

1) テクニカルノート

2) 血管撮影装置を用いた C-arm CT perfusion study

3) 糸川 博, 岡本紀善, 藤本道生, 森谷匡雄, 柘植雄一郎, 山本 航, 笹沼仁一
Hiroshi ITOKAWA, Noriyoshi OKAMOTO, Michio FUJIMOTO, Masao MORIYA, Yuichiro
TSUGE, Kou YAMAMOTO, Jinichi SASANUMA

4) 新百合ヶ丘総合病院 脳神経外科
Department of Neurosurgery, SHIN-YURIGAOKA General Hospital

5) 新百合ヶ丘総合病院 脳神経外科
〒215-0026 神奈川県川崎市麻生区古沢都古255
TEL: 044-322-9991
FAX: 044-322-0529
E-mail: itokawa@tc4.so-net.ne.jp

Department of Neurosurgery, SHIN-YURIGAOKA General Hospital
255, Furusawatsuko, Asao-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa, 2150026, Japan
TEL: +81443229991
FAX: +81443220529
E-mail: itokawa@tc4.so-net.ne.jp

6) Key words: C-arm CT, CT perfusion, CT angiography, angiography, stroke imaging

7) 本論文を,日本脳神経血管内治療学会機関紙「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致します.

要旨

【目的】新たに開発された血管撮影装置での脳循環パラメータ解析アプリケーション(C-arm CTP)について報告する.

【方法】C-arm CTPは5往復のC-アーム回転中に順行性と逆行性に5回ずつ計10回の連続情報収集を行う. 収集したデータからCBF, CBV, MTT, TTP画像および複数のフェーズの解剖学的血管画像を作成した. 急性期および慢性期主幹動脈閉塞症例に対して施行したC-arm CTP画像を提示する.

【まとめ】血管撮影装置を用いたC-arm CTPは, これまでのMD-CTPと同様の脳循環評価を血管撮影室内でリアルタイムに行うことが可能であり, 脳卒中診療を行う上で有用な方法と思われた.

緒言

現在日常的に使用されているC-アームとフラットパネルを搭載した血管撮影装置に新たなプログラムを導入して, C-アームが短時間に連続して往復しながら双方向性に情報収集を行えるようにすることで, これまでには行うことができなかった経時的な画像情報の収集が行えるようになる. この改良により, これまで血管撮影装置では行うことができなかった脳血流量(cerebral blood flow; CBF)や脳血液量(cerebral blood volume; CBV), 平均通過時間(mean transit time; MTT), ピーク到達時間(time to peak; TTP)といった脳循環パラメータを解析することができるようになった(dynamic C-arm CT

perfusion: C-arm CTP)¹⁻³⁾. 現在, 臨床において脳循環パラメータを計測する方法としては, single photon emission computed tomography (SPECT)や positron emission tomography (PET)のほか, MRIやCTを用いた灌流画像が用いられているが, これらの検査は専用の検査室で行われるため, 血管撮影と組み合わせたリアルタイムな情報の評価が困難であった. 一方で血管撮影装置を用いて脳循環パラメータを解析することができるようになると, 血管撮影中あるいは血栓回収療法といった血管内治療中にも, 形態学的な評価だけでなく機能的な評価を患者を移動することなく行うことができるようになる. 現在までに実用化されている血管撮影装置を用いた脳循環パラメータの評価方法としては, 投与した造影剤の脳組織内での定常状態を撮影して得られた情報を解析するC-arm CBVが報告されている⁴⁻⁹⁾. この方法は, 得られる情報がCBVに限られているため, 脳血管閉塞による血流途絶を反映したCBV低下領域として脳梗塞巣を検出する上では有用であるが, 閉塞血管の灌流範囲と救済可能な虚血範囲とのミスマッチを評価するための情報としては不十分であった. しかしながら, CBFやCBV, MTTなどの複数の脳循環パラメータが得られれば, 現在汎用されているマルチディテクターCT (MD-CT) におけるCTP (MD-CTP) と同様の評価を行うことができるようになる¹⁰⁾. 現在の脳梗塞治療において, 閉塞血管の再開通までの時間短縮は大きな命題であり, 患者の来院後直ちに血管撮影室で状況の評価ができれば, 時間短縮という点で大きなアドバンテージとなる. C-arm CTPは現在はまだ開発の途上であり, 撮影方法をはじめとして臨床への応用は端緒についたばかりである. そこで, 今回新た

に開発されたプロトタイプのアプリケーションを用いて行ったC-arm CTPの撮影方法と、現状での問題点や今後の可能性について報告する。

方法

C-arm CTPの施行については、当院の倫理委員会で承認を得て行なった。また、脳血管撮影および脳血管内治療の説明の際に、患者および家族に対して本検査の施行についても十分に説明して同意を得た。

C-arm CTPの撮影については、われわれが通常の診断および治療で用いているバイプレーン・フラットパネル型血管撮影装置 (Artis zee biplane, Siemens Healthcare GmbH, Forchheim, Germany) をそのまま用いることができる。C-アームの回転制御や画像情報の解析については、プロトタイプのC-arm CTP解析プログラムが装備されたワークステーションを使用した。

C-arm CTPの撮影方法および画像解析

C-arm CTPの撮影方法と解析画像をFigure 1に示す。C-arm CTPは5往復のC-アーム回転中に順行性と逆行性に5回ずつ計10回の連続情報収集を行う。造影剤の投与をスキャン開始5秒後から行うため、最初の2回の撮影がベースラインの非造影撮影 (マスク) 画像となり、続く8回の撮影が造影剤の血管内循環を捉える造影撮影 (フィル) 画像となる。おのおののC-arm回転の間には0.3秒のポーズが入る。1回の情報収集中にC-armは 200° の回転角度を5秒間で回転す

る．それぞれの回転中に248 projection (angulation step 0.80/frame)のデータ収集を行う．管電圧は77kVpで，照射線量は $0.36 \mu\text{ Gy/frame}$ ，総撮影時間は61.3秒となる．

造影剤の投与方法は，これまでのMD-CTPの撮影と同一のプロトコールとした．左肘静脈に20G留置針を挿入して造影ルートとし，デュアルシリンジパワーインジェクター (Press Duo, Nemoto, Tokyo, Japan) を用いて，40mlの300mgI/mlの非イオン性ヨード造影剤 (Oypalomin, Fuji Pharma Co., Ltd., Toyama, Japan) を4ml/secのスピードで注入し，さらに同じスピードで30mlの生理食塩水での後押しを行なった．

画像の解析はプロトタイプのperfusion softwareを用いて行った．現在はプロトタイプのワークステーションに撮影データを転送して解析を行っているため，撮影終了から灌流画像の作成には約5分程度を要している．C-arm CTPの灌流画像はデコンボリューション法に則って自動的に解析される．解析アプリケーションの詳細は明らかにされていないが，過去の報告に解析理論が記述されている¹⁻³⁾．開発当初はC-armの回転制御や収集したデータの解析に制限があり，今回報告する方法とは多少の相違があるが，撮影や解析方法に対するコンセプトに変更はなく，収集されるデータの解析精度向上のために改良が続けられている．C-arm CTPで収集されるデータはフラットパネルによる全脳での情報収集がなされているため，得られた画像情報からは任意の断面およびスライス厚での灌流画像を作成することができる．われわれは他の検査モダリティとの比較がしやすいように，5mm厚の水平断面を用いてCBF，

CBV, MTT, TTPマップを作成している。また、一回のC-arm CTPの撮影で得られた情報からは、同時に各撮影フェーズにおける血管再構成画像も作成することができるため、われわれはmaximary intensity projection (MIP) 画像を用いて、血管内での造影剤の通過初期から通過後までの連続した変化を確認し、急性期脳主幹動脈閉塞例では閉塞部位の確認および側副血行の有無についての評価に用いている。

代表例提示

症例1

62才，男性。慢性期右頸部内頸動脈閉塞例である。過去に左半身の知覚低下と脱力の既往があり，精査を希望して来院した。MRIにて右前頭葉および頭頂葉皮質に陳旧性の脳梗塞と，MRAにて右内頸動脈閉塞が認められた (Figure 2 A, B)。脳血管撮影を施行したところ，右内頸動脈は頸部で閉塞しており，右大脳半球は前交通動脈を介したcross flowで灌流されていた (Figure 2 C, D)。C-arm CTPでは右中大脳動脈領域においてCBFの低下とわずかなCBVの上昇が認められ (Figure 2 E, F)，MTTは著明に延長していた (Figure 2 G)。同時期に外来にて施行したN-isopropyl-p-[123I]iodoamphetamine (123I-IMP)-SPECTでは，安静時においてC-arm CTPで得られたCBF画像と同様に右中大脳動脈領域での血流低下が確認された (Figure 2 H)。血行力学的脳虚血の状態が疑われたが，現在は無症状であり，患者本人が外科治療を希望していないため，抗

血小板薬の投与のみを行なって経過観察している。

症例2

80才，女性。意識障害と左片麻痺で発症した（NIHSS 20）。来院時に施行したMRIの拡散強調画像（diffusion weighted image; DWI）では，右被殻と放線冠に高信号を認め（Figure 3 A, E），MRAでは右内頸動脈遠位に閉塞が認められた。また，来院時の心電図において心房細動が認められた。正確な発症時間は不明であったが，DWIで認められた虚血領域が比較的限局的であり，意識障害や神経所見の重症度との乖離が認められたため，直ちに脳血管撮影室に移動した。まず始めにC-arm CTPを施行したところ，右大脳半球で広範なMTTの延長が確認できたが，CBFおよびCBVでの低下領域はDWIで認められた虚血範囲にとどまっていた（Figure 3 B-D, F-H）。同時に作成した経時的血管画像では，右内頸動脈の閉塞部位（Figure 4 B, arrow）と側副血行で描出される閉塞部遠位が確認できた（Figure 4 A-C）。血流を再開させることで救済可能な虚血領域が存在すると判断し，直ちに血栓回収療法を施行した。治療前の右内頸動脈撮影では，右内頸動脈は眼動脈以遠で閉塞が確認でき，一度のステントリーバーの展開で完全再開通を得ることができ（Figure 4 D-G），再開通後に神経症状は著明に改善した（NIHSS 3）。術後，再度C-arm CTPを施行したところ，MTTマップにおいて術前に延長していた領域で著明な改善が確認され，CBFおよびCBVマップでは新たな低下領域は認められなかった（Figure 5 A-C, E-G）。術翌日のMRIでは，来院時にDWIで認められた高信号域に一致して脑梗

塞が完成していたが，その他の部分での梗塞の拡大は認めなかった（Figure 5 D, H）．抗凝固薬の内服を開始し，入院14日でmodified Rankin Scale 1で自宅退院した．

考察

CTを用いた灌流画像は，非イオン性ヨード造影剤を血管内トレーサーとして用い，造影剤投与後の脳の初回循環中にCTの連続撮影を行って脳組織におけるCT値の変化を計測し，得られた時間-CT値曲線から脳循環パラメータであるCBF，CBV，MTTなどを求めるものである．このCTを用いて脳灌流情報を得る試みは，1980年にAxcelがdynamic CT法として初めて測定理論を報告した¹¹⁾．後にスリッピングタイプの高速撮影が可能なCTが出現したことで，Koenigらがperfusion CTとして臨床応用についての報告を行い，急性期脳虚血症例にも応用可能な迅速性や簡便さと，治療適応や予後の推測についてのdecision makingな情報が得られることから現在では広く臨床で施行されるに至っている¹²⁾．一方で，血管撮影装置を用いた脳循環情報の収集については，主に脳組織における血液量分布を反映させた画像を得るC-arm CBVが報告されている⁴⁻⁹⁾．さらに近年になって機器や情報収集方法に改良が試みられたことで，本稿で述べたC-arm CTPについての実験的な報告も散見されるようになってきた^{1-3, 10, 13-19)}．

Figure 6にわれわれの施設で造影剤を用いて行なっている3つの脳灌

流情報検査の概要を示す。C-arm CTPとMD-CTPは、ともに造影剤投与後の脳における初回循環の推移を経時的に撮影するため検査時間は約60秒である。これに対してC-arm CBVは、適切なscan delay timeを設けた上で脳組織内で造影剤の定常状態を撮影するため検査時間は24秒と短い。造影剤の投与方法については、C-arm CTPとMD-CTPでの情報収集時間はほぼ同じであることから、MD-CTPで行なっている造影剤の投与方法と同じように造影剤を投与すれば、得られる時間-CT値曲線は同様の結果が得られると考えて、MD-CTPでの造影剤投与方法を踏襲した検査プロトコールとした。C-arm CTPの開発で問題となっていたのは、血管撮影装置に装備されているC-アームの回転速度に制限があることと、これまで順行性の一方向にしか情報収集が行えなかったことであった。MD-CTPでは、ディテクターが高速に回転しながらCT撮影を行うことができるため、投与された造影剤の頭蓋内での初回循環におけるCT値の変化を細かく捉えることができ、検査中の計測点は38点となる。一方でC-arm CTPの場合には、一方向へのC-アームの回転に5秒かかり、さらに最初の2回の撮影はマスク画像として使われるため、時間-CT値曲線に用いられる計測点は現状で8点となる。灌流画像解析ソフトの解析プログラムの詳細は明らかにされていないが、少ないCT値情報を補完して時間-CT値曲線を作成し、それを元にして各種循環パラメーターを算出していることになる。Wintermarkらは、MD-CTを用いたCT灌流画像において、情報収集間隔と造影剤量が灌流画像に及ぼす影響について検討しており、その中でデータサンプリング数が少ないほど時間-CT値曲線における曲線下面積の過大評価が生じると述べている。つまり情報収

集間隔が広くサンプル数が少ない場合には、CBVの過大評価とMTTの過小評価が生じ、結果としてCBFについても過大評価が生じると述べている²⁰⁾。さらにRoyaltyらは、CBFとCBVの計測についてC-arm CTPとMD-CTPとの比較を行っており、定量解析においてはC-arm CTで計測したCBFとCBV値はMD-CTPから得られた値と比較して過大評価されたと述べている³⁾。しかしながら、灌流異常を呈する範囲の同定を中心とした定性評価については、BeuingやNiuらがMD-CTPとの相性は良好であり、急性期脳梗塞の診断やトリアージに有効と報告しており^{10,14)}、さらに先に示したRoyaltyらも、定性評価についてはC-arm CTPとMD-CTPとの間に強い相関が認められたと述べている³⁾。われわれが提示した症例1においても、C-arm CTPから得られたCBF画像はSPECT画像と同様の血流低下領域を確認することができた。さらに症例2においても、DWIで確認できた急性期脳虚血領域は、治療前のCBFやCBV画像においても灌流異常領域として描出されていた。灌流画像ではMRIや通常のCT画像と比較して空間分解能が低いため、定性的に虚血範囲を判断する場合には、定量解析で認められたような他の検査モダリティとの解離が生じにくい可能性がある。今後も症例を重ねて詳細な検討を行う必要があるが、本検査においても定性的な判断の上では十分な診断能が得られるものと思われた。

C-arm CTPのもうひとつの特性として血管情報を得ることができるが、プロトタイプのワークステーションにおいても灌流画像の作成に加えて3分程で血管画像を作成することが可能である。YangらがC-arm CTPから作成した主幹動脈の描出能については十分な診断能力を有すると報告しているが¹⁹⁾、わ

れわれの経験でも症例2で示した通り、血管閉塞部位は描出の途絶する近位側と、側副血行で描出される遠位側とで挟まれた描出欠損として確認することができた。このことから、血栓回収療法を考慮する際には側副血行で描出される閉塞部遠位の情報とともに血管の閉塞部位も把握した上で手技に望むことができると思われる。

血管撮影装置を用いたC-arm CTPの今後の展望としては、「one-stop-shop」というコンセプトが提唱されている^{10,13,19)}。これは脳卒中が疑われる患者が来院した場合、直ちに血管撮影室に移送してC-arm CTによる脳組織評価を行い、引き続いてC-arm CTPを行なって脳循環パラメータの評価と血管の評価を行うとするコンセプトである。CTやMRIなどの他の検査モダリティへの患者の移送時間や検査自体にかかる時間的ロスを減らして、治療までの時間短縮を図ることが目的である。またCTやMRIなどで得られる画像は、検査した時点におけるスナップショット画像であるため、実際の治療が始まるまでに時間的なへだたりがある場合には、最初の評価を行なった時点とは状況が異なることがあることから、治療開始直前に評価ができるこのようなコンセプトは有用性が高いと考えられる。問題点としては、1回の検査に使用する造影剤量が40mlであり、脳血管撮影や血管内治療に要する造影剤量と合わせると造影剤使用量が増加する懸念がある。さらに検査に伴う放射線照射量増加も懸念されるが、Yangらは9回の情報収集でのC-arm CTPの総照射線量は4.6mGyであると報告し、通常のMD-CTPではこれが5.0mGyであったと述べている¹⁹⁾。また、StruffertらはMD-CTPと同時にMD-CTAを行う場合にはさらに3-5mGyの照射

線量が必要となると報告している⁸⁾。今回提示した現状での撮影方法では、これまでの報告より情報収集回数が1回多くなっているため総照射線量は5.1mGyとなるが、これはMD-CTPとほぼ同等である。このような問題点が存在するが、C-arm CTPでは得られる情報がCBF、CBV、MTTなど多種にわたること、また一度の検査で血管の閉塞部位や側副血行の評価を含めた血管の情報も同時に得られることを考慮すると、造影剤量および放射線照射量の増加を上回る検査の有用性が得られるものと考えている。このようにC-arm CTPは、現状ではまだ問題点もあるが、急性期脳虚血の状況の評価や機械的血栓回収治療までの時間短縮という点で十分に貢献できる検査であると考えられた。

結語

血管撮影装置を用いたC-arm CTPは、これまでのMD-CTPと同様の脳循環評価を行うことが可能であった。さらに血管撮影室内でリアルタイムに脳循環パラメータの計測や血管解剖の評価が行えることから、脳卒中の診断や治療効果を判断する一助として有用な方法と思われた。

利益相反開示

本研究はシーメンス・ジャパン株式会社よりプロトタイプのC-arm CTP解析プログラムが装備されたワークステーションの提供を受けて行った。

文献

1. Fieselmann A, Gangly A, Deuerling-Zheng Y, et al. Using a C-arm CT for interventional perfusion imaging: A phantom study to measure linearity between iodine concentration and hounsfield values. DGMP Tagging 2010 in Freiburg i.Br.
2. Ganguly A, Fieselmann A, Marks M, et al. Cerebral CT perfusion using an interventional C-arm imaging system: Cerebral blood flow measurements. AJNR Am J Neuroradiol 2011; 32: 1525-1531.
3. Royalty K, Manhart M, Deuerlig-Zheng Y, et al. C-Arm CT Measurement of Cerebral Blood Volume and Cerebral Blood Flow Using a Novel High-Speed Acquisition and a Single Intravenous Contrast Injection. AJNR Am J Neruroradiol 2013; 34: 2131-2138.
4. Fiorella D, Turk A, Chaudry I, et al. A prospective, multicenter pilot study investigating the utility of flat detector derived parenchymal blood volume maps to estimate cerebral blood volume in stroke patients. J NeuroIntervent Surg 2014; 6: 451-456.

5. Fujimoto M, Itokawa H, Moriya M, et al. Evaluation of Cerebral Hyperperfusion After Carotid Artery Stenting Using C-Arm CT Measurements of Cerebral Blood Volume. Clin Neuroradiol 2016; DOI 10.1007/s00062-016-0552-x.
6. Itokawa H, Moriya M, Fujimoto M, et al. 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. JNET 2013; 7: 145-155 (In Japanese).
7. Itokawa H, Fujimoto M, Moriya M, et al. Application of C-arm CBV testing for evaluation before and after cerebral endovascular treatment. JNET 2018; 12(4): 88-96.
8. Struffert T, Deuerlig-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 Am J Neuroradiol 2010; 31: 1462-1469.
9. Terada Y, Hatano T, Nagai Y, et al. Intraprocedural Detection of Cerebral Hyperperfusion by Flat Detector Computed Tomography in the

Evaluation of Cerebral Blood Volume during Carotid Artery Stenting.
Interventional Neuroradiology 2014; 20: 502-509.

10. Niu K, Yang P, Wu Y, et al. C-arm conebeam CT perfusion imaging in the angiographic suite: A comparison with multidetector CT perfusion imaging. AJNR Am J Neuroradiol 2016, 10.3174/ajnr.A4691.

11. Axel L: Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: a theoretical analysis. Radiology 1980; 137: 679-686.

12. Koenig M, Klotz E, Luka B, et al. Perfusion CT of the brain: Diagnostic approach for early detection of ischemic stroke. Radiology 1998; 209: 85-93.

13. Amelung N, Behme D, Knauth M, et al. Evaluation of an acute stroke patient with flat detector CT prior to mechanical thrombectomy. J Thrombo Cir 2016; 2; 114-115.

14. Beuing O, Boese A, Kyriakou Y, et al. A novel technique for the measurement of CBF and CBV with robot-arm-mounted flat panel CT in a

large-animal model. AJNR Am J Neuroradiol 2014, A3937.

15. Doerfler A, Göllitz P, Engelhorn T, et al. Flat-panel computed tomography (DYNA-CT) in neuroradiology. From high-resolution imaging of implants to One-Stop- Shopping for acute stroke. Clin Neuroradiol 2015; 25: 291-297.

16. Manhart MT, Aichert A, Struffert T, et al. Denoising and artefact reduction in dynamic flat detector CT perfusion imaging using high speed acquisition: first experimental and clinical results. Phys Med Biol 2014; 59(16): 4505-24.

17. Manhart MT, Kowarschik M, Fieselmann A, et al. Dynamic iterative reconstruction for interventional 4-D C-arm CT perfusion imaging. IEEE Trans Med Imaging 2013; 32(7): 1336-48.

18. Struffert T, Deuerling-Zheng Y, Kloska S, et al. Dynamic Angiography and Perfusion Imaging Using Flat Detector CT in the Angiography Suite: A Pilot Study in Patients with Acute Middle Cerebral Artery Occlusions. AJNR Am J Neuroradiol 2015; PMID: 26066625.

19. Yang P, Nit K, Wu Y, et al. Time-resolved C-arm computed tomographic angiography derived from computed tomographic perfusion acquisition: New capability for One-Stop-Shop acute ischemic stroke treatment in the angiosuite. Stroke 2015; 46: 3383-3389.

20. Wintermark M, Smith WS, Ko NU, et al. Dynamic perfusion CT: Optimizing the temporal resolution and contrast volume for calculation of perfusion CT parameters in stroke patient. AJNR Am J Neuroradiol 2004; 25: 720-729.

図表の説明

Figure 1 : A schematic illustration of the acquisition protocol for the C-arm CT perfusion and examples of generated cerebral perfusion color maps and dynamic vascular images.

CBF: cerebral blood flow; CBV: cerebral blood volume; MTT: mean transit time; TTP: time-to-peak

Figure 2 : Case 1, a 62-year-old male with chronic right cervical ICA

occlusion. (A) Axial T2 weighted MRI showed old infarcted scars at the right frontal and parietal regions. (B) MR angiography showed remarkable decrease of the vascular signal in the right ICA. (C) A cervical lateral view of the right CCAG. Occlusion at the bifurcation of the right cervical ICA was observed. (D) An antero-posterior view of the left CCAG showed right ICA occlusion and collateral flow via the anterior communicating artery. (E-G) C-arm CT perfusion map revealed remarkable reduced CBF (E) and slightly increased CBV (F) in the right MCA territory, as opposed to the left hemisphere. The extent of the ischemic lesions is clearly identified on the MTT map (G). N-isopropyl-p-[123I]iodoamphetamine(123I-IMP)-SPECT showed significant reduced CBF as the same area with the C-arm CTP CBF map (H).

ICA: internal carotid artery; CCAG: common carotid artery angiogram;
CBF: cerebral blood flow; CBV: cerebral blood volume; MCA: middle cerebral artery; MTT: mean transit time; SPECT: single photon emission computed tomography

Figure 3 : Case 2, an 80-year-old female with acute ischemic stroke. Diffusion weighted MRI on admission showed early ischemic change in the

right putamen and corona radiata (A, E). C-arm CT perfusion map before thrombectomy (B-D, F-H). CBF and CBV maps demonstrated reduced regional CBF (B, F) and CBV (C, G) in the right putamen and corona radiata. A significant perfusion deficit was recognized at the right ICA territory on the MTT maps (D, H).

CBF: cerebral blood flow; CBV: cerebral blood volume; ICA: internal cerebral artery; MTT: mean transit time

Figure 4 : Case 2, an 80-year-old female with acute ischemic stroke. Dynamic vascular images with the C-arm CT perfusion study revealed right ICA occlusion and collateral flow via leptomeningeal anastomosis (A: early arterial inflow, B: during arterial phase, arrow: occlusion site, C: late arterial phase). Mechanical thrombectomy for the right internal carotid artery occlusion was performed (D-G). Total recanalization was achieved after the treatment.

Figure 5 : Case 2, an 80-year-old female with acute ischemic stroke. C-arm CT perfusion maps just after thrombectomy (A-C, E-G). CBF and CBV maps demonstrated slightly increased regional CBF (A, E) and CBV (B, F) in the right putamen and corona radiata. A significant improvement

of cerebral perfusion was recognized at the right ICA territory on the MTT maps (C, G). DWI 24 hours after treatment showed early ischemic change in the right putamen and corona radiata. However, no other ischemic change was observed in the right cerebral hemisphere (D, H).

CBF: cerebral blood flow; CBV: cerebral blood volume; ICA: internal cerebral artery; MTT: mean transit time

Figure 6: Comparison of three different perfusion acquisition techniques. Upper row: A schematic illustration of the acquisition protocol for the C-arm CT perfusion (C-arm CTP). Middle row: Acquisition protocol for multi-detector row CT perfusion (MD-CTP). Lower row: A schematic illustration of the acquisition protocol for C-arm cerebral blood volume (C-arm CBV).