

50%希釈造影剤を用いた大動脈弓部造影剤投与方法によるC-arm CTでの脳血液量評価

糸川 博 森谷匡雄 藤本道生 富田禎之 岡本紀善 菊地菜穂子 柴田憲男 阿波根朝光

Evaluation of the aortic arch injection method using 50% diluted-contrast medium for the measurement of cerebral blood volume with an angiographic C-arm system

Hiroshi ITOKAWA Masao MORIYA Michio FUJIMOTO Yoshiyuki TOMITA
Noriyoshi OKAMOTO Nahoko KIKUCHI Norio SHIBATA Asamitsu AWANE

Department of Neurosurgery, Kasai Shoikai Hospital

●Abstract●

Objective: Optimizing the contrast medium injection protocol used during cerebral blood volume (CBV) imaging by C-arm flat panel detector computed tomography (CT) is important in order to achieve good image quality and minimizing contrast medium dosage. The purpose of this study was to assess the feasibility of C-arm CBV obtained through aortic arch injection of 50% diluted contrast medium using a 4F diagnostic catheter positioned directly above the aortic valve.

Materials and Methods: There were 100 enrolled patients with 117 examinations in this study. The total amount of contrast medium used and the frequency of technical errors were measured. CBV values were evaluated in 23 cases with normal circulation.

Results: No complications occurred during the examination. C-arm CT measurement of CBV using the aortic arch injection method was technically successful and provided useful CBV information. However, technical errors occurred in six cases, resulting in significantly degraded CBV images. The mean amount of the contrast medium used was 46.0 ± 4.0 ml. In normal circulation cases, there were significant differences between the left and right hemispheres in the anterior and middle cerebral artery territory, but no significant differences in the posterior cerebral artery territories and basal ganglia.

Conclusion: Preliminary results indicate that C-arm CBV maps are feasible using aortic-arch injection of 50% diluted contrast medium, with the advantage of lowering the contrast dosage requirement below that for injection of undiluted contrast medium. C-arm CBV imaging after injection with 50% diluted contrast medium may provide clinically useful information for patient management.

●Key Words●

angiography, C-arm CT, cerebral blood volume, contrast medium, neuro-parenchymal blood volume (Neuro PBV)

葛西昌医会病院 脳神経外科

<連絡先: 糸川 博 〒134-8678 東京都江戸川区東葛西6-30-3 E-mail: itokawa@tc4.so-net.ne.jp>

(Received March 26, 2013 : Accepted August 29, 2013)

緒言

フラットパネルディテクターやC-arm機能といった血管撮影装置自体の発達とともに、得られた画像情報を活用するワークステーションも発展したことで、血管撮影装置を用いた血管構築の3次元情報や、C-arm computed tomography (CT)を用いた頭蓋内組織情報の評価が可能になった。さらにこうした形態学的評価に

加えて、新たに Neuro-parenchymal blood volume (Neuro PBV) と称されるアプリケーションが開発され、脳循環情報である脳血液量 (cerebral blood volume ; CBV) も獲得できるようになった。Neuro PBVは、マスク撮影 (mask run) と造影剤投与下で行う本撮影 (fill run) の2回のC-arm CT撮影を行い、この2回の撮影間の脳実質内での造影剤濃度分布の差をCBVの計測に反映させている。開発段階からの報告は現在までのところ少なく、

臨床例での撮影方法や活用方法はいまだ検討段階である。特に fill run を行う際に必要となる造影剤の投与方法については、これまでの CT perfusion (CTP) と同様に無希釈の造影剤を末梢静脈から投与方法 (経静脈的造影剤投与方法: bolus watching 法) が報告されてきたが^{1,3,8,10)}, この方法では無希釈の造影剤を使用するため、検査に必要な造影剤量が多くなり、脳血管撮影と同時に検査としては問題も多い。一方で、経動脈的に造影剤を注入して行う方法も検討されており^{5,7,9,11)}, この場合は肺や全身循環での造影剤の希釈の影響を抑えられることが期待できるため、用いる造影剤をあらかじめ希釈して用いることができると報告され^{1,3)}, 使用する造影剤の減量が期待できる。本検査は脳血管撮影とともに行うものであることから、使用する造影剤は安全面においてもコスト面においても極力少ない方が望ましい。そこで我々は撮影手順を検討して、大動脈弁直近の上行大動

脈に留置した通常の 4Fr 診断用カテーテルから、生理食塩水で希釈した造影剤を投与方法 (aortic arch injection 法; AA 法) を模索して実践してきた。今回、これまでに AA 法で施行してきた Neuro PBV のデータを解析して、その手技を検証し、検査方法の妥当性や問題点について検討したので報告する。

対象と方法

脳血管撮影および Neuro PBV の施行にあたっては、当院の倫理委員会で承認を得た後、患者あるいはその家族に対して、検査前に十分に説明して同意を得て行った。

1. 対象

2011 年 2 月から 2012 年 4 月までの期間に AA 法で Neuro PBV を施行した 100 症例、計 117 回の検査を対象とした。症例の内訳を Table 1 に示す。男性 57 例、女性 43 例で、平均年齢は 66.5 ± 12.3 歳であった。脳血

Table 1 Patient characteristics

Case	100
Number of examination	117
Gender	male: 57, female: 43
Patient age (year)	66.5 ± 12.3
Approach route	
Femoral	35
Brachial/Radial	82
Diagnosis	
Aneurysm (incidental)	18
SAH	4
AVM	1
Ischemic disease	
Cerebral infarction (acute state)	
cardiogenic	7
atheroma	29
lacuna	5
Non-symptomatic	
Intracranial lesion	
stenosis	8
occlusion	7
Cervical lesion	
stenosis	9
occlusion	1
After CAS procedure	17
Others	
Meningioma	5
Glioma	2
Epilepsy	1
Sinus thrombosis	2
Subclavian steal	1

AVM: arteriovenous malformation, CAS: carotid artery stenting, SAH: subarachnoid hemorrhage

管撮影は、経橈骨動脈、経上腕動脈経由で行ったものが82例、経大腿動脈経由で行ったものが35例であった。

2. 方法

1) 方法1

全検査における手技的成功、テクニカルエラーの形態、scan delay time および造影剤使用量を検討した。さらにNeuro PBV以外の脳血管撮影手技に要した造影剤使用量についても検討した。

2) 方法2

Aortic arch injection法の妥当性と問題点を評価するため、検査を行った100症例のうち頸部および頭蓋内の主幹動脈に狭窄や閉塞を認めず、頭蓋内血行動態が安定していると考えられた未破裂脳動脈瘤および髄膜腫の23例について、得られたCBV値ならびに半球間での左右差の有無についてStudent t検定による統計学的解析を行った。

3) 方法3

これまでに我々が行ってきたNeuro PBVの代表的使用例を呈示する。

撮影方法

血管撮影装置はバイプレーン・フラットパネル型装置(Artis zee BA; Siemens AG, Forchheim, Germany)を用い、併設されたワークステーション(syngo XWP VB 15D; Siemens AG)を使用して撮影データの解析を行った。Neuro PBVはmask runと、scan delay timeをおいた後に造影剤注入下で行うfill runの計2回のC-arm CT撮影を要する。各々のC-arm CT撮影は、管電圧70 kV、管電流460 mA、200°回転、撮影フレーム数60 frame/秒、計397 frame、撮影時間8秒間で行った。われわれの方法ではNeuro PBVの施行にあたって、脳血管撮影に用いる4Fr診断用カテーテルをそのまま用いるため、使用したカテーテルは経橈骨動脈、経上腕動脈経由の場合はシモンズタイプ(CXカテーテル; カテックス, 神奈川)、経大腿動脈経由の場合はJBタイプ(CXカテーテル; カテックス)のものを用いた。各々のカテーテルは、透視下に大動脈弁の近傍に先端が位置するように調整して留置した。撮影の手順をFig. 1に示す。患者の頭部は、血管撮影台に併設されているカーボン製の頭部台に乗せ、側面にスポンジ性のパットを当てて左右への動きを減じたうえで、前額部をマジックテープで固定する方法で行った。まず適切なscan delay timeを

決定するためにテスト撮影を行った。撮影の際の詳細な設定手順は以前報告した⁷⁾。バイプレーンのフラットパネルのうち、正面のパネルは広い撮影視野に設定して、大動脈弁直上に留置してあるカテーテルの先端から頭蓋内までを確認できるように設定した。また側面のパネルは、頭蓋内内頸動脈と静脈洞交会がともに確認できる位置に設定した。造影剤の投与は、パワーインジェクターを用いて注入速度5 mL/sec、注入量10 mLで、生理食塩水で50%に希釈した300 mg I/mLの非イオン性ヨード造影剤(イオメロン300; エーザイ, 東京)を用いて行った。正面の撮影においてカテーテル先端の造影剤が確認できた時間をT0とし、さらに側面の画像において静脈洞交会が最も強く造影される時間をTvとした。静脈洞交会が造影されるTvまでの時間には、確実に脳組織に造影剤が分布しているものと推定されることから、撮影時間が確実にこのタイミングを含むように、この(Tv-T0)をscan delay timeとした。なお正面撮影にて頭蓋内循環に左右差が認められた場合には、fill runの撮影開始が早すぎると、血流が遅延する側で脳組織での造影剤分布が不十分となり、計測されるCBV値が低値となる可能性が危惧されるため、テスト撮影で循環の遅延が確認された場合にはscan delay timeに遅延している時間を加味した。続いてmask runを行い、C-armのバックローテーションを行ってから、造影剤の注入を開始して、設定したscan delay timeの後にfill runを行った。造影剤の注入については、パワーインジェクターを用いて、テスト撮影と同様の50%希釈造影剤を5 mL/secのスピードでfill run終了までの間持続注入した。

画像作成および評価方法

Neuro PBVでは、得られるデータがボリウムデータであるため、水平断、前額断、矢状断の任意の断面でCBV mapを作成することができる。今回の解析においては水平断の画像を用い、正常灌流症例23例においては前・中・後大脳動脈領域、基底核領域において、皮質および白質をともに含むようにそれぞれ複数の関心領域(region of interest; ROI)を設定し、血管支配領域ごとにROIから得られたCBV値を平均して評価した。

結果

1. 結果1

検査に伴う合併症はなく、AA法を用いた一定した手

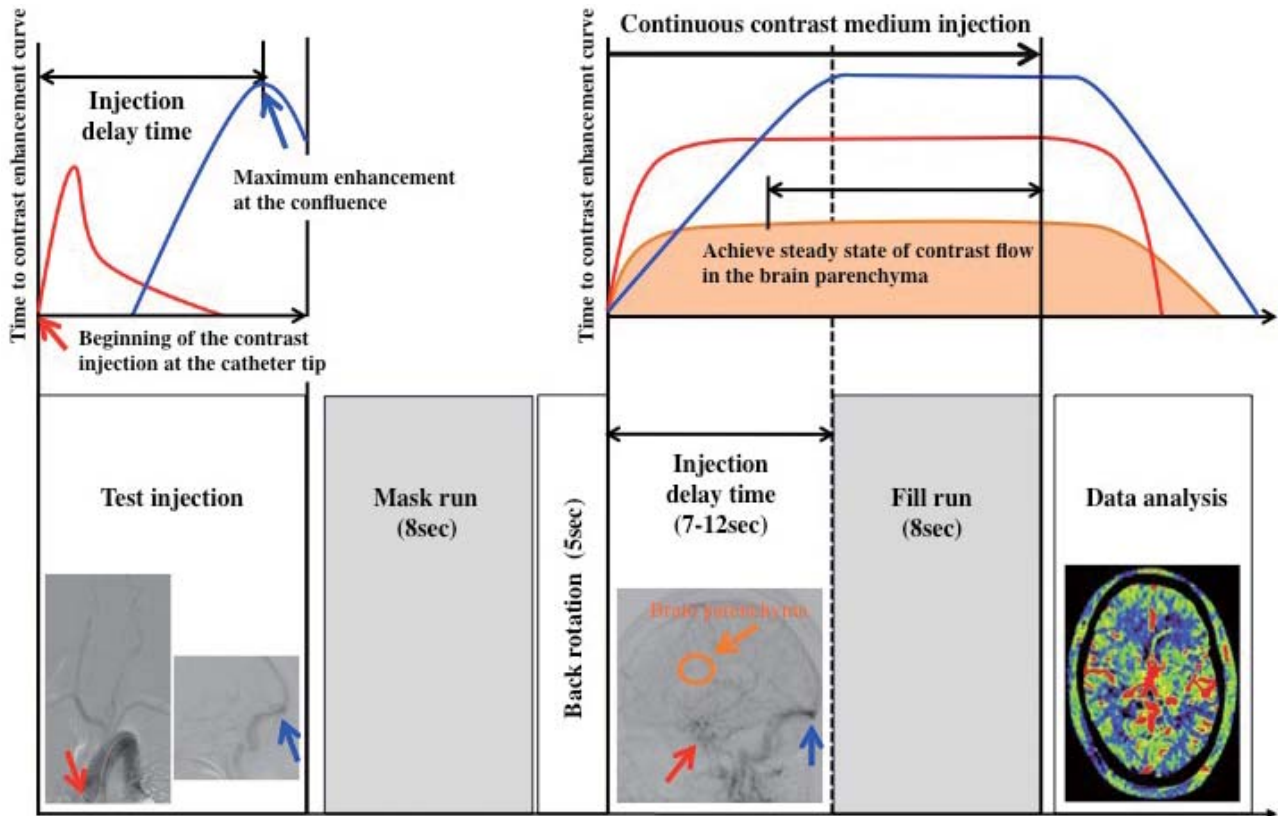


Fig. 1 The technical process of Neuro parenchymal blood volume (PBV) image acquisition withafter aortic arch injection. C-arm cerebral blood volume (CBV) requires 2 rotational acquisitions; the first without contrast injection, and the second with a delay after the start of contrast injection. Red arrow: artery, blue arrow: vein, orange arrow and circle: brain parenchyma.

技の下でCBVマップを得ることが可能であった。手技的成功は94.9%で得られたが、3件(2.6%)で体動によるモーションアーチファクトが発生し、3件(2.6%)でカテーテルの移動による片側撮影となった (Table 2, Fig. 2) Neuro PBVに使用した造影剤量は、scan delay timeを決めるテスト撮影も含めて平均 46.0 ± 4.0 mLであった。Scan delay timeは 8.3 ± 1.5 秒であり、総検査時間は平均 29.5 ± 1.5 秒であった。また、Neuro PBV以外の脳血管撮影に要した造影剤使用量は平均 72.1 ± 25.0 mLであった (Table 2)。

2. 結果 2

正常灌流部における Neuro PBV-CBV 値 (mL/100 mL) は、前大脳動脈 (anterior cerebral artery ; ACA) 領域 (右 3.0 ± 0.6 , 左 2.8 ± 0.5)、中大脳動脈 (middle cerebral artery ; MCA) 領域 (右 3.5 ± 0.6 , 左 3.3 ± 0.6)、後大脳動脈 (posterior cerebral artery ; PCA) 領域 (右 3.4 ± 0.7 , 左 3.3 ± 0.6)、基底核 (basal ganglia ;

BG) 領域 (右 3.4 ± 0.7 , 左 3.3 ± 0.6) であった。Student t 検定では、ACA 領域および MCA 領域において左右半球間で有意差を認めて左側で低値であったが、PCA 領域および BG 領域では有意差は認めなかった (Table 3)。

Fig. 3 および Fig. 4 に代表例を提示する。左右頸動脈分岐部や頭蓋内主幹動脈に狭窄のない症例においても、Fig. 3 のように CTP 画像と同様に左右差のない良好な CBV map が得られる例と、Fig. 4 に示すように左 ACA および MCA 領域で CTP 画像とは異なり CBV が低値を示す症例が認められた。両者の間で、カテーテルの留置状態や血管撮影上の頭蓋内血管の描出状態に明らかな相違は認めなかった。このような左 ACA ならびに MCA 領域において CBV 値が低く検出された症例は、ACA 領域では 23 例中 9 例 (39.1%)、MCA 領域では 7 例 (30.4%) に認められた。

Table 2 Demographic and imaging data

Total case of Neuro PBV examination	117
Technical error	
motion artifact	3 (2.6%)
catheter malposition	3 (2.6%)
Scan delay time (sec)	8.26 ± 1.46
Total examination time (sec)	29.5 ± 1.5
Total amount of contrast medium (ml)	
Neuro PBV	46.0 ± 4.0
conventional angiography	72.1 ± 25.0

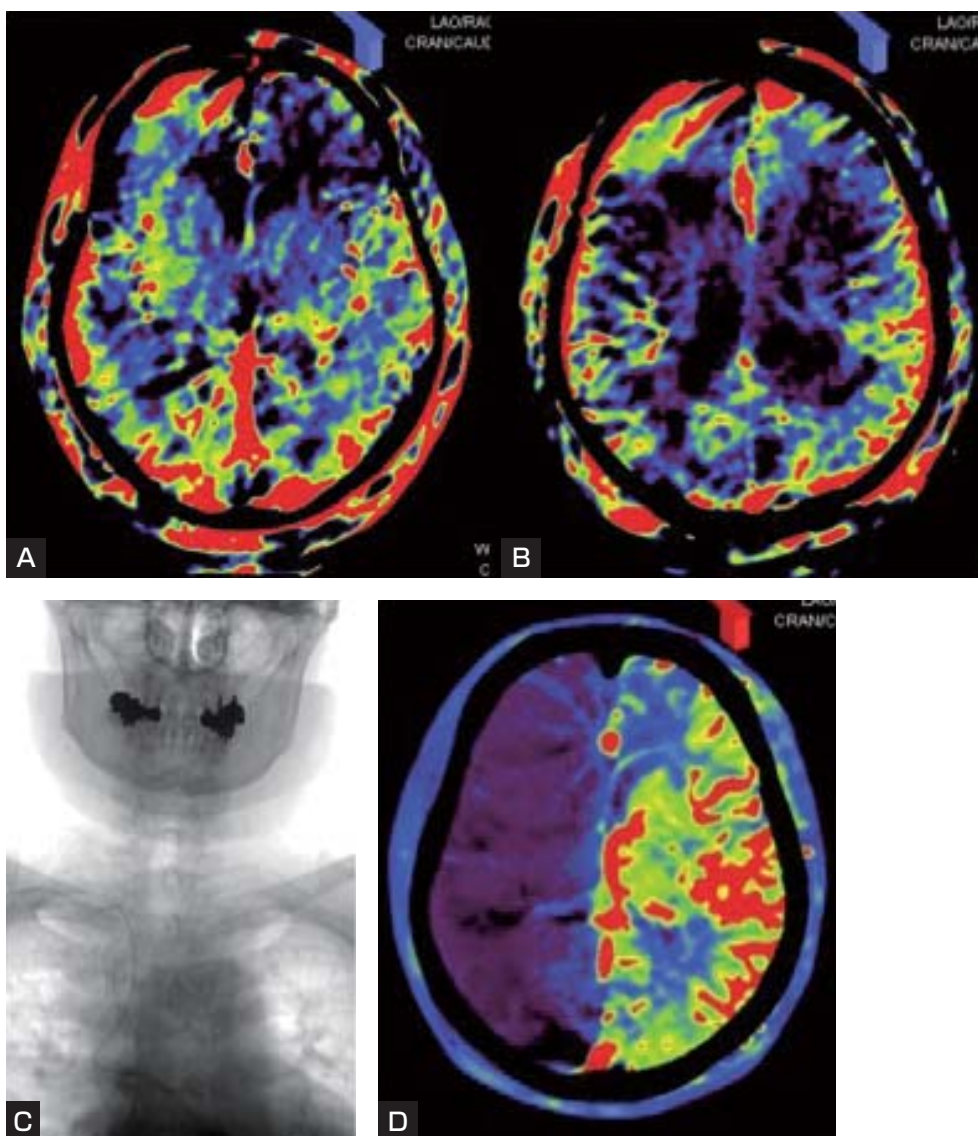


Fig. 2

Motion artifacts significantly degrade the perfusion images (A, B). An example of highly asymmetrical CBV maps due to catheter malposition. The anteroposterior view of the aortic arch and bilateral carotid artery obtained during test acquisition with introduction of a 4F Simmons type diagnostic catheter (C). The CBV map show remarkably low CBV values on the right side, which is devoid of contrast medium (D).

Table 3 Neuro PBV and CBV values in cases of normal circulation (n=23)

		CBV value (ml/100g)	p value (right vs. left)
ACA	right	2.95 ± 0.45	0.003*
	left	2.67 ± 0.47	
MCA	right	3.53 ± 0.51	0.003*
	left	3.19 ± 0.47	
PCA	right	3.36 ± 0.51	0.337
	left	3.22 ± 0.47	
Basal Ganglia	right	3.35 ± 0.53	0.498
	left	3.31 ± 0.52	

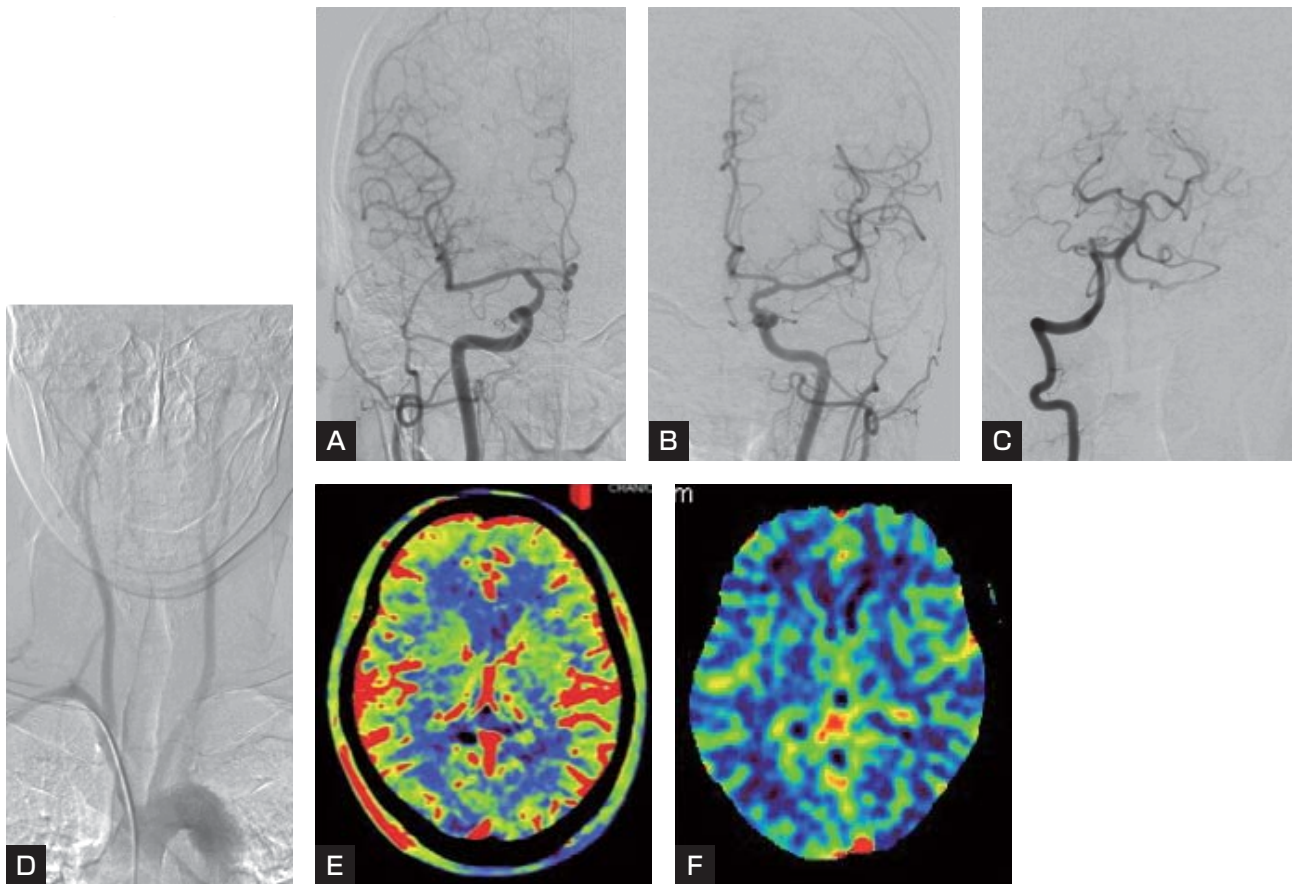


Fig. 3

Clinical case of normal circulation. A 66-year-old woman with unruptured aneurysm. The anterior-posterior views of the right (A) and left (B) common carotid angiograms show normal circulation, and the right vertebral angiogram also shows normal circulation (C). The anteroposterior view of aortic arch and bilateral carotid artery were set to a wide field of view (D). Axial CBV image obtained with Neuro PBV (E) and CT perfusion (CTP) image (F) are highly symmetrical across cerebral hemispheres.

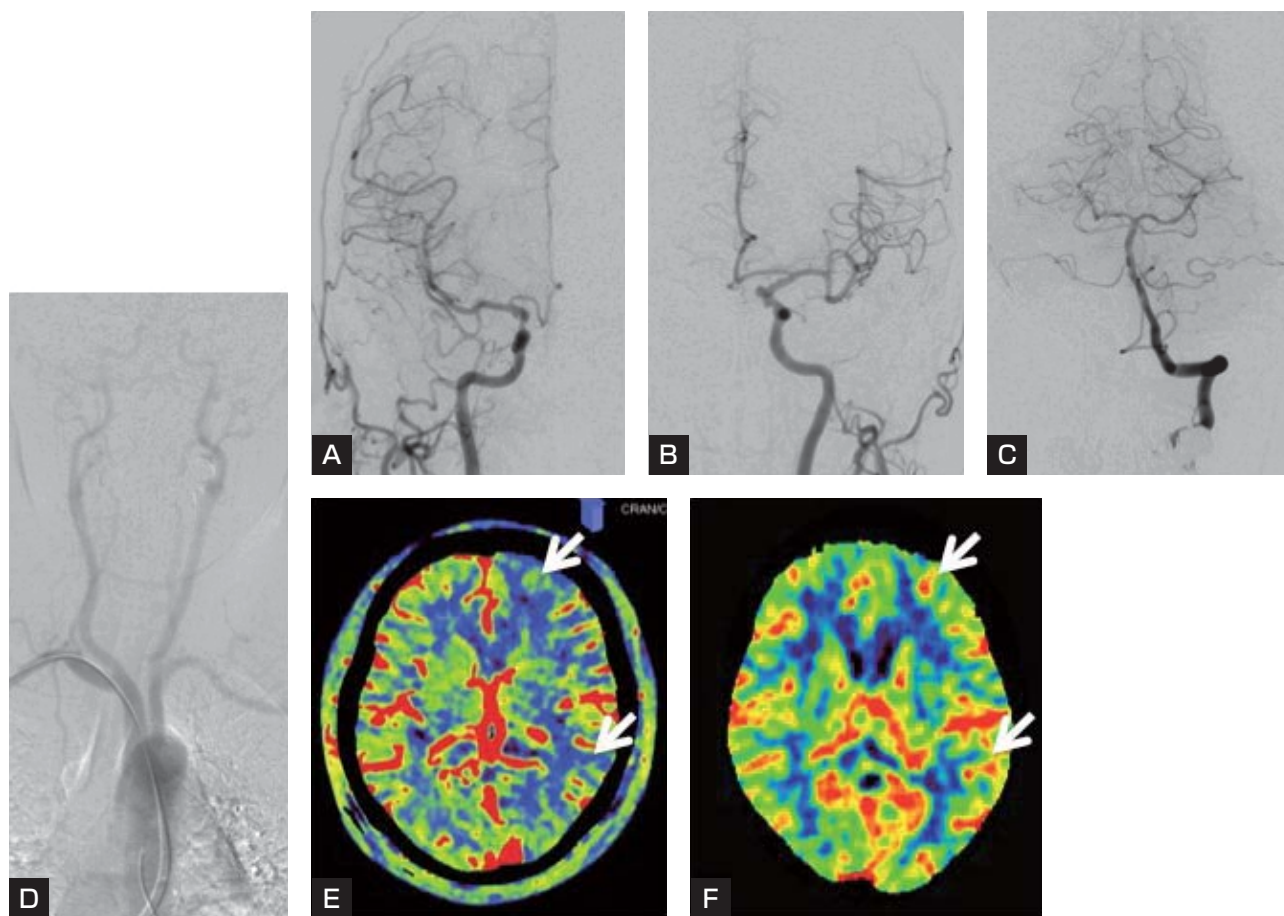


Fig. 4

A case of decreased CBV value in the left anterior cerebral artery and middle cerebral artery territory of a 68-year-old woman with unruptured aneurysm. The anterior-posterior views of the right (A) and left (B) common carotid angiograms show normal circulation, and the left vertebral angiogram also shows normal circulation (C). The anteroposterior view of aortic arch and bilateral carotid artery were set to a wide field of view (D). An axial image acquired with the Neuro PBV image acquisition protocol show decreased CBV in the left frontal and parietal cerebral hemisphere (E). However, the CBV map obtained with CT perfusion (CTP) shows symmetry across cerebral hemispheres.

3. 結果 3

代表的使用例を呈示する。72歳、女性。高血圧および高脂血症に対して服薬治療を行っていたが、経過観察中に行ってきた頸動脈エコーにおいて、右頸部内頸動脈狭窄の進行が認められたことから、頸動脈ステント留置術 (carotid artery stenting; CAS) を施行した。治療前の血管撮影では、右頸部内頸動脈に80%の狭窄を認めたが (Fig. 5A), この際に施行した Neuro PBV では、CBV 値に左右差は認めなかった (Fig. 5B, C)。全身麻酔下にフィルタープロテクションを行って CAS を施行した (Fig. 5D)。治療後の Neuro PBV では治療前の画像と比較において、明らかな CBV 値の変化が認められなかったことから (Fig. 5E, F), 全身麻酔から覚醒さ

せて血圧管理のみを行い、術後新たな神経脱落症状の出現なく経過した。

考 察

我々は、Neuro PBV をあくまで脳血管撮影中、あるいは脳血管内手術中に行う補助検査と位置づけて考えている。そのため本検査を導入する上では、通常の造影剤使用量の範囲内で検査を施行できること、検査による被曝を含めた患者への影響を最小限に抑えること、この検査のためだけのコスト増を防ぐことを目標として検査プロトコルを検討した。一般に脳循環情報を得るためには、single photon emission computed tomography (SPECT) や positron emission tomography (PET) など

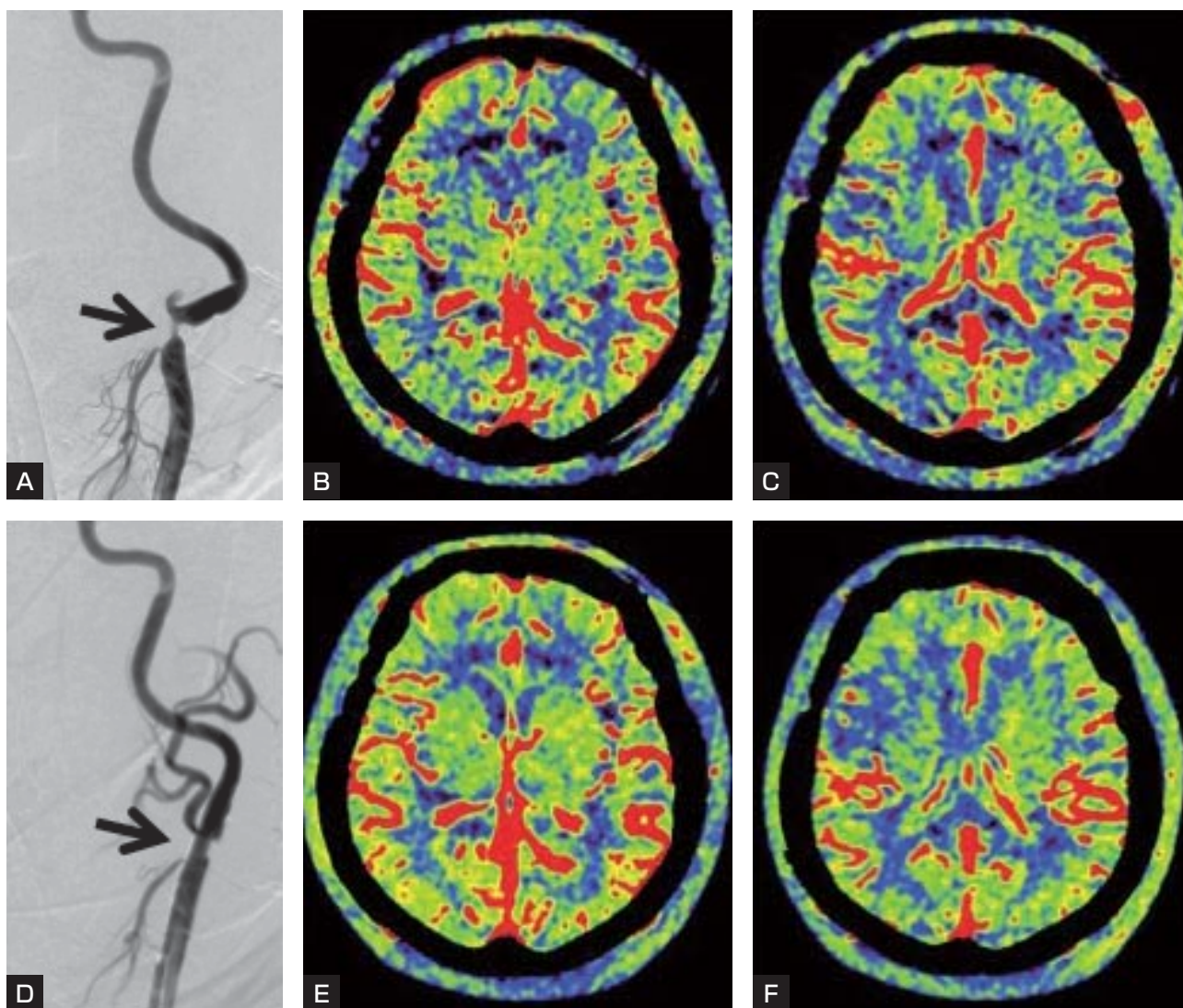


Fig. 5
 A 72-year-old woman with a history of progressing right carotid artery stenosis. Right common carotid angiography shows severe stenosis at the site of the distal cervical internal carotid artery (ICA) bifurcation (A). Cerebral blood volume (CBV) mapping with the Neuro PBV before carotid artery stenting (CAS) (B, C). ICA stenosis is improved after CAS (D). No significant change occurs in the CBV value after CAS (E, F).

他のモダリティを用いることで脳血流量 (cerebral blood flow ; CBF) や循環予備能, 脳酸素代謝量といった定量情報を得ることができる。また Neuro PBV と同じく造影剤を使用する方法としては CTP があり, 定量性は低いものの CBV や CBF のほかに平均通過時間も計測可能であり, 血管撮影装置に CT を併設する施設においては, 血管撮影中も CTP を施行することで脳循環情報を得ることが可能である⁶⁾。Neuro PBV では CBV という単一の循環パラメータしか獲得できないが, 血管撮影装置自体で検査を遂行できるため, この検査の優位

性は脳血管撮影中あるいは脳血管内手術中に, 患者の移動も検査装置の切り替えも必要とならずに施行できる点にあるものと思われる。我々はこれまで Neuro PBV の撮影方法を模索しながら, 特に急性期主幹動脈閉塞例の治療適応の検討や血管内治療時の虚血性合併症の検出, CAS などに対して臨床応用を試みてきた。急性期主幹動脈閉塞症例では, 意識障害が強く, 本検査のように撮影時間が長い検査では施行困難な症例もあると思われるが, 我々が先に報告したように, 虚血の範囲や程度を把握したり, 再開通治療前後での CBV 値の変化を評価し

たりする上で有用な手段と思われる⁷⁾。また、森谷らが報告したようにCAS術中のfilter閉塞に際して遠位塞栓が疑われた場合や⁹⁾、他の手技中に生じた遠位塞栓においても、その影響を早急に判断する手段として有用と考えられる。さらに、我々は全身麻酔下でCASを行っているが、術前と術直後に施行したNeuro PBVでのCBV値の変化を比較して、それに著明な変化が認められない場合には全身麻酔から覚醒させて血圧管理のみを行い、CBV値に著明な上昇が認められた場合には、過灌流予防の観点から、そのまま麻酔を維持して管理を行うという術後管理への判断材料の一助として用いている。

今回の検討における100症例、計117件では、検査に伴う合併症は経験せず、一定した手技のもとでCBVマップを得ることができたと考えている。我々がNeuro PBVを導入するにあたってAA法を選択した最大の理由は、使用する造影剤量を減じるためであるが、これまでAA法での詳細な検討はなされていないため、今回採用した検査プロトコルは、これまでに報告された経静脈的造影剤投与方法で用いられたプロトコルを参考にし我々が検討してきたものである。この検査プロトコルを確立させていくにあたり、造影剤の濃度については、AhmedやBleyらが報告の中で、経動脈的に造影剤を投与する場合には、全身での造影剤の希釈の影響が少なく、使用する造影剤を減じることができると述べており¹³⁾、まずは経静脈的投与で行われたパイロットスタディでの造影剤使用量を半量にすることを目標として50%希釈とすることとした。投与スピードについては、パイロットスタディを参考にして5 mL/secとして行うこととした^{1,3,8,10)}。最も重要と考えられるのが、造影剤の投与ルートとしてのカテーテルの留置位置と種類である。本法のように大動脈弓部領域で造影剤を投与する場合には、たとえカテーテルを大動脈弁直上に留置したとしても、右腕頭動脈と左総頸動脈の大動脈弓部からの分岐状態や、両者の間の距離、さらにカテーテルを留置する上行大動脈の長さにもバリエーションが多いため、心拍による拍動流や血管分岐状態に起因する層流などの影響により、左右総頸動脈での造影剤の分布状態に差が生じる可能性が否定できない。左右総頸動脈で造影剤の分布に差が生じないようにするための方法としては、GangulyらがC-arm CTを用いたCBF測定の記事で、pig-tail catheterを用いて何度かaortaでの造影を行い、左右の総頸動脈が同時に描出される位置を症例ごとに特

定してカテーテルの留置位置を決める方法を述べている⁵⁾。さらにFieselmannらは、左右総頸動脈での造影剤濃度の自動解析法を報告しており、この方法で特定した適切なカテーテル位置で造影剤の注入を行えば、左右総頸動脈での造影剤濃度の差は10%以内になると述べていることから、症例ごとの至適カテーテル位置を同定する上で有用な方法と考えられる⁴⁾。しかしながらGangulyやFieselmannらの検討は、いずれも大動脈弓頂部で右腕頭動脈と左総頸動脈の分岐の中央付近にカテーテルを留置して検査を行っており、これらは個体差の少ない動物実験での検討であるため、直ちに臨床応用できるものではない。実際の臨床例では、適切なカテーテル位置を特定するために複数回の確認撮影が必要であり、使用する造影剤量および患者被曝量の増加が懸念される。また、先に述べたバリエーションのほかにも、動脈硬化性変化による血管の屈曲や蛇行の影響が加わり、血管自体の長さや分岐位置にも変化が生じるため、常に安定した状態でカテーテルを留置して検査を行うことは困難が予想される。そこで、できるだけ心臓に近い位置で造影剤を投与した方が、その後の造影剤の分布に均一性が得られるのではないかと考え、カテーテルは可及的に大動脈弁の近傍に留置することとした。検査に使用するカテーテルについては、通常の撮影用カテーテルでなくpig-tail catheterを使用した報告があるが^{8,10,11)}、投与レートだけを考えれば、Neuro PBVでは低流量で持続的な造影剤投与を行うことから、耐圧1050 psiという高フローレートに対応したpig-tail catheterは必ずしも必要ではなく、耐圧600 psiの通常の診断カテーテルでも十分に施行可能である。また、この検査のためだけに新たにカテーテルを用意することはコスト増の原因ともなるため、検査にあたっては血管撮影に使用するカテーテルをそのまま使用する方法を採用した。しかしながら、pig-tail catheterの場合、カテーテル先端の動きが少なく、さらにカテーテル先端付近での造影剤の均一性が得られやすいという利点があり、この点で通常の診断用カテーテルを用いた我々の方法では投与する造影剤の分布に偏りが生じやすい可能性があるのは否定できないと考えている。

このような考えのもとに検査プロトコルを検討してきたが、今回の検討の中では、撮影中の体動によるモーションアーチファクトと、造影剤投与中にカテーテルの移動により片側撮影となった例が存在したこと、および

CBVの評価においては、左ACAおよびMCA領域でのCBV計測値が低値となる傾向があることが問題となった。まず、モーションアーチファクトについては、3件(2.6%)で経験された。検査時間が平均 29.5 ± 1.5 秒と長いと、避けられない問題のひとつではあるが、CTPやSPECTなどでも同程度あるいはそれ以上の検査時間を要するため、本検査が格段に長い時間を要するものではない。その上で他検査に比べて本検査に特徴的なのは、2回のC-arm CT撮影のデータをサブトラクションして、CBVの計測および画像の作成に反映させることから、2回の撮影間における頭位のずれがアーチファクトの発生要因のひとつになることが挙げられる。体動が問題となった3例は、意識障害が強い急性期脳主幹動脈閉塞の症例と、強い認知症状を有する不穏症例であったが、意識障害のない症例を対象とした通常の診断撮影時や、全身麻酔下での脳血管内治療の場合で問題となった症例はなく、通常程度の安静を保つことができる症例においては施行可能な検査と考えている。しかしながら、不穏症例や認知症例の場合には、パットとバンドによる頭部の固定だけでなく、荒木らが報告しているような陰圧式固定具などを使用することも考慮する必要があると考えられた²⁾。次に片側撮影の問題であるが、これも3件(2.6%)で経験され、Fig. 3に示した通り、いずれも経橈骨動脈的にシモンズタイプのカテーテルを用いた場合に起こっていた。カテーテルはややたわませるようにゆとりを持たせて留置し、造影剤投与時にカテーテルに圧がかかっても動きにくいように配慮しているが、これら3例では造影剤投与中にカテーテルを引いてしまったか、造影剤の投与とともにカテーテルに圧がかかり、それによってカテーテルが跳ねて右腕頭動脈あるいは左総頸動脈にカテーテルが挿入されてしまったものと思われた。シモンズタイプというカテーテル形状に問題がある可能性もあるが、カテーテルの留置状態や固定方法についての配慮やpig-tail catheterの使用についても考慮する必要があると考えられた。

今回の検討での最大の問題は、正常に灌流されていると考えられた領域でのNeuro PBV-CBV値が、右側と比較して左ACAおよびMCA領域で低値を示したことであり、ACA領域では39.1%、MCA領域では30.4%の症例でこの傾向が認められた。Neuro PBVではfill runの際に正常な灌流状態で左右均一に造影剤の分布が得られれば、測定されるCBV値に左右差は生じないはずであ

るため、今回の結果を見る限り、現状の方法にはいまだ多くの検討項目が残されていることが示唆された。これまでの報告のように経静脈的に造影剤を投与する場合には、投与された造影剤は一度肺循環を経るため、心臓から造影剤が拍出される段階では血中でのミキシングにより、相当程度の均一性が確保できているものと思われる。一方で経動脈的に投与される場合は、造影剤は心臓から拍出された後の血中に直接投与されるため、血中でのミキシングが得られにくく拍動流や層流の影響を受けやすくなるものと思われ、これがFig. 4で示したような左側でのCBV値の低下の一因になっているものと考えられる。これを改善させる方法のひとつに造影剤の投与レートが考えられ、投与スピードを上げてよりボーラス性を高めることで、血中での造影剤のミキシングが得られやすくなるとする報告があり⁵⁾、今後の検討課題と考えているが、この場合には投与される造影剤量も増加するため、希釈率を上げて総量が増えないようにする配慮が必要と思われる。しかしながら、現状の方法を用いても、CBV mapに現れる変化は大きなものではないため、個々の症例における評価は十分に可能と考えられる。その上で現状のAA法で検査を施行する場合には、左大脳半球での評価に対しては若干CBV値が低値となることを念頭に置き、MRIやCTなどのモダリティから得られる情報も参考にして検討することが重要である。

今後の課題として、さらなる造影剤と放射線量の減量という課題があるが、これについては今回の検討で得られたscan delay timeが平均 8.3 ± 1.5 秒であり、おおむね9秒を目安にfill runを行えば、今後テスト撮影を省略し、その分の造影剤使用量および放射線被曝量を減じることが可能と考えられる。また、今回の検討で試みた50%という造影剤濃度は絶対的なものではなく、さらに濃度を減じて検査を行うことも可能と考えている。

結 語

50%希釈造影剤を用いたaortic arch injection法によるC-arm CTでの脳血液量計測(Neuro PBV)は、これまでに提唱されている方法に比べて、使用する造影剤量を減じることが可能であった。しかしながら、得られたCBV計測値は左ACAおよびMCA領域で低値を示したことから、現状での方法論にまだ多くの検討項目が残されているものと考えられた。現状ではC-Arm CTから得られる循環情報はCBV情報のみに限られるが、

血管撮影や血管内治療中に情報が得られるメリットも多く、今後有用なツールの一つになることが期待された。

〈謝辞〉

本研究を行うにあたってご協力を頂いたシーメンス・ジャパン株式会社の Ashraf Mohamed 氏、新井田紀光氏をはじめ、当院放射線部の方々に御礼申し上げます。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態は存在しない。

文 献

- 1) Ahmed AS, Zellerhoff M, Strother CM, et al: C-arm CT measurement of cerebral blood volume: an experimental study in canines. *AJNR* **30**:917-922, 2009.
- 2) 荒木有三, 坂井 昇: キセノン CT 検査の頭部固定法に関する検討—陰圧式固定具の有用性—. *脳卒中* **25**:278-281, 2003.
- 3) Bley T, Strother CM, Pulfer K, et al: C-Arm CT Measurement of cerebral blood volume in ischemic stroke: an experimental study in canines. *AJNR* **31**:536-540, 2010.
- 4) Fieselmann A, Ganguly A, Deuerling-Zheng Y, et al: Automatic measurement of contrast bolus distribution in carotid arteries using a C-arm angiography system to support interventional perfusion imaging. In: Proceedings of the 2011 Society of Photographic Instrumentation Engineers Medical Imaging Conference. Lake Buena Vista, Florida. *February* 12-17, 2011.
- 5) Ganguly A, Fieselmann A, Marks M, et al: Cerebral CT perfusion using an interventional C-arm imaging system: cerebral blood flow measurements. *AJNR* **32**:1525-1531, 2011.
- 6) 糸川 博, 鈴木龍太, 森谷匡雄, 他: IVR-CT/angio system を用いた血管内手術手技中の脳循環評価. *脳神経外科* **34**:281-286, 2006.
- 7) 糸川 博, 森谷匡雄, 藤本道生, 他: C-Arm CT を備えた脳血管撮影装置での経動脈的造影剤投与方法による脳血液量の計測 (Neuro PBV) および頭蓋内血流動態評価画像 (iFlow) の検討. *JNET* **5**:134-141, 2011.
- 8) Mordasini P, El-Koussy M, Brekenfeld C, et al: Applicability of tableside flat panel detector CT parenchymal cerebral blood volume measurement in neurovascular interventions: preliminary clinical experience. *AJNR* **33**:154-158, 2012.
- 9) 森谷匡雄, 糸川 博, 藤本道生, 他: FilterWire-EZ を用いたステント留置術中に no flow を来した 1 例: 症例報告. *JNET* **5**:195-201, 2012.
- 10) Struffert T, Deuerling-Zheng Y, Kloska S, et al: Flat Detector CT in the evaluation of brain parenchyma, intracranial vasculature, and cerebral blood volume: a pilot study in patients with acute symptoms of cerebral ischemia. *AJNR* **31**:1462-1469, 2010.
- 11) Yasuda R, Royalty K, Pulfer K, et al: C-arm CT measurement of cerebral blood volume using intra-arterial injection of contrast medium: an experimental study in canines. *AJNR* **1696-1701**, 2012.

要 旨

JNET 7:145-155, 2013

【はじめに】血管撮影装置を用いた脳血液量 (cerebral blood volume: CBV) 計測 (Neuro-parenchymal blood volume; Neuro PBV) のための撮影方法として、検査に必要な造影剤量を減じる目的で、大動脈弁近傍に留置した 4Fr 診断用カテーテルから 50% 希釈造影剤を投与方法 (aortic arch injection 法; AA 法) で施行した際の検査データを解析し、その妥当性や問題点について検討した。【対象・方法】100 症例、117 検査を対象に、テクニカルエラーの形態および造影剤使用量を検討し、さらに正常灌流症例において得られた CBV 値を検討した。【結果】検査に伴う合併症はなく、AA 法でも良好な画像が得られたが、6 例でテクニカルエラーが経験された。使用した造影剤量は平均 46.0 ± 4.0 mL であった。正常灌流症例での Neuro PBV-CBV 値の半球間の比較では左前および中大脳動脈領域で低値となったが、後大脳動脈および基底核領域では左右差を認めなかった。【結論】現状では検討課題も残されているが、AA 法で行う 50% 希釈造影剤を用いた Neuro PBV は、使用する造影剤量を減じることができ、患者管理に有用な情報が得られる可能性がある。