

中枢神経疾患に対するmulti-detector row CTを用いた3D-CT angiographyにおける動脈相と静脈相の分離画像

松本 正人 佐久間 潤 鈴木 恭一
佐々木達也 宗像 良二 児玉南海雄

要 旨: MDCTを用いることで動脈相・静脈相の3D-CTAの作成が可能か否かを検討した。全例において動脈相と静脈相それぞれの3D-CTAを作成することが可能であり、本画像によって動・静脈のそれぞれの血管構築を理解できた。両者を組み合わせた画像では病変部、動・静脈の相互関係についての情報が得られ、手術計画を立てるうえでも有用であった。本法によって診断能、さらに手術の安全性が向上すると考えられる。(J Jpn Coll Angiol, 2005, 45: 589-595)

Key words: 3D-CT angiography, arterial-phase, venous-phase, multi-detector row CT

はじめに

3D-CT angiography(3D-CTA)は、三次元の血管像が得られることから、中枢神経系疾患の診断や手術のシミュレーションに応用されてきた¹⁻⁶⁾。しかし、3D-CTAでは動・静脈が同時に描出されるため、動脈と静脈を鑑別するにはある程度の経験が必要であった。また、動脈と静脈が近接して走行している部位では、静脈の重なりによって動脈病変がマスクされ診断が困難になることがあった⁷⁾。一方、脳腫瘍においては、3D-CTAでは腫瘍の局在の診断は可能であるが、腫瘍内や周囲を走行する血管が動脈か静脈かについての同定や手術の際に重要となる栄養血管の情報は得られなかった⁸⁾。したがって、3D-CTAで動脈と静脈をそれぞれ分離して表示できれば、手術の安全性、確実性がさらに向上することになる。しかし、これまでのsingle-detector row CT(SDCT)では、撮像時間に数十秒を要したことから動脈相と静脈相を分けてスキャンすることはできなかった。一方、multi-detector row CT(MDCT)はdetector数にもよるが、SDCTと比較して数倍の速度でのスキャンが可能である⁹⁻¹²⁾。したがって、造影剤投与後に動脈相または静脈相、すなわち静脈内の造影剤の濃度が十分に上昇する前に動脈相を、逆に静脈相で

は、動脈内造影剤濃度が十分に低下している時間内に撮像を終了し、閾値処理によって不要な静・動脈を消去すれば動脈と静脈を分離した3D-CTA画像が得られるはずである。上記の考え方でわれわれはMDCTを用い動脈相・静脈相の3D-CTA(動脈相3D-CTA・静脈相3D-CTA)画像の作成が可能か否かを検討した。

対象および方法

健常成人6例、脳腫瘍20例(髄膜腫9例、神経鞘腫7例、神経膠芽腫3例、転移性脳腫瘍1例)、脳動脈瘤17例、血管奇形7例(脳動静脈奇形3例、静脈性血管腫3例、海綿状血管腫1例)、その他5例の計55例を対象とした。使用したMDCT装置はAquilion(16列、東芝)で、まずscout viewを行い、海綿静脈洞部内頸動脈とS状静脈洞が含まれるようにスキャン範囲を設定した。自動注入器(根本杏林堂)を用いて、正中肘静脈から非イオン性造影剤(Iopamiron® 370mg/dl)を毎秒6~7mlで5秒間、totalで30~35ml注入、さらに生理食塩水を毎秒6~7mlで3秒間、totalで18~21mlを追加注入しダイナミックスキャンを行った。ダイナミックスキャンは、スライス厚4mm、4スライスを0.5秒間隔で行い、管電圧/管電流は135kV/80mAを用いた。海綿静脈洞部内頸動脈とS状静脈洞にROIを設定し、time density

福島県立医科大学脳神経外科

2004年12月7日受付 2005年6月1日受理

curveを作成した(**Fig. 1**)。

これらのデータを基にして動脈相および静脈相におけるそれぞれのスキンのタイミングを決定した。まず、動脈相・静脈相に対するスキャン時間は、内頸動脈とS状静脈洞のtime density curveとの間隔が約5秒であったため、最大の5秒を選択した。スキンのタイミングについては、動・静脈におけるそれぞれのpeakを基準として、動脈相ではpeak前4秒からpeak後1秒まで、静脈相ではpeakからpeak後5秒までとした(**Fig. 1**)。動脈相・静脈相3D-CTAに対するスキャンは、ダイナミックスキャン時に投与した造影剤の濃度が十分低く(CT値で40HU以下)なる約10分後に行った。Collimationおよびpitchをそれぞれ0.5mm, 13(6.5mm/回転)とし、45mmの範囲を5秒でスキャンした。管電圧/管電流は135kV/260mAを用いた。なお、スキャンスピードは0.5秒スキャンで行った。

造影剤は、ダイナミックスキャンと同様に正中肘静脈から毎秒6~7mlで5秒間、totalで30~35ml注入、これに生理食塩水を毎秒6~7mlで3秒間、totalで18~21mlを追加注入した。得られたデータはworkstation(ZIO M900, Zio software社)に転送し、三次元画像を作成した。動脈を赤、静脈を青、腫瘍を黄色、骨を白に表示した。

本方法で得られる動脈相(n=16)、静脈相(n=16)におけるそれぞれの海綿静脈洞部の内頸動脈と左S状静脈洞のCT値と、造影剤を毎秒3mlでtotal 100ml投与する従来の方法(n=18)における海綿静脈洞部の内頸動脈のCT値を比較検討した。

結 果

全例において、CT値の閾値を120~160HUに設定することで動脈相3D-CTAでは静脈を消去、静脈相3D-CTAでは動脈を消去することが可能で、動脈相と静脈相を分離したそれぞれの3D-CTAを作成することが可能であった(**Fig. 2A, B**)。動脈相3D-CTAと静脈相3D-CTAによって動・静脈のそれぞれの血管構築が理解でき、さらに両者を組み合わせた画像によって、動脈と静脈の解剖学的相互関係の理解が容易となった(**Fig. 2C, D**)。

脳動脈瘤症例では、術前に動・静脈の相互関係の情報が得られ、アプローチの際のlandmarkとして有用な情報となり(**Fig. 3**)、手術をより安全かつ確実に進める

ことができた。特に、海綿静脈洞との関係が手術の際に重要となる海綿静脈洞近傍動脈瘤である内頸動脈眼動脈分岐部動脈瘤5例(**Fig. 4**)と海綿静脈洞部内頸動脈瘤1例では、脳動脈瘤と海綿静脈洞との位置関係が明らかとなった。

脳腫瘍例では、全例腫瘍が描出されたが、その描出の程度はさまざまであり、髄膜腫(**Fig. 5B, E**)では全例均一に、神経鞘腫では4例では均一(**Fig. 6A**)に、3例では不均一に造影された。また、前例の神経膠芽腫(**Fig. 6B**)と転移性脳腫瘍では、不均一に造影された。9例中3例の髄膜腫では、腫瘍によってencasementされた動・静脈洞のようすが立体的に描出された。また、1例の髄膜腫では従来の3D-CTAでは困難であった栄養血管の描出が可能であった(**Fig. 5D, E**)。この情報によって栄養血管を腫瘍摘出の早期に捉えることが可能となり、出血量を減少させることができた。さらに、周囲を走行する血管が動脈か静脈かを術前に把握することで、誤って重要な血管を損傷する危険が少なくなったことも大きなメリットであった。

脳動静脈奇形では、動脈相で造影される血管、静脈相で造影される血管を分けて描出することが可能であった(**Fig. 7**)。静脈性血管腫では、動脈相では血管腫は描出されず、静脈相で描出された(**Fig. 8**)。

動脈相・静脈相におけるそれぞれの海綿静脈洞部の内頸動脈と左S状静脈洞のCT値は、海綿静脈洞部の内頸動脈では $353.3\text{HU} \pm 39.2$ (mean $\pm$ SD, n=16)、左S状静脈洞が $300.4\text{HU} \pm 30.0$ (mean $\pm$ SD, n=16)であった。一方、従来の方法での海綿静脈洞部の内頸動脈のCT値が $314.2\text{HU} \pm 62.3$ (mean $\pm$ SD, n=18)であった。

ダイナミックスキャン、動脈相・静脈相スキャンで全例において体の熱感を訴えたが、血圧低下、発疹などの副作用は認めなかった。

考 察

われわれは、動脈相・静脈相それぞれの3D-CTAの作成を試みた。従来の方法では動脈と静脈を分離した3D-CTAの画像を表示することは困難であったが^{1-3, 8-11)}、動・静脈の鑑別は作成者が3D-CTAの画面上で描出されている血管の連続性を追尾することによりある程度は可能であった。しかし、その方法では作成者の主観が入り、また、かなりの経験をも必要とし、客観性に欠ける点が否めなかった。一方、本法では主観が入る

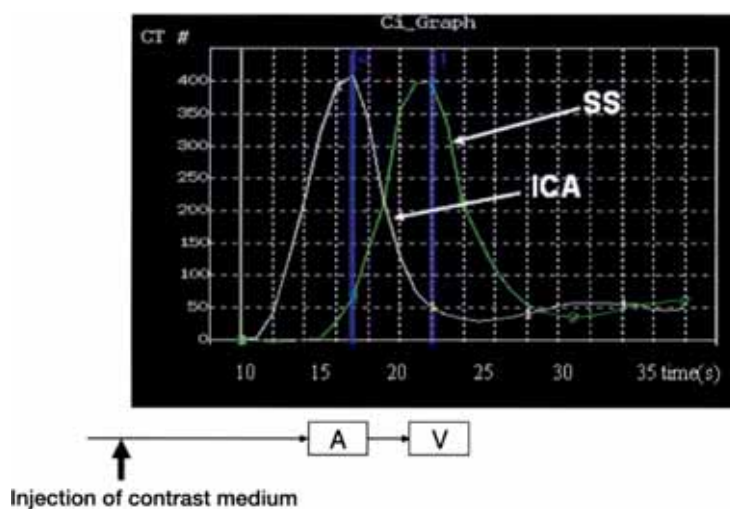


Figure 1 Time density curves of ICA and SS. Vertical and horizontal lines indicate CT number (HU) and time (seconds). ICA: internal carotid artery, SS: sigmoid sinus, A: scanning for arterial phase 3D-CTA, V: scanning for venous phase 3D-CTA

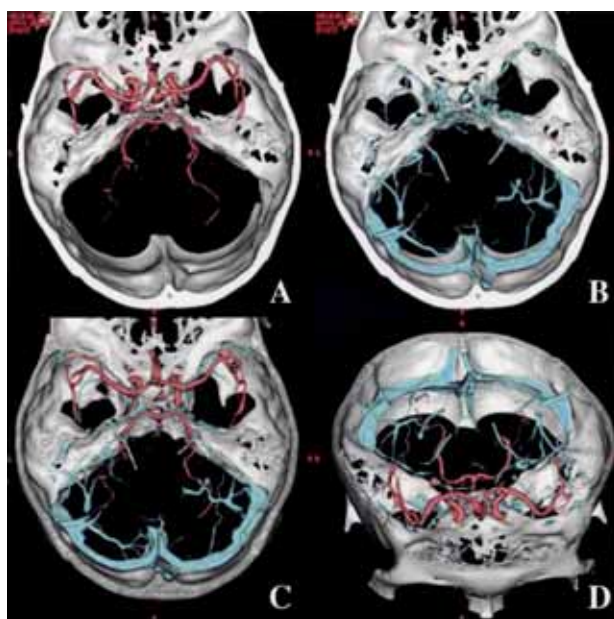


Figure 2 Arterial phase 3D-CTA, a superior view (A), showing intracranial arteries without demonstrating veins. Venous phase 3D-CTA, a superior view (B), showing veins without demonstrating arteries. The fused images of arterial phase 3D-CTA and venous phase 3D-CTA, superior (C) and anterior (D) views, demonstrating the anatomical relation between arteries and veins.



Figure 3 A: 3D-CTA, an anterior view, shows a vessel (arrows), leaving whether it is artery or vein unidentified. B: The fused image of arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA demonstrates that it is a vein (arrows).

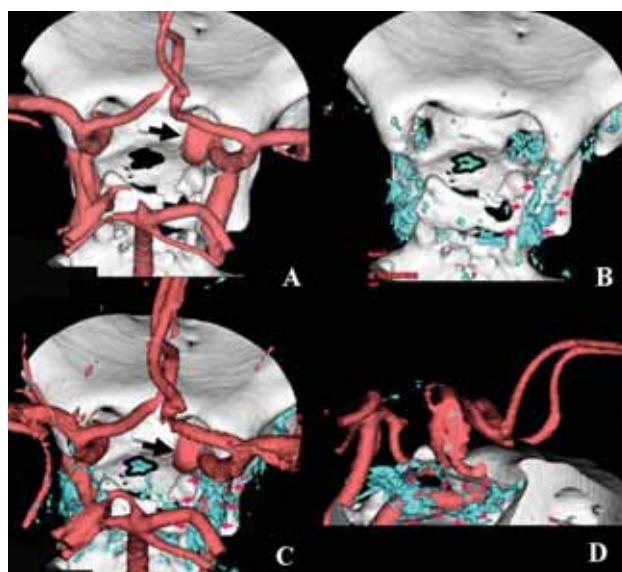


Figure 4

A: Arterial-phase 3D-CTA, a superior view, shows a right internal carotid artery-ophthalmic artery aneurysm (black arrow).

B: Venous-phase 3D-CTA, a superior view, delineates the right cavernous sinus (red arrows).

C, D: The fused images of arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA, superior (C) and right lateral (D) views, demonstrate the anatomical relationship between the aneurysm (black arrow) and cavernous sinus (red arrows and red arrowheads).

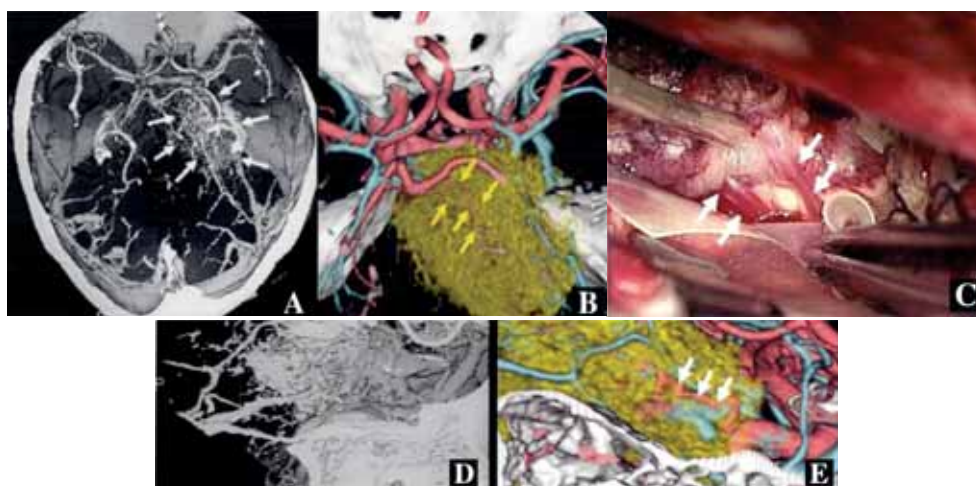


Figure 5 Meningioma.

A: 3D-CTA, a superior view, demonstrates a tumor and its surrounding vessels (arrows).

B, C: The fused image of arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA, a superior view, shows the arteries (arrows) encased by a tumor. The findings of the fused image were identical to those of intraoperative photograph (C).

D: 3D-CTA, a left lateral view, does not demonstrate an artery feeding tumor.

E: The fused image of arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA reveals a feeding artery (arrows).

余地はなく、動・静脈を確実に分離して描出することが可能であり、さらに両者を組み合わせることもできるため、動・静脈の立体的構築についての情報をも得ることができる。特に、脳腫瘍例においては、動脈相3D-CTAと静脈相3D-CTAを組み合わせることで腫瘍、動脈、静脈の相互関係について理解することが容易と

なり、手術における有用な情報となった。また、海綿静脈洞近傍に発生する脳動脈瘤において、脳動脈瘤の局在が海綿静脈洞内か外かによって手術方法が大きく異なるため、本方法によって得られる情報は特に有用であった。

ダイナミックスキャンで30～35ml、動脈相・静脈相

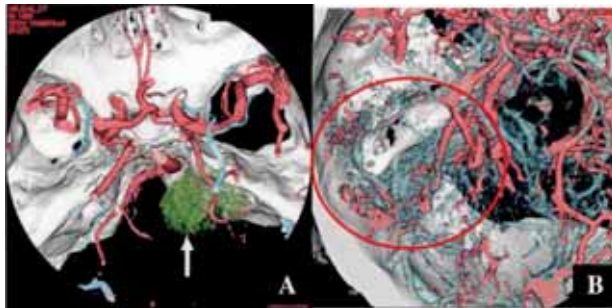


Figure 6 The fused images of arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA of right vertebral schwannoma (A) and left occipital glioblastoma multiforme (B), superior views, demonstrate a homogeneously enhanced tumor (arrow) and a heterogeneously enhanced tumor (circle).

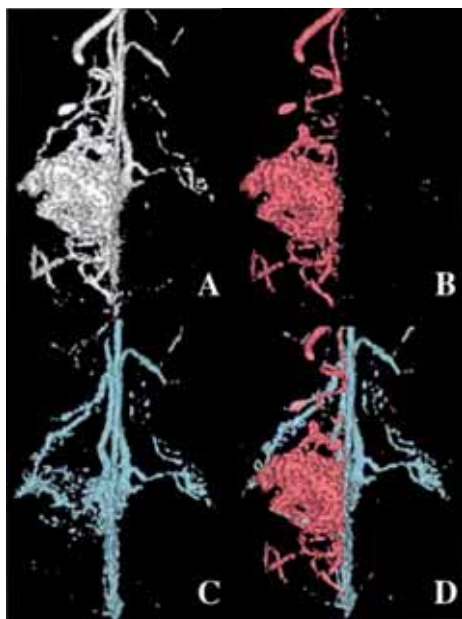


Figure 7 Arteriovenous malformation.
A: 3D-CTA shows a vascular malformation.
B, C: The arterial-phase 3D-CTA (B) and venous-phase 3D-CTA (C) reveal the arterial- and venous-phase vessels of the AVM, respectively.
D: The fused image demonstrates the arterial- and venous-phase vessels, separately.
AVM: arterio-venous malformation

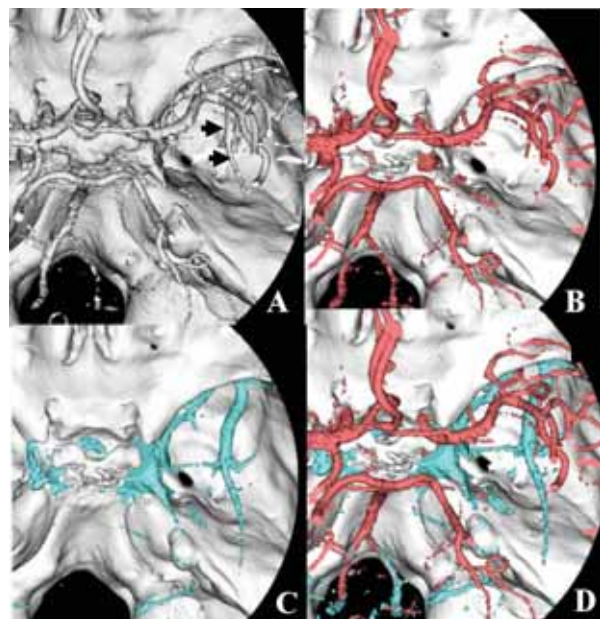


Figure 8 Venous angioma.
A: 3D-CTA shows an abnormal vessel (arrow); it is not evident whether it is obtained in the arterial- or venous-phase.
B-D: Arterial-phase 3D-CTA (B), venous-phase 3D-CTA (C), and the fused 3D-CTA image (D) clarify that the visualization is in the venous phase and a diagnosis of venous angioma is made.

スキャンで30～35ml, 計60～70mlの造影剤でスキャンを行った。総投与量は従来の3D-CTAに対する投与量100mlより少量であるため、血管描出能が低下する可能性が危惧される。しかし、動脈相では海綿静脈洞部の内頸動脈のCT値が $353.3\text{HU} \pm 39.2$ (mean $\pm$ SD, $n = 16$), 静脈相では左S状静脈洞が $300.4\text{HU} \pm 30.0$ (mean $\pm$ SD, $n = 16$)であり、従来の方法における海綿静脈洞部内頸動脈のCT値が $314.2\text{HU} \pm 62.3$ (mean $\pm$ SD, $n =$

18)に対して本方法では十分高いCT値が得られており、動脈の描出能については従来の3D-CTAよりも向上していると考えられる。

3D-CTAで動脈相と静脈相を分離するには、ダイナミックスキャンから得られた動脈相・静脈相のスキャンのタイミングが重要である。注入した造影剤の頭蓋内内頸動脈への到達時間は心拍数に最も影響を受ける。したがって、本方法を行ううえではダイナミック

スキャン時と動脈相・静脈相スキャン時で心拍数が同等であることが条件となる。心拍数が8異なると造影剤の頭蓋内内頸動脈への到着時間は1秒ずれるため¹³⁾、動脈相・静脈相スキャン時にはスキャンのタイミングを心拍数の変化により補正しなければならない。実際、心拍数が8以上異なり補正が必要であった例は4例であった。いずれも、補正によって3D-CTAで動脈相と静脈相の分離が可能であった。

スキャンのタイミングを合わせる方法としてリアルプレップがある。この方法を使えば、ダイナミックスキャンを省略できる可能性がある。しかし、前述したように、1秒のタイミングのずれで動脈相・静脈相を分離した良好な3D-CTAの描出が困難になるので、現時点では、より確実な方法であるダイナミックスキャンを行うことにしている。

本方法は、解剖学的情報に加え、従来の3D-CTAでは困難であった循環動態に関する情報も得られるようになった。脳動静脈奇形での動脈相3D-CTAと静脈相3D-CTAで描出されている血管、特に動脈相3D-CTAで描出された血管は本来であれば静脈相で描出されるべき静脈が動静脈シャントによって動脈相3D-CTAで描出されていると考えられる。すなわち、動脈相3D-CTAにおいて本来静脈相で描出される血管が認められた場合には、動静脈間のシャントの存在を示唆し、静脈相3D-CTAで動脈が描出されれば循環遅延の存在を疑わせる。

現在のところ、スキャン範囲が狭いことが欠点であるが、今後検出器列数が増えることで、スキャン範囲の拡大、さらにスキャン時間の短縮によって動脈相、静脈相以外の複数の相に対する3D-CTAの作成が可能になる。さらに進めば、脳血管撮影と同様に循環動態をも把握することができるようになるはずであり、これまでの形態画像から機能画像へと発展する可能性が高いと期待している。

文 献

- 1) Anderson GB, Findlay JM, Steinke DE et al: Experience with computed tomographic angiography for the detection of intracranial aneurysms in the setting of acute subarachnoid hemorrhage. *Neurosurgery*, 1997, **41**: 522–528.
- 2) Anderson GB, Ashforth R, Steinke DE et al: CT angiography for the detection and characterization of carotid artery bifurcation disease. *Stroke*, 2000, **31**: 2168–2174.
- 3) Harbaugh RE, Schlusberg DS, Jeffery R et al: Three-dimensional computed tomographic angiography in the preoperative evaluation of cerebrovascular lesions. *Neurosurgery*, 1995, **36**: 320–327.
- 4) Hu H: Multi-slice helical CT: scan and reconstruction. *Med Phys*, 1999, **26**: 5–18.
- 5) Hu H, He HD, Foley WD et al: Four multidetector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. *Radiology*, 2000, **215**: 55–62.
- 6) Kato Y, Nair S, Sano H et al: Multi-slice 3D-CTA—an improvement over single slice helical CTA for cerebral aneurysms. *Acta Neurochir*, 2002 (wien), **144**: 715–722.
- 7) Klingenberg-Regn K, Schaller S, Flohr T et al: Subsecond multi-slice row computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol*, 1999, **31**: 110–124.
- 8) 松本正人, 児玉南海雄: ヘリカルCTを用いた脳神経外科領域における三次元画像診断. *福島医学誌*, 1995, **45**: 303–314.
- 9) 松本正人, 佐藤直樹, 小林 亨 他: 救急症例に対するHelical CT scanの経験—特にクモ膜下出血例について—. *脳卒中の外科*, 1996, **24**: 177–185.
- 10) Matsumoto M, Sato M, Nakano M et al: Three-dimensional computerized tomography angiography-guided surgery of acutely ruptured cerebral aneurysms. *J Neurosurg*, 2001, **94**: 718–727.
- 11) Matsumoto M, Endo Y, Sato M et al: Acute aneurysm surgery using three-dimensional CT angiography without conventional catheter angiography. *Fukushima J Med Sci*, 2002, **48**: 63–73.
- 12) Wintermark M, Uske A, Chalaron M et al: Multislice computerized tomography angiography in the evaluation of intracranial aneurysms: a comparison with intraarterial digital subtraction angiography. *J Neurosurg*, 2003, **98**: 828–836.
- 13) 仲野雅幸, 遠藤雄司, 小林 亨 他: Helical CT scanにおける至適scan delay timeの設定法の検討. *脳卒中の外科日本脳神経CT研究会抄録集*, 1997, **20**: 173.

Separate Demonstration of Arterial Phase and Venous Phase on 3D-CT Angiography (3D-CTA) Using Multi-detector Row CT (MDCT)

Masato Matsumoto, Jun Sakuma, Kyouichi Suzuki, Tatsuya Sasaki, Ryouji Munakata, and Namio Kodama

Department of Neurosurgery, Fukushima Medical University, Fukushima, Japan

Key words: 3D-CT angiography, arterial-phase, venous-phase, multi-detector row CT

Purpose: The aim of this study was to develop the separate demonstration of arterial and venous phases on 3D-CT angiography (arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA) by using a multi-detector row helical CT (MDCT) with a single bolus injection of contrast material.

Method: Fifty-five patients with central nervous system disorders were studied. The dynamic scan was performed to determine the optimal scan delays of arterial-phase 3D-CTA and venous-phase 3D-CTA. Based on the data of the dynamic curves, the MDCT underwent during arterial phase for 5 seconds and venous phase for 5 seconds with a 4-second interval after a single bolus injection of contrast medium.

Results: In all cases, the separate demonstration of arterial- and venous-phases on 3D-CTA were successfully achieved. The fused image of arterial- and venous-phase 3D-CTAs facilitated the understanding of the anatomical relation with tumors, surrounding arteries and veins. As a results, useful information for surgical planning and orientation was obtained.

Conclusions: Our findings suggest that the separate demonstration of arterial- and venous-phases on 3D-CTA using MDCT contributes to the diagnostic accuracy, surgical planning and the safety of the surgery.

(J Jpn Coll Angiol, 2005, **45**: 589–595)