

造影 MR angiography と脳表像の合成表示の 臨床的有用性について

小倉祐子¹, 片田和廣², 藤沢和久³, 安倍雅人³,
安野泰史², 竹下元¹, 神野哲夫³, 古賀佑彦¹

¹藤田保健衛生大学医学部放射線科 ²同 衛生学部

³同 医学部脳神経外科

方法および対象

はじめに

われわれは、脳表構造を直接画像表示可能な撮像法として、MRI 脳表撮像法 (Surface anatomy scanning, 以下 SAS) を開発し、臨床応用を行ってきた^{1)~3)}。SAS は、脳溝、病変部、皮切予定部位および主要脳表静脈の位置的關係を一画像上に表示することが可能で、とくに開頭手術の術前シミュレーションにおける有用性が評価されている。皮質・皮質下病変の開頭術前シミュレーションにおいては、脳表静脈と病変の位置的關係をあきらかにすることが非常に重要とされるが、従来の SAS による静脈描出能は、症例によってはときに不十分なことが経験されていた。とくにスピンエコー法による SAS 原法ではなく、SSFP を用いた高速撮像法においてこの傾向が顕著であった。われわれは、この欠点を補うため、術視野に合わせて撮像した高速 SAS 像に、同一スラブで撮像した造影 MR angiography (以下 MRA) 像を合成表示することにより、脳表像に脳表静脈の情報を付加することと考案し、臨床的検討を行った。これにより、興味ある結果が得られたので報告する。

MRI 装置は島津製作所製 SMT-150 (1.5T 超電導型) を使用した。MRA は、slow flow の描出に優れるとされる 2D time of flight (以下 TOF) 法を用いた。撮像条件は、以前われわれがおこなった基礎的検討から最適条件と思われる比較的長い TR, 比較的大きいフリップアングル (以下 FA) として⁷⁾, TR=80ms, FA=80° を選択した。TE はわれわれの装置において取り得る最短の 12ms に固定し、平均加算回数 1 回、マトリックスサイズ 256×256, 5mm スライスとした。これらの条件にて、頭頂部にて連続する 6 から 10 画像を得たのち、MIP 処理を行った。MRA は、通常の T₁強調画像、T₂強調画像撮像後に、MRI 造影剤 (0.1mmol/kg) を肘静脈より bolus に静注した後、上記撮像条件にて撮像した。一方、SAS 像には、定常歳差状態から RF パルス直前のエコーを収集する高速 T₂撮像法 (STERF 法: steady-state technique with refocused FID) を使用した⁴⁾。その撮像条件は、TR/TE=35ms/26ms, FA 60°, 平均加算回数 2 回、マトリックスサイズ 256×256 とした。

対象は、手術にて組織型を確認し得た脳腫瘍

キーワード enhanced MR angiography, surface anatomy scanning, synthesized image

Table 1. Summary of cases

Case (Age/Sex)	Location	Histology
1. 67F	Lt. Post. CG	glioma (grade 4)
2. 41M	multiple	adenocarcinoma
3. 56M	Lt. Calcarine	adenocarcinoma
4. 69M	Rt. MFG	adenocarcinoma
5. 78M	Rt. MTG	adenocarcinoma
6. 56M	Rt. FL~Pre. CG	glioma (grade 3)
7. 77F	Lt. Post. CG	glioma (grade 4)
8. 53M	Lt. MFG	oligodendroglioma

Post. CG : Postcentral gyrus Pre. CG : Precentral gyrus
MFG : Middle frontal gyrus MTG : Middle temporal gyrus
FL : Frontal lobe

8例で、組織型の内訳は、神経膠腫4例、転移性脳腫瘍4例であった (Table 1)。スライス面の決定にあたっては、開頭術時の術視野と、得られる脳表像が一致するように、腫瘍を含み、かつ頭皮および脳表の曲率に接線方向にスラブを設定した。3例においては、皮切予定部位、もしくは腫瘍の存在推定部位に、マーキングのために、水道水を注入したチューブを貼付し、位置決め用矢状断像もしくは冠状断像上で、頭皮上のチューブの2断面が含まれるような断面を撮像面として設定した。

上記の方法にて得られた SAS 像、MRA 像を白黒反転し、コンソール上で画像合成を行った。また、スキャンコンバータから、ビデオ信号を介して、両者の画像をパーソナルコンピュータ (Macintosh II fx, memory 8MB, color board : Raster Ops 364) に取り込み、画像ソフト (Adobe photoshop v. 1.0) 上での疑似カラー合成をも試みた。

結 果

8例の造影 MRA では、7病変に造影効果が認められ、静脈と病変は同一画面上に描出され

た。静脈の描出能に関しては、患側の静脈の描出が健側に比し劣っていたものが2例認められた。この2例は、T₂強調画像上、腫瘍周囲の浮腫が顕著なものであった。撮像断面別では、軸位断7例、矢状断1例、冠状断1例であった。全例において、主な静脈洞は良好に描出されたが、脳表静脈に関しては、軸位断での撮像が最も優れていた。

SAS 像と造影 MRA との画像合成により、脳表静脈、脳回、病変が同一画像上に描出し得た。病変周囲に高度の浮腫が存在し、SAS 像上、病変と浮腫の境界が不明瞭な症例においては、病変の局在判定が困難であったが、造影 MRA 像上、病変部に造影効果を有したため、合成画像上、両者間にコントラストが生じ、両者の識別は可能となった。

この合成操作は、パーソナルコンピュータ上では全例に、コンソール上では両画像のマトリックスサイズが合致した2症例にのみ施行された。コンソール上での画像の合成操作は、操作時間が数秒と短く簡便であったが、SAS 像と MRA 像のマトリックスサイズに留意する必要があった。またコンソール上では、静脈、脳溝、病変がいずれもグレイスケールで表示されるため、3者のコントラストが得難く、これらの重なり合った部位での個々の判読は困難であった。一方、パーソナルコンピュータ上での合成操作は、操作が繁雑である上、ビデオ信号に変換する際に若干の画像劣化を伴った。しかし、マトリックスサイズの異なる画像間においても合成が可能であり、しかもそれぞれの画像を疑似カラー表示することにより、静脈と脳溝を識別し得た。症例を呈示する。

症例：67歳、女性、神経膠腫 (grade 4)

血管造影側面像では、左頭頂葉深部に淡い腫瘍濃染像が認められ、この表層を走行する2本の脳表静脈が確認されたが、腫瘍との直視下的な位置関係の把握が困難であった (Fig. 1a)。一

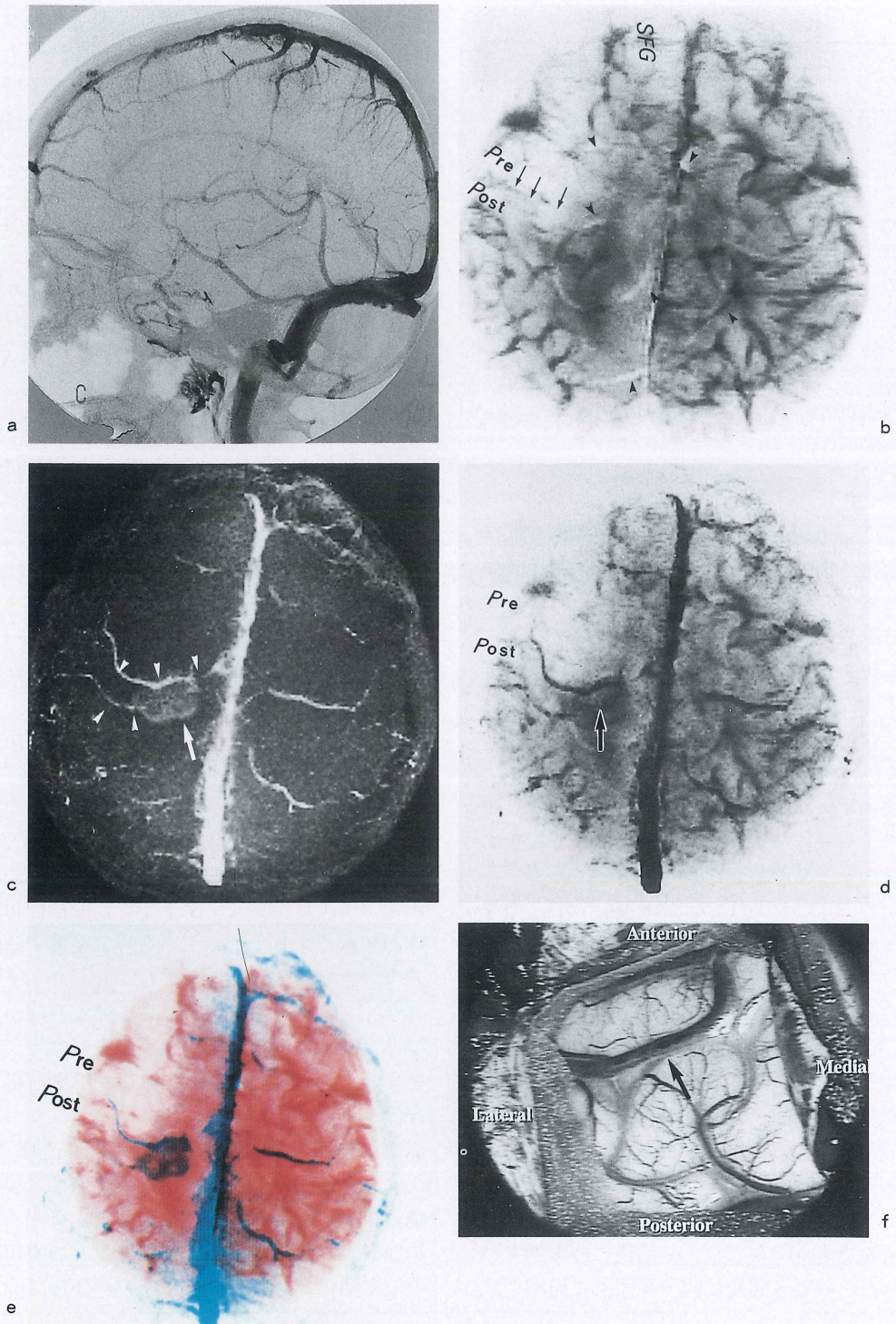


Fig.1

方, SAS 像では, 左頭頂部中心前回深部に腫瘍像が黒く描出され, 周囲に浮腫が淡く描出されていた。また頭皮に貼付した腫瘍用のマーキング内に腫瘍が存在していることが判明された (Fig. 1b)。造影 MRA では, 造影効果を示した腫瘍は, その表層を平行に走行する 2 本の脳表静脈の間に位置していることが確認された (Fig. 1c)。両者のコンソール上の合成画像では, 皮切マーキング, 腫瘍存在推定用マーキング, 脳回, 腫瘍, 脳表静脈が同一画面に描出された。しかし, 合成画像上では, 合成前の各画像に比し, 個々の脳表構造物のコントラストが低下し, 重なり合った部分では個々の識別が困難となった。(Fig. 1d)。パーソナルコンピュータ上での合成画像では, 両面像をそれぞれ疑似カラー表示することにより, 腫瘍と浮腫, 脳回と静脈の識別が容易となった (Fig. 1e)。開頭後の術所見では, 2 本の脳表静脈が確認された (Fig. 1f)。腫瘍へのアプローチには, 運動領野の機能温存のため, 後方に位置した脳表静脈のさらに背側から斜前方への経路が選択され, 最小の corticotomy にて腫瘍に到達することができた。術後の神経学的機能脱落は認められなかった。

考 察

大脳皮質・皮質下病変に対する手術的アプローチに際して, 脳表静脈は, 病変局在の判定, 皮質切開部位の決定などのランドマークとして重要な意義を有している。SAS は, 脳回, 脳溝, 主要脳表静脈と皮質・皮質下病変, 術野との相対的位置を, 同一画像上に直接画像化し得る唯一の撮像方法として, 臨床的評価を受けているが^{1)~3)}, 現在主として用いられている 256×256 マトリックスの解像度では, 脳表静脈の描出能は十分とはいえなかった。今回のわれわれの試みは, 手術のアプローチの指標として重要視されている脳表静脈を MRA により画像化し, SAS 像と重ね合わせることにより, より良好な脳表構造のオリエンテーションを得ようとするものである。

その第 1 段階として, まず, 術視野での脳表静脈像の描出法について検討する必要がある。われわれは以前, 脳表静脈の最適撮像条件を検討した結果, 現時点の 2D-TOF 法にて撮像する場合, 比較的長い TR, 高 FA を選択することが望ましいという結果を得た。今回はこれに基

Fig.1. Case : 67-year-old female, glioblastoma.

- a) Conventional left internal carotid angiography from lateral view. The two cortical veins (arrows) of parietal lobe was visualized above tumor stain.
- b) SAS (Surface Anatomy Scanning) image acquired by STERF (steady-state technique with refocused FID) technique. Subcortical tumor, surrounding edema, cerebral sulci and water filled plastic tubes applied on patient's skin as skin markings (arrowheads) were demonstrated simultaneously. The tumor was thought to be located under the precentral gyrus by the identification of the central sulcus (arrows). Note the tumor and edema were not differentiated on SAS. Pre : Precentral gyrus, Post : Postcentral gyrus, SFG : Superior frontal gyrus
- c) Contrast enhanced MRA from the operative view. The subcortical tumor (arrow) enhanced with Gd-DTPA were demonstrated between the two cortical veins (arrowheads).
- d) Brain surface image generated by synthesizing of SAS and enhanced MRA using standard additional program of MR scanner. Sulci, cortical veins, lesion, and the skin markings were displayed on the same image, however each structure was not identifiable sufficiently because of the overlap of these structures. Pre : Precentral gyrus, Post : Postcentral gyrus, arrow : operative pathway
- e) Brain surface image generated by synthesizing of SAS and enhanced MRA by means of personal computer. The tumor and cortical veins, which were imaged by blue gradation, were well separated from cerebral sulci, lesion, and skin markings which were demonstrated by red gradation. Pre : Precentral gyrus, Post : Postcentral gyrus
- f) Brain surface from operative view. The two cortical veins were recognized on brain surface. arrow : operative pathway

づき、造影剤を併用して、臨床応用した。その結果、脳表静脈を比較的良好・かつ簡便に画像化可能であった。この方法の利点は、第1に、通常の脳血管造影では得難い頭頂からの血管像が容易に得られる点である。頭頂部の脳表静脈は上矢状静脈洞への流入直前でしばしば屈曲し、脳血管造影側面像上、上矢状静脈洞と重なるため、その走行、静脈洞への流入部位を正確に捉え難い。これに比し本法は、頭頂部脳表静脈の走行をより正確に把握することが可能であった。第2に、脳血管造影上、腫瘍濃染像が乏しく、病変部位を描出し難い症例においても、造影MRA像ではMR造影剤の高い感度、MRIの高いコントラスト分解能により、病変部が描出し得る点である。これにより静脈と病変部の相対的位置関係がより明瞭となり得た⁵⁾。また、MRA全般の利点である無侵襲性も、本法の利点の一つとして挙げられる。

SAS像とMRA像を合成する手法としては、MRI装置のコンソール上で行うオンライン法と、パーソナルコンピュータで重ね合わせを行うオフライン法の2法を検討した。コンソール上での画像の合成操作は、操作時間が数秒と短かく簡便な利点を有する反面、カラー表示が不可能なため、静脈、脳溝、病変の3者間のコントラストが低下し、個々の判読が困難といった問題点を有していた。一方、パーソナルコンピュータによるオフライン法は、データ転送上の複雑さ、若干の画像劣化などの問題点はあるが、カラー表示により静脈と脳溝のコントラストを増し、識別をより容易にすることが可能であった。将来的には、コンソール上でのカラー表示化、あるいは、コンソールからパーソナルコンピュータへのオンラインでのデータ転送が可能となれば、より迅速・良質な臨床応用が可能になると思われる。

SASとMRAの合成画像の臨床上的利点として第1に挙げられるのは、術前に必要な脳表構造物の情報全てが一枚の画像上に集約して描出される点である。すなわち、脳回、脳溝、病巣、浮腫などSASにて表示される情報に加え、2D-

TOF法による脳表静脈、腫瘍本体の増強像の情報が、同一画像上に正確な位置関係を保って表示可能である。さらに重要なのは、皮切予定部位にマーキングを貼付することにより、前記諸構造と皮切部位の相対的位置があきらかとなり、開頭手術に先立っての皮切部位・範囲の評価決定、corticotomy部位の決定などの術前シミュレーションに有用な手段となり得ることである。

また、SASはT₂強調画像をその基本原理としているため、その欠点として、共にT₂が延長する病巣部と周囲浮腫との識別が困難となる点が指摘されてきた⁶⁾。合成画像では、造影MRA像上での腫瘍の造影効果が表示されるため、両者が分離され、脳表像上での正確な腫瘍範囲の判定が可能となる。一方、2D-TOF法による造影MRAでは、病変部に造影効果が認められない場合、病変の描出は不可能であるが、SAS像上のT₂延長領域から、両者の合成画像上では血管・病巣双方が描出可能となる。このように、SASとMRAの画像の合成表示は、SAS、MRA両者の欠点の一部を克服する上でも有用と考えられる。

本法の利点としていま一つ挙げられるべきは、本法が特別な装置・プログラムなしで実施可能な点である。現在2D-TOF MRAが実施可能なMRI装置の数は多い。また、SAS原法はSE法T₂強調像が得られる装置ならばどれでも実施可能である。画像合成は、多くの装置ではコンソール上で可能であるが、不可能な場合でもフィルムを重ね合わせることにより観察は可能である。すなわち、どこの施設においても広く実施が可能な点は、3次元表面再構成法などと比較した場合の利点と考えられる。

現時点での本法には、いくつかの問題点が存在する。まず、造影MRAに関する問題点としては、第1に、患側の半球に高度の浮腫を有する場合、患側の静脈の描出能が健側に比し低下していたことが挙げられる。この原因として、患側半球の静脈が、高度の占拠性効果による圧排のために、血流の遅延・血管径の狭小化を来し、設定された撮像条件では十分に画像化

し得なかった可能性がある。また、顕著に造影された病変に重なる淡い血管像が、MIP 処理の過程で失われ、抽出されなかったという可能性も考えられる。今後、遅延した血流に対応し得る撮像条件を検討していく必要があると考えられる。

第 2 の問題点として、撮像断面と静脈の血流方向との関係によって静脈の描出能が異なる点がある。TOF 法の性格上、静脈の走行に直交する断面での静脈描出能に比較し、静脈と断層面が平行に近づくほど静脈描出能が劣る。これは造影剤を併用することにより、ある程度解決が可能であった。

画像合成に関する問題点として、両者の画像の座標系に misregistration が生ずる可能性が指摘される。SAS 像と造影 MRA 像は、同一装置上で得ることができ、座標系も同一であるため、従来放射線診断の分野において種々試みられてきた異なる modality 間の画像合成と比較すれば、比較的容易と考えられる。しかし、SAS 像においては、設定スラブが厚いため、わずかな周波数の誤差により、画像中心がずれる可能性がある。従って、傾斜磁界、高周波系の正確な調整が必要となる。

また撮像断面の設定上の問題として、頭部の曲率により、脳表像が実際の術野と微妙に異なる場合が認められた。すなわち、自験例では、頭頂部や側頭部など、比較的頭蓋の曲率が低い面では“ずれ”は少なく、実際の術野に比較的よく合致していたが、曲率の強い部位や、皮切予定部位が体軸に対し傾斜した場合などでは、完全な一致を得ることは難しかった。今後の対策としては、3 次元的な断面設定方法の考案、複数枚の断面から作製する SAS 法の使用、3 次元表面再構成法等による多角度からの観察などについても検討する必要がある。

以上、いくつかの検討課題はあるものの、造影 MRA 像と SAS 像の合成像は、現時点において脳溝、脳表静脈、皮質下腫瘍、浮腫、頭皮マーキングなど、開頭術前検査に必要とされる画像情報の全てを同一画面上に同時に表示し得る唯一の

実用的な方法であり、術前シミュレーションの手法としての臨床的意義は大きいと考えられる。

結 語

- (1) 2D-TOF 法を用いた造影 MRA により、術野からの脳表静脈像の描出を臨床例 8 例に試みた。
- (2) 造影 MRA 像を施行した結果、病変と脳表静脈を同一画像に描出し得た。
- (3) 造影 MRA 像と SAS 像の重ね合わせ表示により、脳溝、病変、脳表静脈、皮切部位のすべてを同一画面に描出することが可能であった。この合成画像は、SAS 像、造影 MRA 像の欠点の一部を補足し得た。
- (4) 本法は、脳表構造物の位置的把握に有用で、術前シミュレーションに応用可能と思われた。

本論文の主旨は、第 18 回日本磁気共鳴医学会大会（熊本）にて発表した。

文 献

- 1) 片田和廣, 安野泰史, 竹下 元他; MRI による脳表面構造撮像法の考察. 日磁医誌, 9 : 215-225. 1989.
- 2) Katada K, Koga S, Kanno T et al.: MR imaging of brain surface structures : Surface anatomy scanning (SAS), Neuroradiol, 32 : 439-448, 1990.
- 3) 阿部 守, 片田和廣, 安倍雅人他; 大脳皮質下血管腫の手術アプローチにおける MRI 脳表描出法の有用性について. CT 研究, 12 : 15-20, 1990.
- 4) 片田和廣, 竹下 元, 安野泰史; 高速 T₂撮像法 (STERF) を用いた脳表撮像法. 日磁医誌, 9 (suppl. 2) : 105, 1990.
- 5) 大内敏宏, 徳丸阿耶; 中枢神経系における MR Angiography の臨床的有用性. 神経進歩 34 : 765-776. 1990.
- 6) 隅田昌之, 魚住 徹, 桑原 敏他; Surface anatomy scan (SAS) の手術所見の比較. CT 研究, 13 : 133-138. 1991.
- 7) 小倉祐子, 片田和廣, 安野泰史他; MR angiography による脳表静脈描出に関する基礎的検討について. 藤田学園医学会誌. 投稿中

Clinical Usefulness of Synthesized MR Angiography and Surface Anatomy Scanning

Yuko OGURA¹, Kazuhiro KATADA², Kazuhisa FUJISAWA³,
Masato ABE³, Hirohumi ANNO², Gen TAKESHITA¹,
Tetsuo KANNO³, Sukehiko KOGA¹

¹*Department of Radiology, School of Medicine, Fujita Health University
1-94 Dengakugakubo Kutsukake-cho, Toyoake-city, Aichi-ken 470-11*

²*School of Health Sciences, Fujita Health University*

³*Department of Neurosurgery, School of Medicine, Fujita Health University*

The purpose of this study is to develop an imaging technique that can visualize cortical sulci and cortical veins on the same image by synthesizing MR angiography (MRA) image and surface anatomy scanning (SAS) image, and to evaluate clinical usefulness of the technique for surgical planning.

Data of MRA were acquired with two-dimensional time of flight sequence after the administration of Gd-DTPA intravenously. Eight cases with surgically proven brain tumors were studied using this technique. Contrast enhanced MRA successfully demonstrated 7 of 8 brain tumors with cortical veins. On synthesized images, cortical sulci, superficial veins, tumor and skin markings were visualized on the same image. Synthesized brain surface image was thought to be an effective method for the presurgical planning and simulation, and it could be a method to overcome one of the disadvantages of SAS by differentiating an enhanced tumor from the surrounding edema.