

MRIによる脳表面構造撮像法の考案

片田和広*, 安野泰史*, 竹下元**
古賀佑彦**, 神野哲夫***, 榊原立雄****
山田和弘****, 鈴木宏和****, 斉藤繁起*****

*藤田保健衛生大学衛生学部
**藤田保健衛生大学, 放射線科
***藤田保健衛生大学, 脳神経外科
****杉石病院放射線科
*****東芝那須工場
*****東芝メディカル

1. はじめに

高度の機能局在を有する大脳の画像診断において、病巣の正確な局在判定は、各種治療の実施、予後の判定に際し欠くことができない。このため、従来より様々な画像診断法が用いられてきた。近年のCT, MRIをはじめとする各種画像診断法の目覚ましい発達にもかかわらず、脳溝・脳裂・脳回などの脳表構造の全体像を、非侵襲的に直接画像化し得る検査法は知られていない。

われわれは今回、広範囲の信号収集が容易で、目的とする物質の信号強度を強調できるという

MRIの特性を生かし、脳表構造を planar image として、短時間に直接画像化する方法を考案した (Surface anatomy scanning, SAS法)。初期の臨床応用を行い、本法の有用性を確認したので報告する。

2. 方法および対象

本法の基本原理は以下の3部分よりなる。1) スピン・エコー法において、エコー時間 (TE) の著しく長い、高度の T_2 強調像を得ることにより、高度の髄液強調画像を得る。同時に、脂肪・皮膚・皮下組織・脳からの信号は抑制される。2) スライス巾を6~8cmと厚くし、planar

キーワード MRI, brain cortex, cortical sulci, surgical planning

image を得るのに十分な範囲の脳表構造を励起する。

3) コイルからの距離に比例して信号強度が減

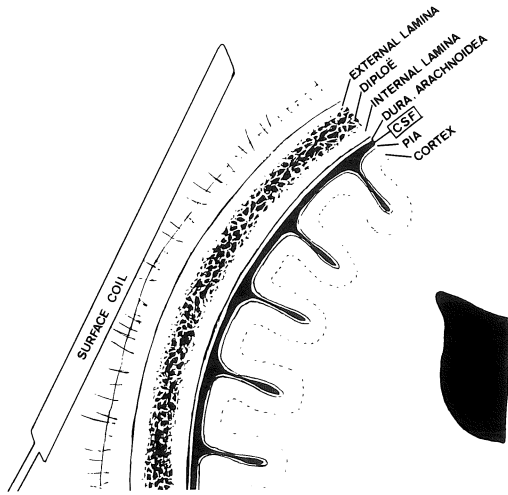


Fig.1 Basic idea of SAS

衰するという表面コイルの性質を利用し、脳表部分の信号強度を強調するのに加え、脳室など深部構造からの信号の重畳を極力排除する。

上記1) から3) を組み合わせることにより、脳溝・脳裂内に入り込んだ脳表の髄液を、あたかも天然の造影剤のごとく利用することができる。すなわち、脳溝内の信号強度は、その深さにしたがって積算されるのに対し、脳回部分においては、髄液層は比較的薄く、両者の間に十分な対比度が得られる (Fig.1)。

使用した MRI 装置は 0.5 T 超伝導システム、東芝 MRT-50 A である。TR 200 ms, TE 250 ms のスピネコー法 (SE 法) を用い、マトリックス数 256×256、励起回数 1 ないし 2 回、スライス巾 6~8 cm、2 次元フーリエ法で画像を得た。得られた原画像は、脳溝部分が高信号強度域として示されるが、視認性をより高めるために、グレイスケール反転処理を加え、脳溝を黒く表

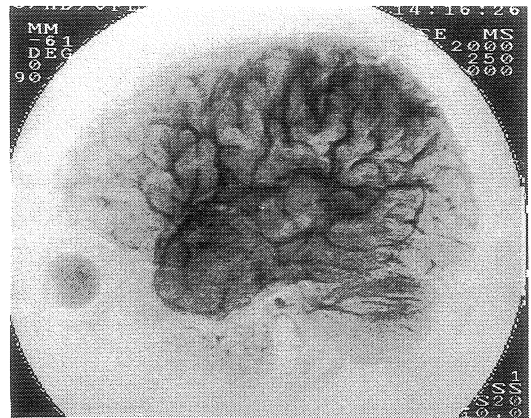
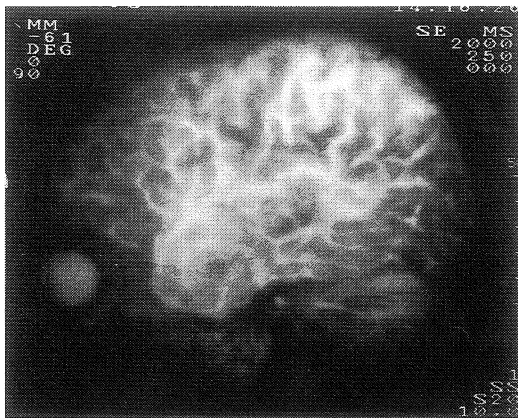


Fig.2 a.

Original SAS image of normal volunteer (34Y.O. male).

Left lateral view.

Sulci and fissures are demonstrated as bright bands owing to the long T2 of the cerebrospinal fluid.

b. SAS image processed by gray scale inversion and 2D filtering shows significant improvement in the delineation of cortical sulci and gyri.

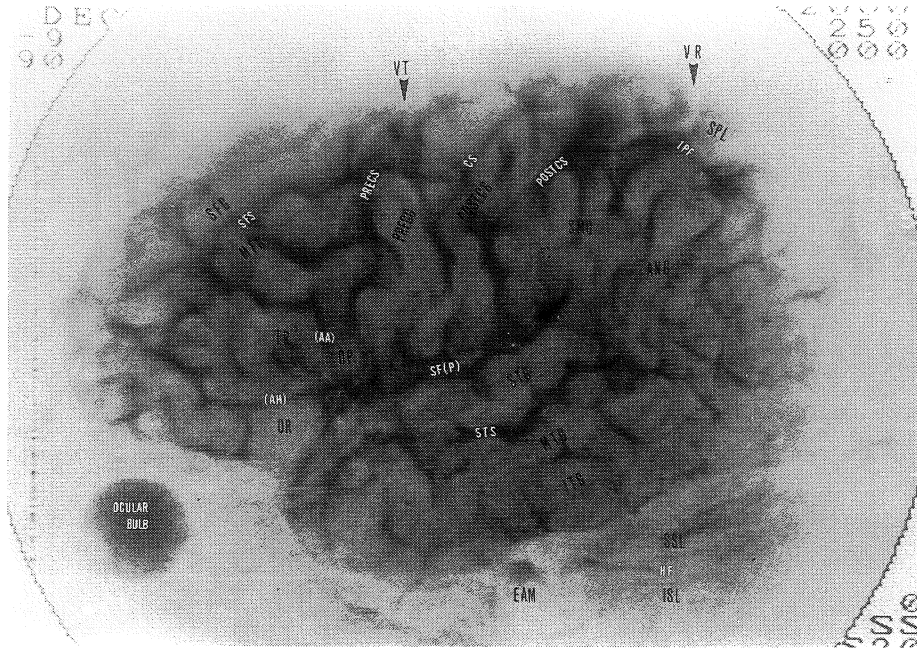


Fig.3 Normal cortical gyri and sulci demonstrated by SAS (48 Y.O. male, left lateral view).

SFG: Superior frontal gyrus

MFG: Middle frontal gyrus

OR: Pars orbitalis

TR: Pars triangularis

OP: Pars opercularis

of the
inferior

frontal gyrus

SFS: Superior frontal sulcus

SF: Sylvian fissure

(AH): Anterior horizontal ramus

(AA): Anterior ascending ramus

(P): Posterior ramus

PRECG: Precentral gyrus

POSTCG: Postcentral gyrus

SMG: Supramarginal gyrus

ANG: Angular gyrus

SPL: Superior parietal lobule

STG: Superior temporal gyrus

MTG: Middle temporal gyrus

ITG: Inferior temporal gyrus

SSL: Superior semicircular lobule

ISL: Inferior semicircular lobule

PRECS: Precentral sulcus

CS: Central sulcus

POSTCS: Postcentral sulcus

IPF: Interparietal fissure

STS: Superior temporal sulcus

HF: Great horizontal fissure

VT: Vein of Trolard

VR: Vein of Roland

EAM: External auditory meatus

示した。加えて、2次元フィルター処理により、エッジ強調画像を得た(Fig.2)。なお、信号収集に要した時間は、1回励起の場合8.5分、2回の場合17分である。

過去4ヶ月間に、6例の正常ボランティアを

含む31例に対し、本法を施行した。その内訳は、正常10例、頭蓋内腫瘍9例、脳動静脈奇形4例、脳梗塞2例、その他6例である。正常例と脳動脈奇形の各1例において、同一部位を7度の視差で2回撮像することにより、立体視可能な像

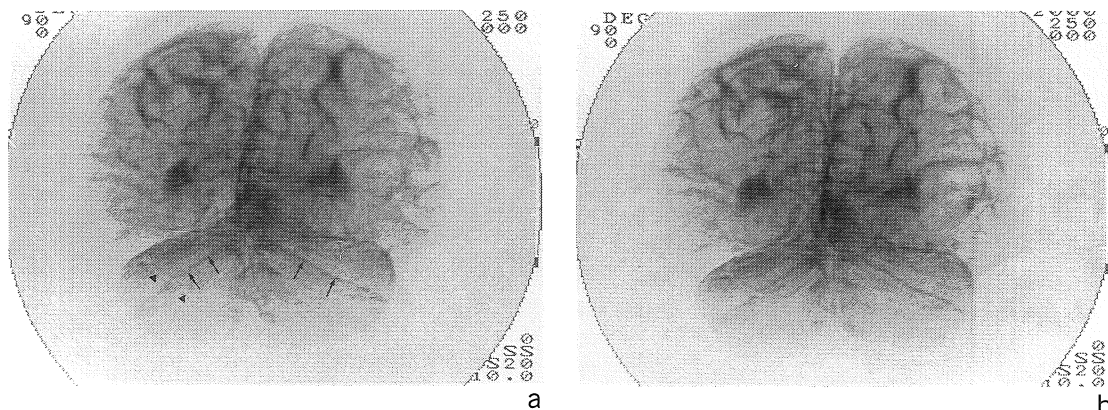


Fig.4 a, b. A stereographic pair of the posterior view SAS images (40Y.O. male). Interhemispheric fissure, great horizontal fissures (↑), and left inferior hemispheric vein (▲) are demonstrated. Overlapped shadows of fourth ventricle and occipital horns of the lateral ventricles are present.

を得た (Fig.4, 6)。表面コイルをあてる位置を変えることにより、種々の方向からの脳表の画像化が行われた。すなわち、左右側面像 17 例、前面像 3 例、斜位像 6 例、後面像 5 例である。励起回数は 6 例において 2 回で、他は 1 回励起で行われた。

3. 結 果

31 例中 27 例において、良好な画質の脳表像が得られた。グレイスケール反転、フィルター処理の post process は有効で、脳溝の視認性は高まった (Fig.2)。

正常例においては、主要脳溝、脳裂が明瞭に判定され、これにより脳回の同定が可能であった。また、トロラード静脈、ローランド静脈などの主要な脳表静脈も判定可能であった (Fig.2b, 3)。中大脳動脈など主要動脈皮質枝は認められなかった。

側面像では、シルビウス裂後枝に加え、前水平枝、前上行枝が描出され、これにより下前頭回の眼窩部、三角部、弁蓋部が同定可能であった。

中心溝、中心前溝、中心後溝は全例で判定可能で、運動領野 (中心前回) を cortical strip として認めることができた。また、シルビウス裂後枝、上側頭溝後端 (後上枝) および頭頂間溝から、通常の CT や MRI で判定困難な緑上回、角回をも同定し得た。これらに加え、小脳水平裂、眼球、外耳孔なども、良好に描出された (Fig.2b, 3)。後面像においては、大脳半球間裂、小脳一大脳境界面 (小脳天幕面) や、大槽、小脳水平裂、下虫部静脈などが認められた (Fig.4)。前面像では、大脳半球間裂、上前頭溝、眼球が、斜位像では相当部位の脳溝、脳回が同定可能であった。本法では、脳溝拡大のない 10 代～20 代の若年ボランティアにおいても、脳溝、脳回の判定が可能であった。

臨床症例においては、脳溝、脳回とともに、皮質、皮質下の病変が描出され、病変の局在判定が可能であった (Fig.5-9)。とくに脳腫瘍症例では、局在判定に加え、術前検査として脳外科医のオリエンテーションを高めるうえでも有用であった (Fig.5)。脳動静脈奇形の 1 例においては、nidus とともに、拡張した導出静脈が明瞭に

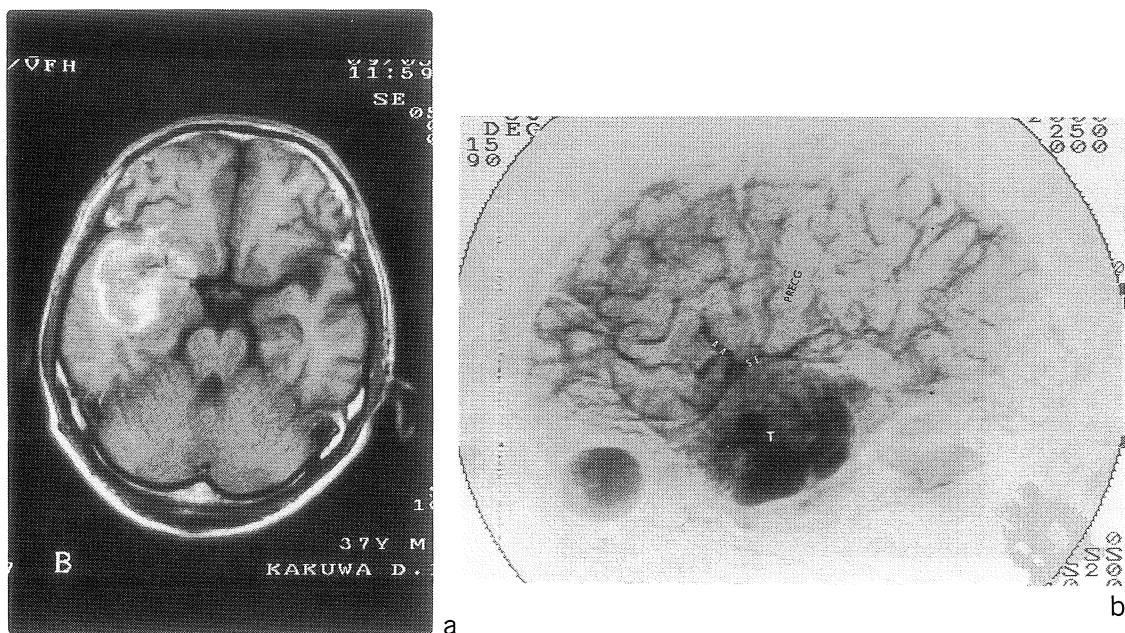


Fig.5 a. Axial spin echo image (TR = 500 msec., TE = 30 msec.) with Gd-DTPA injection shows the enhancement of the left temporal astrocytoma.
 b. SAS image clearly demonstrates the infra-sylvian location of the astrocytoma. The sylvian fissure (SF) is elevated and deformed by the tumor (T). AA: Anterior ascending ramus of the sylvian fissure PRECG: Precentral gyrus

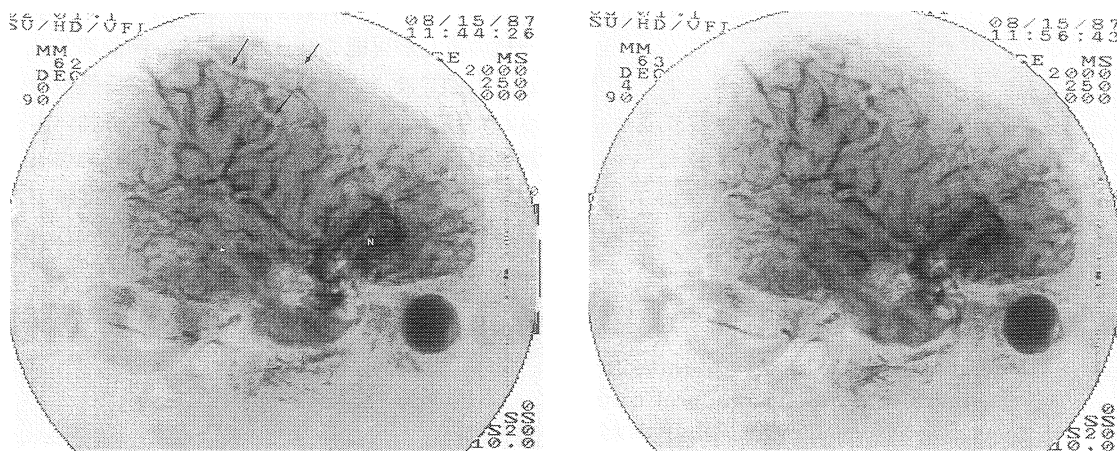


Fig.6 a, b. A stereographic pair of the right lateral SAS images demonstrates nidus (N) of the AVM located at inferior frontal gyrus as well as dilated cortical veins (↑).

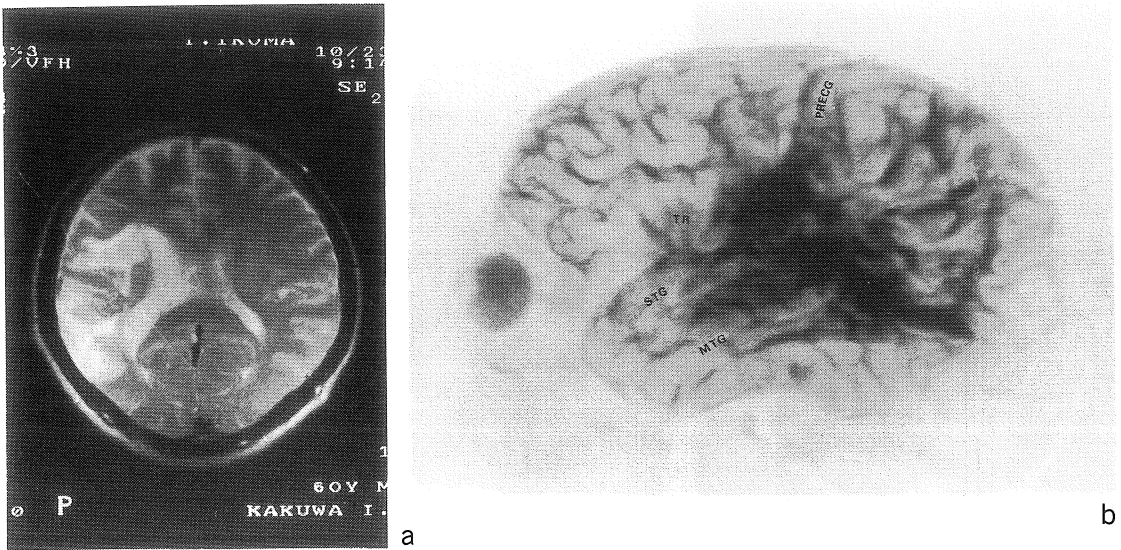


Fig. 7 a. Axial conventional spin echo images (TR = 2500 msec., TE = 120 msec.) demonstrates cerebral infarction in left middle cerebral artery territory.
 b. Left lateral SAS image of the same patient clearly delineates the extent of the infarction. Note that the posterior part of the superior and middle temporal gyrus (STG, MTG) as well as inferior portion of the motor cortex (PRECG) are involved by the lesion, however, pars triangularis (TR) of inferior frontal gyrus and the inferior parietal lobule are spared.

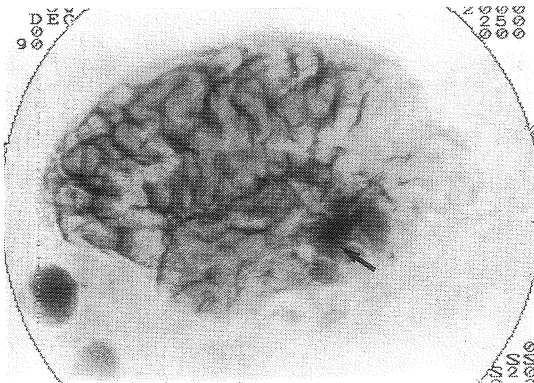


Fig. 8 Lateral SAS image of the patient with temporal lobe seizure shows focal cortical damage in left middle temporal gyrus (↑).

認められた (Fig.6). 中大脳動脈領域の脳梗塞の2例においては、病巣を有する脳回から、閉塞分枝の推定が可能であった (Fig.7). 側頭葉てんかんの例では、側頭葉皮質の眼局性脳損傷が示された (Fig.8). 脳腫瘍の2例において、強い占拠効果による脳溝の閉塞のために、脳溝の描出が不良であった (Fig.9). 1例において、硬膜下腔の貯溜液からの強い信号により、脳溝からの信号がマスクされた。転移性脳腫瘍の1例では、高度の motion artifact のために、診断価値のある画像が得られなかった。

4. 考 察

非侵襲的な脳回の判定は、臨床的に重要であり、従来より神経放射線学の主要な課題の1つ

であった。気脳造影は、最も初期より脳溝の画像化を可能とした方法であったが、定常性に欠け、とくに注入ガス量を少なく抑えた場合には、しばしば描出困難であった¹⁾。脳血管造影においても、動・静脈相の詳細な分析から、脳溝・脳回の判定が可能であるが²⁾、間接所見であるための不確実性と困難性は完全には回避し得なかった。また、気脳造影、脳血管造影とも、患者に苦痛を要求する侵襲的な検査であった。CTおよびMRIの導入により、脳回・脳溝の判定能力は、以前に比べ大幅に向上した^{3,4)}。ことに、CT・MRI軸位断による頭頂部、MRI傍正中矢状断による大脳半球内側面のように、スライス内に広範囲の脳表が含まれるばあいには、かなり良好な脳溝、脳回のオリエンテーションを得ることができる。しかし、これ以外の部位では、断層像であるために、脳溝などの脳表構造が各断層面ごとに分断され、脳回を一本のcortical stripとして認めることが、ときに困難な場合がある。とくに大脳半球外側面においては、MRIの矢状断をもっても、脳表構造の良好なオリエンテーシ

ョンを得るのは難しかった。

本法(SAS)は、MRIの特徴を生かし、短時間、無侵襲に脳表面構造を直接画像化するもので、大きな臨床的意義を有すると考えられる。本法で用いられたような、200 msを越すような長いエコー時間を用いたスピンエコー法では、脳、皮下組織、骨髄などからの信号はほとんど抑制され、得られる画像はもっぱらT2の長い脳脊髄液(以下髄液)をあらわすようになる⁵⁾。このため、スライス幅を広く取ったばあい、髄液に被われた脳表のうち、深い脳溝、脳裂では髄液の信号が積算され、高信号強度を示すのに対し、髄液の薄い脳回では、信号強度は低くなる。この結果、髄液が天然の造影剤として働き、脳表のレリーフ像が得られる。すなわち、表面コイルを用いて、体外から脳表を“のぞき込む”ことが可能となる。

SASの原画像では、脳溝は、髄液の高信号強度により白く表示されるのであるが、われわれの初期の検討からは、グレイスケールの反転表示により、脳溝を黒く表示したほうが、より良好な視認性が得られることがわかった(Fig.2ab)。さらに、2次元フィルターによるエッジ強調を加えることにより、脳溝の視認性が一層高まった(Fig.2b)。

SASを用いた初期の臨床例においては、非常に良好な結果が得られた。大脳外側面の主要な脳溝、脳裂のほとんどが、明瞭に描出された。側面像において、シルビウス裂の後枝のみならず、前水平枝、前上行枝を一連の脳裂として現し得ることは、運動性言語中枢およびその近傍の病変の診断に有用と考えられた。中心溝は、その前後を走る中心前溝、中心後溝とともに平

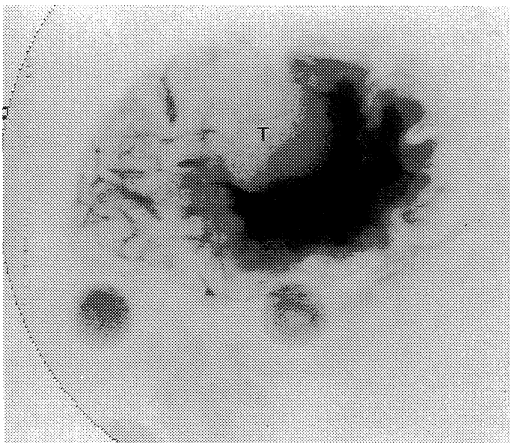


Fig. 9 A case with left frontal convexity meningioma. SAS, left frontal oblique view, demonstrates the tumor (T) surrounded by the strong signals from perifocal edema. Note the poor visualization of the ipsilateral gyri in comparison with the contralateral hemisphere.

行な3本の溝として認められ、これにより臨床的に重要な運動領野、感覚領野が容易に同定される。シルビウス裂の前上行枝と、中心前溝の下部は、軸位断層面の上で、しばしば区別が難しいが、SASでは、容易に識別できる。

また、視覚性言語中枢として重要な角回は、CT、MRIの断層面からは、ほとんどの場合正確な同定が困難であったが、SASでは、上側頭溝およびその後端の上行枝が判定可能なため、上行枝を囲む領域として、比較的正確に判読することができる。同様に、縁上回も、シルビウス裂後上枝を囲む領域として比較的容易に判定可能である。

後面像においては、大脳半球間裂、頭頂間溝、大脳一小脳境界面や、小脳水平裂により境される上および下半月小葉などが同定される。これらの脳溝・脳裂は、約7°の視差で得られたステレオ像で、一層よく判定された(Fig.4, 6)。以上の結果から、SASの臨床応用としてまず期待されるのは、pachigyri, lissencephalyなどの脳回異常を伴う疾患の診断であろう。また、表面コイルの感度域に含まれる皮質、皮質下の諸病変も、SASにより描出可能で、これによってこれら病変の正確な位置決めが可能となる。さらに、水を封入したチューブを頭皮に置いて撮像することにより、頭皮上のマーカート、脳回、病巣の関係を明かにすることも可能である。したがって本法は、大脳半球病変の術前開頭部位決定の手段として有望であり、将来的に本法の主要な応用分野となりうると思われる。同様に、放射線治療計画においても、照射野内に含まれる脳回をあらかじめ知り、必要ならばそれを避けることも可能となる。

SASでは、当初期待されなかった脳表の主要静脈が描出されたが、これは、脳神経外科医の術野に対する術前オリエンテーションを高めるのに役立つほか、脳血管造影所見との対比にも有用と考えられる。しかしながら、SAS像では、

大脳動脈の皮質枝の確認は不可能であった。この原因としては、空間分解能の不足、血流の影響、髄液の信号とのオーバーラップなどが疑われる。そのほか、SASが応用可能な分野として、通常のMRI検査の位置決め像が挙げられる。眼球、外耳孔が良好に描出されるので、容易に眼窩-外耳孔線が得られる。しかし、このためには、撮像時間の短縮が必須で、少なくとも数10秒で像が得られる必要がある。

SASの現時点での限界・欠点としては、以下に挙げる諸点がある。第一に、非常に高度の占拠効果が存在すると、脳溝内部の髄液が消失し、脳溝の描出が不良となる。また、高度の浮腫があるばあいも、その強いT₂強調効果により、脳溝の信号がマスクされる。さらに、硬膜下水腫のように、脳表がT₂の長い液体によりおおわれている例でも、同様の理由で描出が困難となる。脳室などの深部構造の重なりによっても、同様の問題が生じ得るが、このばあいはステレオ像を得ることにより、克服可能である。SASの撮像には、T₂強調像を用いるため、スピン・エコー法で2秒前後の長いTRが必要となる。このため、撮像時間は加算回数により約8.5分から17分が必要とされる。これは通常のT₂強調像と同等であり、臨床的に許容される長さであると考えられる。しかし、症例によっては、motion artifactの原因と成り得ることも事実である。さらに、ステレオ撮影、位置決めスキャンへの応用などを考えれば、field gradient echo法などの高速撮像法による、一層の撮像時間の短縮が望まれる。現在、この点に関しても検討中である。

撮像方向に関しては、側面像、後面像、前面像および斜位像が可能であるが、臨床的に重要な頭頂像(top view)と脳底像(base view)は、高周波の発信方向と直交するため表面コイルでは撮像できない。したがって、これらの像を得るためには、頭部用コイルの使用が必要となるが、脳深部構造の信号の重なりをいかにして避

けるか、今後の検討が必要と考える。また、一般のMRIと同様、頭蓋内金属クリップ、心臓ペースメーカーを有する例は禁忌となる。

これらの現時点における限界・欠点にもかかわらず、本法は、ここに示した症例からも明らかかなように、大脳皮質・皮質下病変の診断法として、あるいは術前検査として有用と考えられる。とくに強調されるべきは、本法に用いられている撮像技術がなんら特別なものではなく、いずれも従来からMRIにおいて広く用いられてきた技術の組合せから成っている点である。したがって、本法は、現存する殆どすべてのMRI装置において、ハードウェアの大きな変更なく、実現可能とかがえられる。脳表を画像化する方法として、今後発達が予想されるものに、CT、MRIデータからの3次元表面再構成法がある^{6,7)}。Hermanらは、一連の軸位X線CT画像から、脳の辺縁を抽出し、面素貼付け法により、脳溝、脳回などの脳表構造を良好に描出している⁷⁾。また、MRIデータからの再構成も試みられている。これらの方法は、一度辺縁が抽出されれば、任意の方向からの観察が可能であり、外科手術のシュミレーションをはじめとする画像の加工が画像処理によって可能であるなどの利点を有する。このため、近い将来、臨床上有効な検査法となり得ると思われる。すでにCTにおいては、3次元表面表示法は、形成外科などの分野で、頭蓋骨を中心に広く臨床に用いられている。

しかし、MRIにおいては、その生体での信号強度分布の特徴から、脳自体の輪郭を簡単なしきい値処理で自動的に抽出することが困難であり、手動的抽出が要求される。また、脳表と病変部の関係を知るには、両者の輪郭を別個に抽出し、重ね合わせる必要がある。これらは、処理時間の点で不利であり、広く臨床に用いることは困難である。また、画素の圧縮を伴うことから、分解能の点でも問題がある。

SASは、脳表構造およびその近傍の病変を、

比較的短時間で明瞭に示し得る点で、3次元法よりも優れている。さらに、SASはその原理上脳溝の検出能が高く、若年者や軽度の占拠性病変を有する例でも、良好に脳溝を示すことができる。高速撮像法、およびそれを用いた高分解能撮像法が導入されれば、さらにその有用性は増すと思われる。また、SASの原理は、脳のみでなく、他の部位においても応用可能と考えられる。

5. 結 語

MRIを用いた新しい脳表構造撮像法(SAS)を考案し、初期の臨床応用をおこなった。本法は、脳溝・脳回・主要脳表静脈を、planner imageとして直接画像化することができ、病巣の局在判定、術前治療計画などに有用と考えられた。

文 献

- 1) J.M. Taverous, E.H. Wood: Intracranial pneumography. In: Diagnostic neuroradiology. vol. 1, 2nd ed. Williams & Wilkins, Baltimore, 1976, pp 231-542
- 2) G. Szikla, G. Bouvier, T. Hori, V. Petrov: Angiography of the human brain cortex. Springer-Verlag, Berlin, 1977
- 3) G. Salamon, G. Lecaque: Choice of plane of incidence for computed tomography of the cerebral cortex. J. Comput. Assist. Tomogr., 2: 93-97, 1978
- 4) M. Gado, J. Hanaway, R. Frank: Functional anatomy of the cerebral cortex by computed tomography. J. Comput. Assist. Tomogr., 3: 1-19, 1973
- 5) F.W. Wehrli, J.R. MacFall, T.H. Newton: Parameters determining the appearance of NMR images. In: Modern Neuroradiology. Vol. 2.

原 著 -----

- Advanced Imaging Techniques. ed.T.H. Newton, D.G. Potts, Clavadel Press, San Anselmo, 1983, 81-117
- 6) G.T. Herman : Computerized three-dimensional imaging of the brain. J.Cereb. Blood Flow Metab. 7 : s 22-s 23, 1987
- 7) 仁木 登, 福田 浩 : 頭部 CT 画像群からの臓器の高精度形状構成とその濃淡 3 次元表示, Med. Imag. Tech., 5 : 369-375, 1987
- 本研究の要旨は, 第 10 回日本磁気共鳴医学会大会(岡山)にて発表した。

MR Imaging of Brain Surface Structures : Surface Anatomy Scanning (SAS)

KAZUHIRO KATADA,* HIROFUMI ANNO,*
GEN TAKESITA,** SUKEHIKO KOGA,**
TETUO KANNNO,*** TATUO SAKAKIBARA,****
KAZUHIRO YAMADA,**** HIROKAZU SUZUKI,*****
SIGEKI SAITO,*****

**Fujita health university, School of Hygiene*

***Department of Radiology, Fujita Health University, School of Medicine*

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

*****Sugiisi Hospital*

******Nasu' Factory, Tosiba Corporation*

******Tosiba Medical Corporation*

An imaging technique that permits direct and non-invasive visualization of brain surface structures was proposed. This technique (Surface anatomy scanning, SAS) consists of long TE-long TR spin echo sequence, thick slice and surface coil. Initial clinical trials in 31 patients with various cerebral pathology showed excellent visualization of sulci, gyri and major cortical veins on the lateral surface of the brain together with cortical and subcortical lesions. Our preliminary results indicate that the SAS is an effective method for the diagnosis and localization of cortical and subcortical pathology, and the possible application of SAS to the surgical and the radiation therapy planning is suggested.