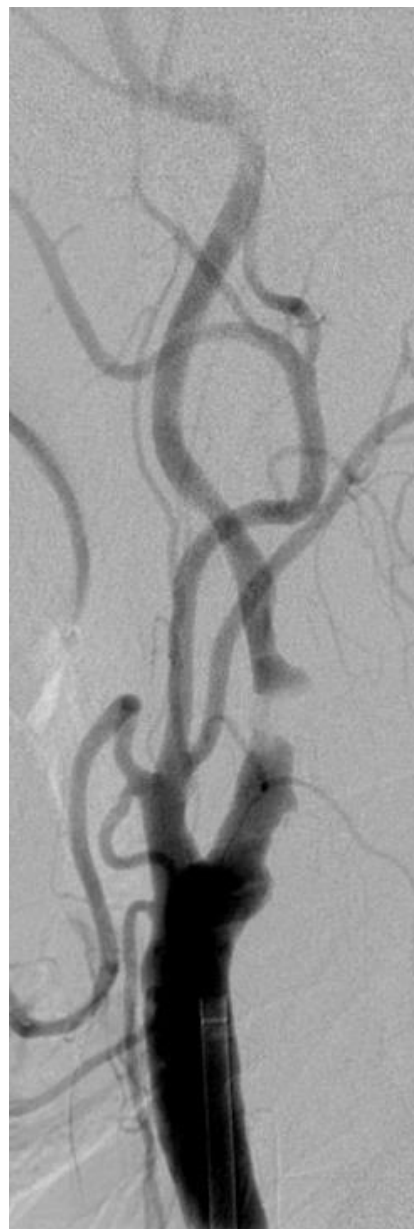
A



B



C

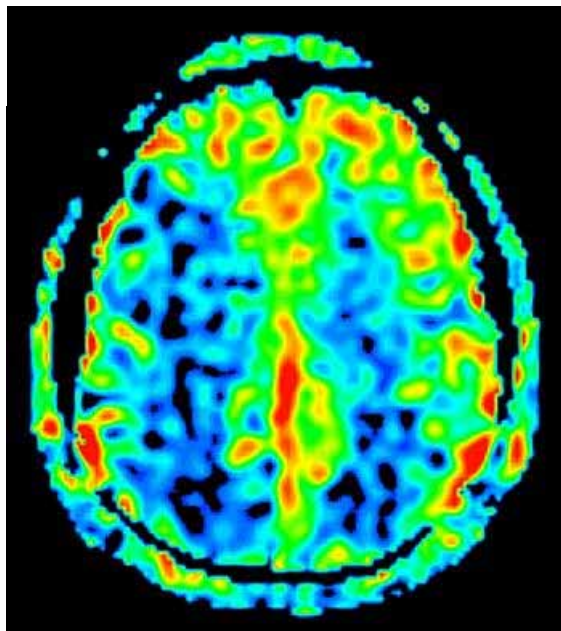


D

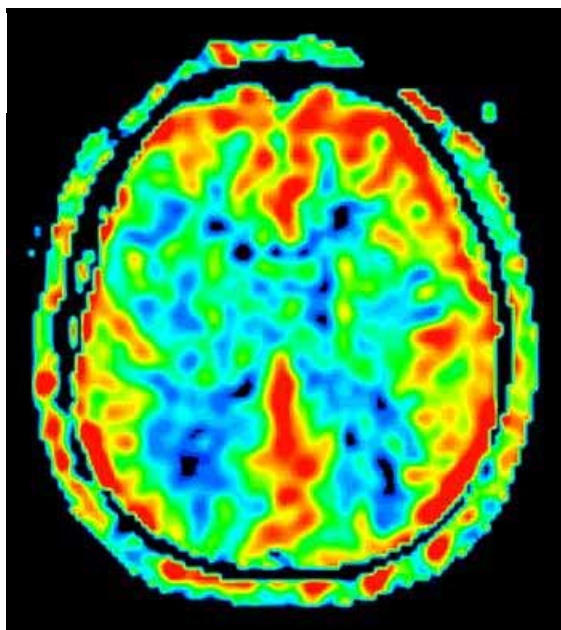


Figure 3

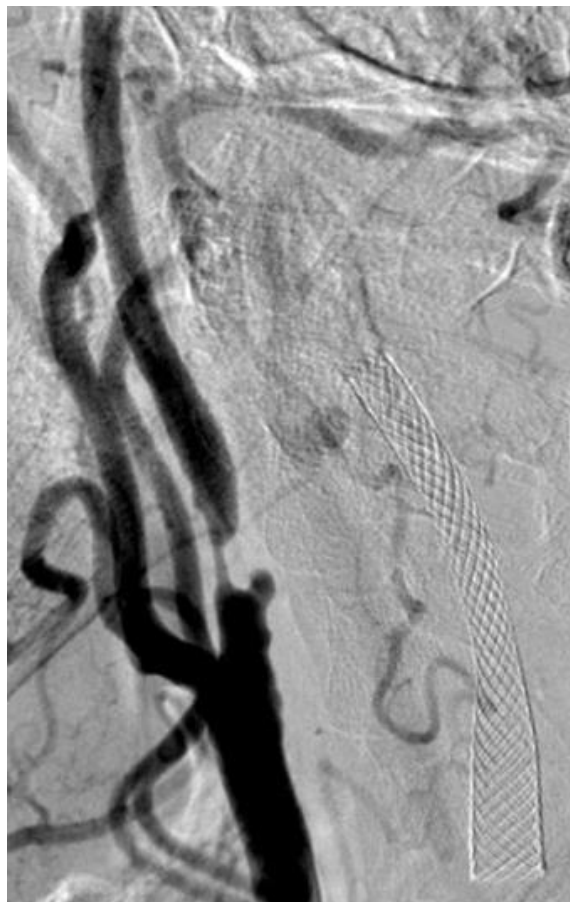
A



B



C

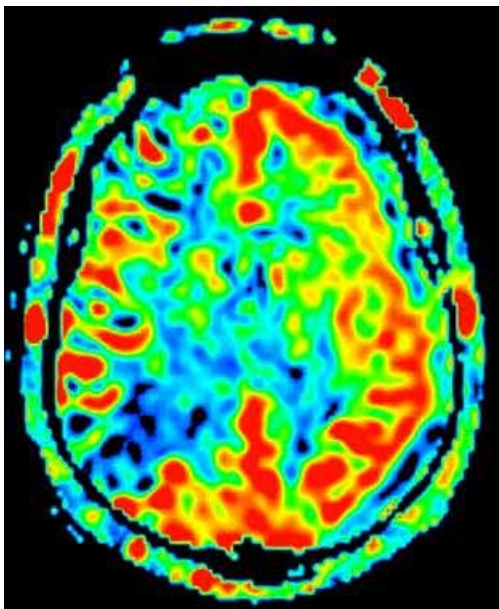


D

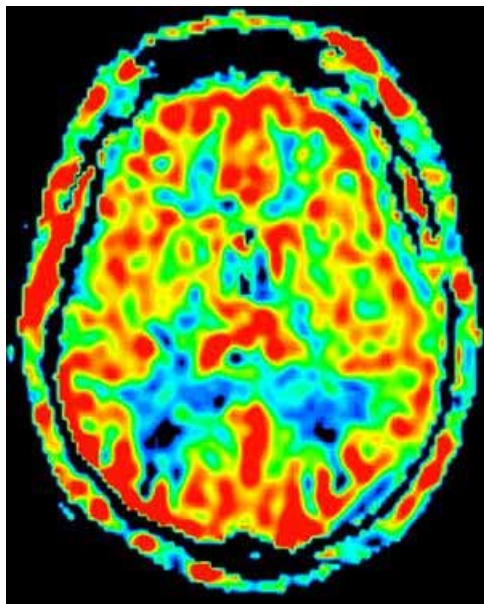


Figure 4

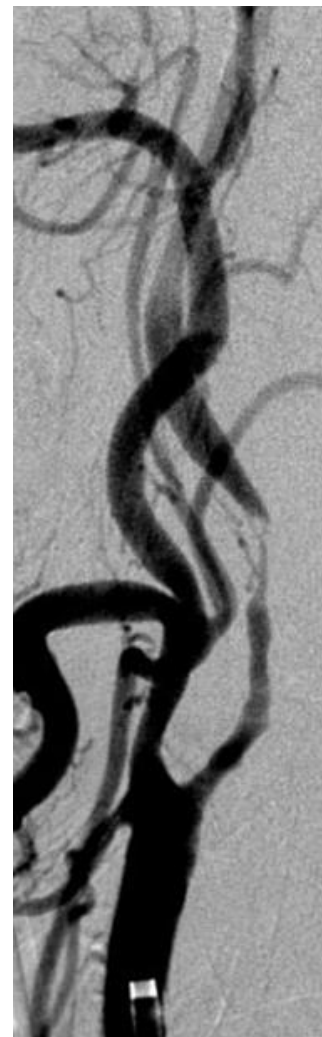
A



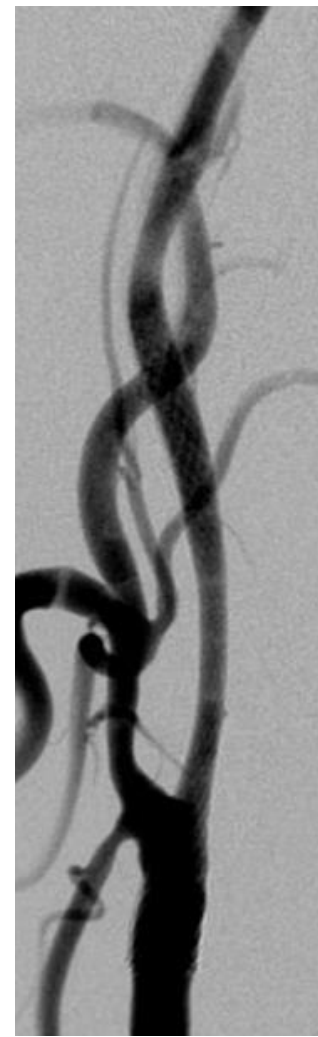
C



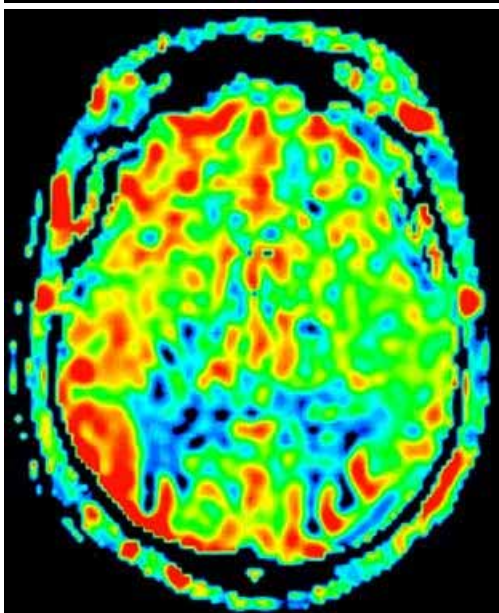
E



F



B



D

