

In vivo analysis of the human superficial cerebral venous anatomy by using 3D-MRI

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9371

脳三次元核磁気共鳴画像による生体脳表静脈の 分岐形態の検討

金沢大学医学部医学科放射線医学講座 (主任: 高島 力教授)

藤 永 康 成

この研究の目的は、脳三次元核磁気共鳴画像の基礎的検討により作成条件に関してその信頼性を検討し、これに基づき脳表静脈の分岐形態に関する解剖学的検討を行うことである。基礎的検討として以下の二つのことをまず行った。一つは、イス脳固定標本を用いて、爪楊枝により人為的に脳表に穴を作成、様々な閾値を設定した三次元画像において、それぞれの穴の径を測定することによって、正確な三次元画像を作成するのに必要な作成条件を検討した。部分容積効果による影響のため三次元画像で描出された穴は実際の穴よりも小さく描出された。閾値の設定については、高く設定するよりも、低く設定する方が大きな誤差を生じた。次に、臨床的検討として実際に脳腫瘍患者における核磁気共鳴三次元画像において、病変と脳表・脈管・脳室との関係について手術所見と対比を行った。その結果、病変と脳表・脈管は良好に描出されており、3D-MRIはそれらを正確に描出していると言えたが、脳室の描出に関しては課題が残った。以上の検討結果より、これらの作成条件による3D-MRIが生体において正確に脳表と脈管を描出できることが明らかになったので、この手法を用いて脳表静脈の解剖学的検討を行った。その結果は、横行前頭静脈が15%で認められたこと、91.5%でトロラー静脈が中心溝より前方を走行すること、吻合静脈は高頻度で複数認められることで、これらは本法で得られた生体での新知見と結論した。

Key words magnetic resonance imaging, three dimension, surface rendering, superficial cerebral vein, brain

近年、コンピュータ技術の進歩により、三次元画像の研究が盛んに行われており、これに伴って医療の分野でも様々な形で応用されるようになってきた。従来は、撮像に長時間を要したり、画像処理に特殊なコンピューターを要するなどの理由で、実際の臨床の場では三次元画像の作成が困難であったが、最近頭部コンピューター断層撮影 (computed tomography, CT)、核磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging, MRI) における撮像の高速化、及び医療画像用ワークステーションの普及により、三次元画像の臨床応用も普及しつつある^{1) 10)}。医療用の三次元画像はMRIなどにより得られた三次元のデータを表示したもので、表示法は大きく分けて2種類に分けられる。一つは、表面の反射光を拾って表示するボクセル (voxel) 法、サーフェス (surface) 法と呼ばれる手法であり、他方は透過光により表示するボリュームレンダリング (volume rendering) 法である。ボリュームレンダリング法は三次元データをすべて使用して表示しているが空間的な位置関係の把握は難しいとされている^{11) 13)}。また最大閾値投影 (maximum intensity projection, MIP) 法もこれに含まれるが、脈管などの描出には優れているものの、脳表などとの関係は描出が困難である。脳の画像診断においては病巣と周囲の構造物及び機能局在との位置関係が臨床的に重要で

あり、サーフェス法はこれらを良好に表示することができる。しかし、様々な処理を経て作成されるため、「正確な表示」と言う面で問題があると思われるが、これまで、表示法について詳細な検討をした報告は見られない。

MRIを使用したサーフェスレンダリング法による画像作成の過程は、MRIの撮像による原画像の作成、原画像データのワークステーションへの転送、ワークステーション上での三次元データの作成、閾値の設定によるデータの限定、限定されたデータから三次元画像を作成、作成されたいくつかの三次元画像の重ね合わせ表示、という流れである。各々の構造物を別々に作成し、その後三次元画像を重ね合わせ、透過させることにより、それらの構造物の関係が明瞭に描出される画像となる。これに対し、ボリュームレンダリング法は、三次元データを作成するまではサーフェスレンダリング法と同様の処理であるが、このデータを透過光によりそのまま三次元画像として表示する。両者の作成過程を比較すると、サーフェスレンダリング法にて画像処理過程で最も誤差が生じる可能性があるのは閾値設定であると考えられる。本研究で取り扱っている核磁気共鳴三次元画像 (three dimensional magnetic resonance imaging, 3D-MRI) の閾値とは、MRIにおいて信号強度を限定する値で、上限は約1000

平成9年11月26日受付, 平成10年1月8日受理

Abbreviations : computed tomographic angiography, CTA; computed tomography, CT; echo time, TE; flip angle, FA; gadopentetate dimeglumine, Gd-DTPA; magnetic resonance imaging, MRI; maximum intensity projection, MIP; repetition time, TR; spoiled gradient-recalled, SPGR; superior sagittal sinus, SSS; three dimensional magnetic resonance imaging, 3D-MRI

ではほとんどの場合固定されているが、下限を変動する事により目的の構造物のみの信号に限定できる。例えば、動脈が周囲組織より著明に信号強度が高く描出されれば、動脈だけのデータが残るように閾値を設定し、三次元画像を作成すれば、動脈だけの三次元画像を作成することができるというものである。

本論文では、基礎的検討として閾値設定が三次元画像に及ぼす影響を見るために、最初に雑種イヌの脳固定標本を用いて、サーフェスレンダリング法により作成した脳3D-MRIの作成過程において、閾値設定による誤差の程度及び正確な三次元画像を作成するのに必要な条件について検討した。

さらに、脳腫瘍患者において実際の臨床で作成された三次元画像の描出能を、病変と脳表・脈管・脳室などの周囲構造物との関係に関して、3D-MRIと手術所見との対比を行うことにより検討した。

最後に、それらから得られたデータをもとに、生体における脳表静脈の分岐形態を脳溝、脳回との関係をも含めて検討した。生体内において脳は頭蓋内で脳脊髄液に浮かんだ状態で位置しており、脳表の血管についても脳脊髄液中を走行する部分がある。脳表静脈の解剖については、剖検例における報告は散見されるが^{14)~16)}、臨床的検討は少ない。その中で脳表静脈の分岐形態と剖検による報告との相違点についても言及した。

対象及び方法

I. 雑種イヌの脳固定標本を用いた3D-MRIについての検討

1. 対象

実際のヒト脳に信号強度を近づけるため、それに近いものとして、他の実験において屠殺された雑種イヌ2匹より摘出した一側大脳半球を、10%中性緩衝ホルマリン液(pH 7.5, 和光, 大阪)にて固定した材料を用いた。

2. 使用MRI装置及び原画像の撮像条件

静磁場強度1.5テスラの超伝導型MRI装置Signa Horizon(GE Medical System, Milwaukee, USA)を用いた。パルス系列は、通常の核磁気共鳴血管造影(MR angiography, MRA)で用いられ

ている、グラディエントエコー(gradient echo)法のうちの高速撮像法である、スポイルドグラディエント(spoiled Gradient-recalled, SPGR)法を用いた。撮像条件は、21/3.7/30 |繰り返し時間(repetition time, TR)/エコー時間(echo time, TE)/フリップ角度(flip angle, FA)|、周波数方向マトリックス(matrix)256、位相方向マトリックス128、励起回数(excitation)4回、撮像範囲径(field of view, FOV)80mm、スライス厚1.0mmとし、60スライスで5分48秒の撮像を行った。原画像のデータは画像処理ワーク・ステーション(Advantage Windows 2.0, GE Medical System)にて処理し、サーフェス法により三次元画像を作成した。

3. 三次元画像の検討

サーフェスレンダリング法の処理過程の中で、三次元画像が最も影響を受ける処理は閾値設定であると考え、これに注目して検討を行った。まず、ノギスで測定して直径が2.2mmである15本の爪楊枝を脳表に刺した状態で撮像したデータで三次元画像を作成した。爪楊枝は木でできているため、MRIでは無信号となり、このデータを用いて三次元画像を作成すると、爪楊枝の刺さっている部分は穴となって表示される(図1-A, B)。これを用いて、様々な閾値によって作成された3D-MRIにおいてできた15箇所穴の直径を測定し、統計学的に検討した。閾値は、経験上最も良好に脳回、脳溝が描出されると思われる値を最初に設定し、この閾値の1割を引いた値、1割を加えた値、2割を加えた値というように1割ずつ値を変動させ、全部で4通り設定した。

4. 統計学的処理

測定された各々の閾値におけるデータを一つの群として、それぞれの群が正規分布を示すかを検討した。その上で、分散分析により各々の群における有意差を検討した。

II. 造影3D-MRIの臨床例における検討

1. 対象

1996年4月~9月に造影3D-MRIを作成した脳腫瘍患者31例

Table 1. Clinical findings of patients with brain tumors

Case no.	Age (years)	Sex	Pathological diagnosis	Location
1	50	M	Meningioma	Rt. parasagittal region
2	43	F	Glioblastoma	Bil. frontal lobe
3	4	M	Teratoma	Pineal region
4	68	F	Malignant lymphoma	Rt. parietal lobe
5	75	F	Glioblastoma	Lt. frontal lobe
6	53	F	Metastasis	Cerebellum
7	20	M	Trigeminal neurinoma	Rt. middle cranial fossa
8	29	M	Malignant lymphoma	Rt. lateral ventricle
9	68	M	Metastasis	Rt. occipital lobe
10	45	F	Metastasis	Cerebellum, Rt. temporal lobe
11	60	M	Germinoma	Pineal region
12	4	M	Dermoid cyst	Parasellar region
13	2	F	Medulloblastoma	Cerebellum
14	64	F	Glioblastoma	Lt. frontal lobe
15	24	M	Epidermoid cyst	Rt. middle cranial fossa
16	18	M	Germinoma	Pineal region
17	67	M	Metastasis	Rt. parietal lobe

M, male; F, female; Rt., right; Bil., bilateral; Lt., left.

のうち、外科的手術が施行され、術中所見との対比が可能である17例を対象とした。17例の内訳は、原発性脳腫瘍が13例、転移性脳腫瘍が4例であった(表1)。部位については、大脳半球が9例10病変、松果体部3例、小脳2例、脳室内1例、鞍上部1例、小脳橋角部1例、中頭蓋窩1例であった。

2. 使用MRI装置及び撮像条件

静磁場強度1.5テスラの超伝導型MRI装置Signa(GE Medical System)を用いた。撮像方法は前述のSPGR法を用いた。撮像条件は、24/6.9/20(TR/TE/FA)、マトリックス256×128、励起回数1回、撮像範囲径22cm、スライス厚1-1.3mmとした。撮像はガドペンテ酸ジメグルミン(gadopentetate dimeglumine, Gd-DTPA)(Magnevist, Berlex Laboratories, Wayne, 米国)0.01mol/kg静注後より開始し、得られたデータは画像処理ワークステーション(Advantage Windows 1.2, GE Medical System)に転送し、サーフェス法にて三次元画像を作成した。

3. 三次元画像と手術所見の対比

作成された3D-MRIを術中所見と対比した。検討方法については、それぞれの構造物の関係に注目して、1)病変と脳表との関係、2)病変と血管走行との位置関係について、3)病変と脳室との関係及び圧排の有無について、の3項目に分けて検討した。具体的に、1)については、特に病変と脳回、脳溝との位置関係及び腫張の有無、圧排像が明瞭に描出されているか否かを評価した。2)については、病変の周囲の脈管が肉眼的に見た手術所見と同様に描出されているか、また、脈管の接し方、圧排などが正しく描出されているかを評価した。病変付近の脈管と脳回・脳溝との位置関係も加えて評価の対象とした。3)については、病変と脳室の接触状態が描出されているか、圧排程度の描出は適切か、確認できる範囲の脳室のサイズは適切か、を評価の対象とした。

判定は、1)~3)の三項目について三次元画像と術中所見を対比し、対比した項目の内容がすべて明瞭に描出されていると判断された場合に正診とし、著者を含めた3名の神経放射線科医の合意により行った。

Ⅲ. 脳3D-MRIによる脳表静脈の分岐形態の解剖学的検討

1. 対象

1996年10月から1997年1月までに通常の臨床検査にて頭部造影MRIを施行した患者で、造影3D-MRIを施行した100名(男性42名、女性58名、11歳~86歳)200側を対象とした(表2)。

2. 使用MRI装置及び撮像条件

静磁場強度1.5テスラの超伝導型MRI装置Signa Horizon(GE Medical System)を用いた。撮像条件は28~40/3~4/30度(TR/TE/FA)、マトリックス256×128、励起回数1~2回、撮像範囲径22cm、スライス厚1~1.3mmを用いた。Gd-DTPAを0.01mol/kg静注後にMRIを撮像し、得られた画像データを画像処理ワークステーションに転送し、全部のデータを含んだポリリウムモデルを作成、これからサーフェス法にて三次元画像を作成した。

3. 脳表静脈の名称及び定義

テント上の脳表静脈については、過去に多くの解剖学者が検討してきているが、はっきりと定義されていない静脈が多い¹⁴⁾¹⁵⁾。吻合静脈については、一般的に、上矢状静脈洞(superior sagittal sinus, SSS)とシルビウス静脈(Sylvian vein)を吻合する巨大な静脈はトロラル静脈(vein of Trolard)と命名されているが、吻合静脈は複数存在することがあり、十分な定義とは言えない。Okara¹⁴⁾はトロラル静脈を中心静脈(central vein)に相当するものとし、DiChiro¹⁵⁾は中心後巨大吻合枝と位置づけており、多少の解釈の違いがある。また、ローラン静脈(vein of Roland)については明確な定義は見あたなかった。したがって、今回の検討に於いて、分岐型の分類を行う前に主な脳表静脈に対し以下のように定義した。上行前頭静脈(ascending frontal vein);前頭葉にてトロラル静脈よりも前方に位置し、上行してSSSへ合流する静脈、トロラル静脈;前頭葉から頭頂葉に見られ、シルビウス裂(Sylvian fissure)に還流する静脈と吻合を持つ、最も大きな静脈、ローラン静脈;トロラル静脈の背側の頭頂葉に位置し、シルビウ

Table 2. Age distribution of objects in analysis of venous drainage patterns

Sex	No. of cases	No. of cases						
		Age (years)						
		~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	70~
Male	42	5	2	3	5	1	14	12
Female	58	2	15	6	10	8	11	6

Table 3. Diameter of holes stuck by toothpicks-fundamental statistics-

Group	Threshold	No. of subjects	Average (mm)	Standard deviation	Standard error
A	146	15	1.500	0.295	0.076
B	162	15	1.713	0.229	0.059
C	178	15	1.887	0.223	0.058
D	194	15	2.020	0.260	0.067

* p<0.001, ** p<0.005, *** p<0.05 by Fisher's PLSD.

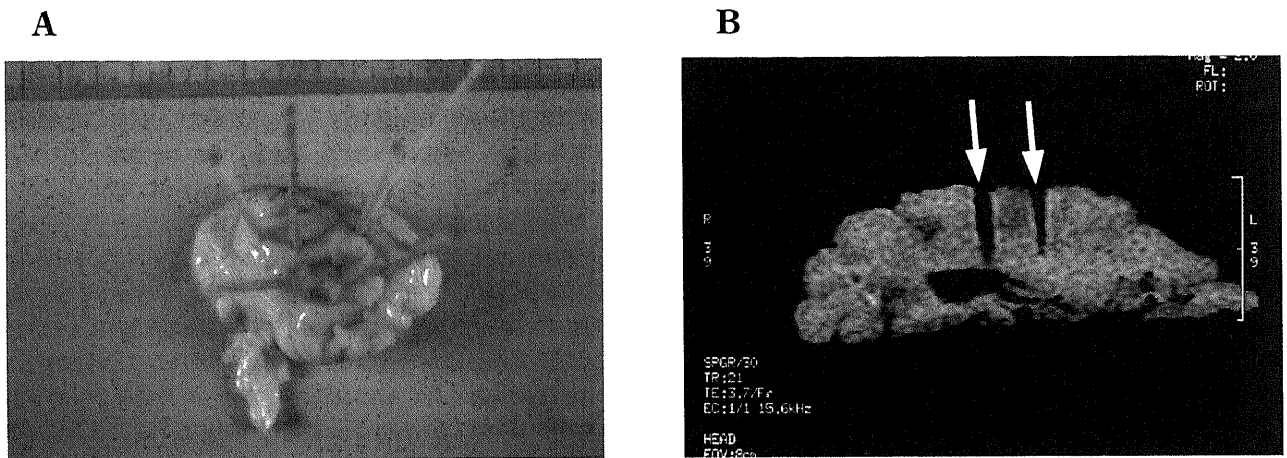


Fig. 1. Toothpicks stuck into the dog's brain. (A) Toothpicks were stuck into gyri and sulci of the dog's specimen. (B) On the source images the toothpicks were shown as holes since those had no signals (white arrows).

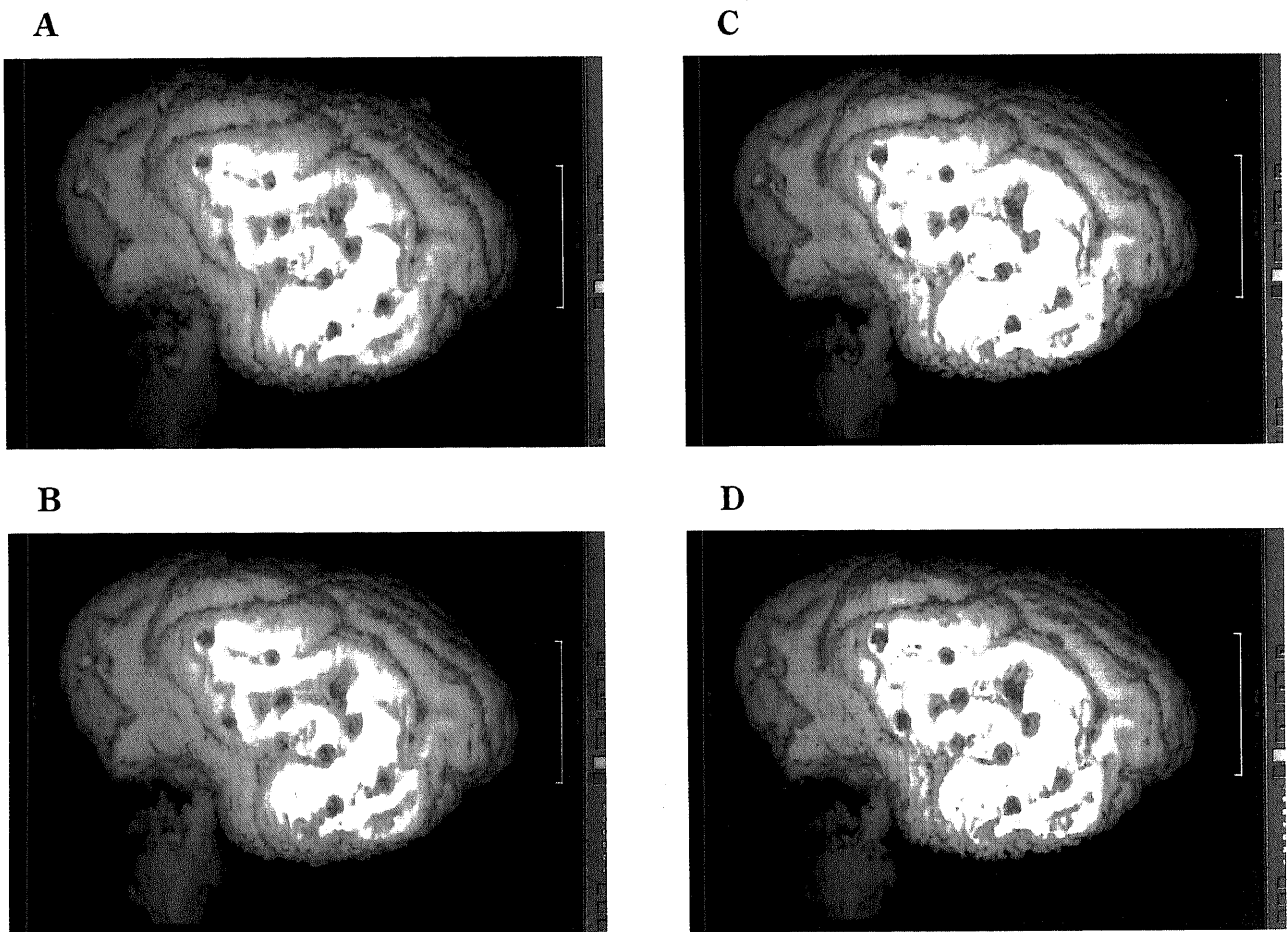


Fig. 2. 3D-MRI of the brain surface of the dog. Threshold was set up at (A)146, (B)162, (C)178, (D)194. When threshold was set up at 146, the diameter of the holes were smaller and brain surface looked more irregular compared to images. (B)~(D) looked almost the same. Bar=2cm.

ス裂に還流する静脈と吻合を持つ静脈，横行前頭静脈 (transverse frontal vein)；上前頭回 (superior frontal gyrus) または中前頭回 (middle frontal gyrus) に沿ってSSSと平行に走行する静脈，上行頭頂静脈 (ascending parietal vein)；頭頂葉にて，吻合せずに上行しSSSに合流する静脈，上行後頭静脈 (ascending occipital vein)；後頭葉にて上行してSSSに合流する静脈。

4. 検討項目

今回の検討においては，テント上の脳表静脈に限定して検討した。その分岐のパリエーション，脳表静脈の走行と脳回・脳溝との関係について検討した。さらに，左右差についても検討を加えた。

結 果

I. 雑種イヌの脳固定標本を用いた3D-MRIについての検討
最初に設定した，最も良好に脳回，脳溝が描出されていると思われた閾値は162であった。従って，その他の3つの閾値は

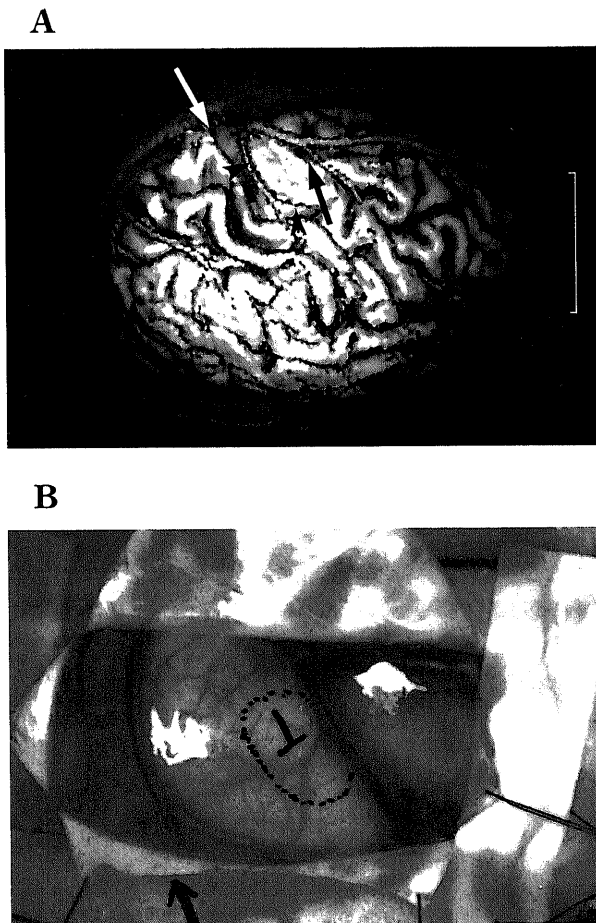


Fig. 3. A patient with metastatic brain tumor. (A) 3D-MRI showed that the precentral gyrus was swollen (arrowheads) and superficial cerebral veins ran along the central sulcus (white arrow) and precentral sulcus. A part of tumor was seen at the edge of the precentral sulcus (black arrow). (B) Intraoperative photograph. The relation between the tumor and brain surface, veins were shown as same as those of Fig. 3(A). The precentral gyrus was also swollen as that of Fig. 3(A). Bar=5cm.

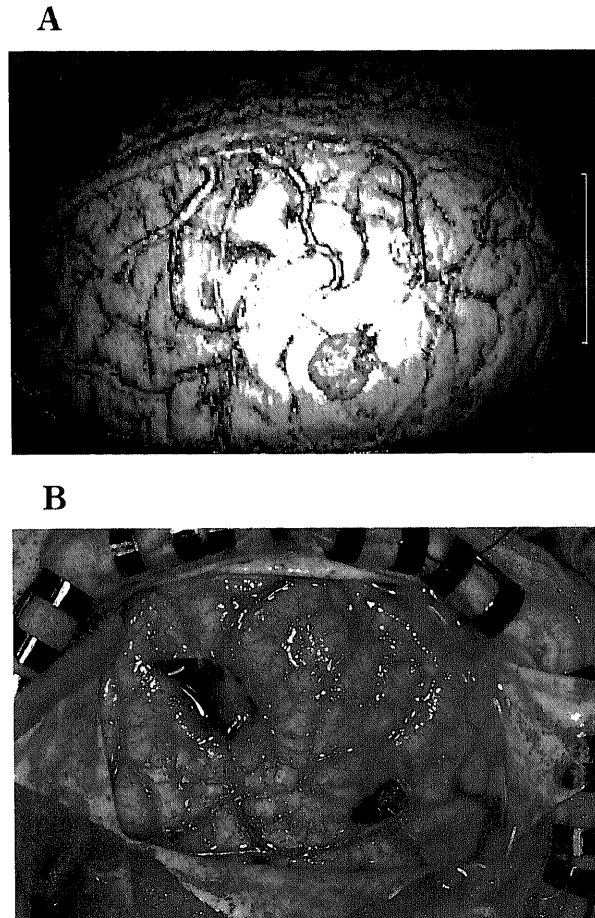


Fig. 4. A patient with malignant lymphoma. (A) The tumors were located beneath the postcentral gyrus and supramarginal gyrus (purple). (B) Intraoperative photograph showed that the 3D-MRI correctly displayed the location of the tumors. The tumors were already resected. Bar=5cm.

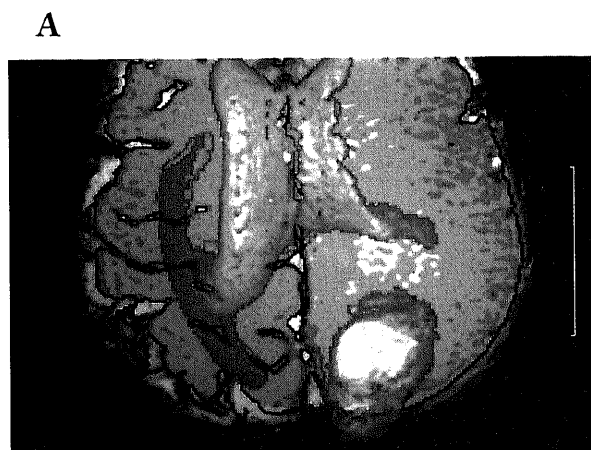


Fig. 5. A patient with a hemorrhagic metastatic brain tumor. The tumor was located in the left occipital lobe. The left lateral ventricle was ventrally compressed. The gyri of the left occipital lobe were swollen. Tumor was shown as a purple object, hemorrhage; yellow, and superior sagittal sinus; sky blue. Bar=5cm.

146, 178, 194 に設定し, それぞれの測定値の群を閾値の小さい群から群A~Dとした. 各群の測定結果の基本統計値では, それぞれの平均値は1.5mm~2.02mmであり, すべての群が実際の爪楊枝の直径よりも小さい値となった(表3). また, 閾値を高くするにつれて直径の平均値は大きくなった. それぞれの群を検定したところ正規分布であった. これらの群において有意差があるかどうかをFisherの検定法を用いて検定した(表3). 群A(閾値146)はその他のすべての群と有意差を認めた. 群B(閾値162)は群Aの他に群D(閾値194)と有意差を認めた. 有意差が認められなかったものは, 群Bと群C(閾値178), 群Cと群Dであった. 従って, 閾値を初期に設定した162にした場合, 閾値を146, 194にした場合とは異なる画像が作成されるが, 閾値を178にした場合とは差があるとは言えないことになる.

実際に作成した三次元画像を視覚的に評価しても, 閾値162と178の3D-MRI, 閾値178と閾値194の3D-MRIは, ほとんど違いが目立たなかったが, 閾値146の3D-MRIは穴の大きさが一回り小さく見え, 脳表もノイズによる不整さが目立つものであった(図2-A~D). しかし, それぞれの閾値にて作成した

3D-MRIは, 穴の大きさや脳回の太さには視覚的には微妙に差があると思われたものの, 穴と脳回の相対的な位置関係は変わらなかった. 今回の検討では穴の大きさの測定によりデータを得ているため, 閾値を低くすることは, 高くすることよりも異なる画像となりやすいことが予想された. 閾値を低くしていくと, 作成された三次元画像は徐々に穴が埋まった画像になり, 実際の穴の大きさより顕著に小さくなっていくが, 逆に閾値を高くしていても, 徐々に穴の大きさが大きくなる程度で, 顕著な差にはならないことが示された.

II. 造影3D-MRIの臨床例における検討

病変と脳表との関係については9例が対比可能であり, このうち8例を正診と判定した(正診率89%) (図3-A, B). 正しく描出されていなかった1例は小脳皮質下の脳転移であり, 小脳の脳溝の描出が不十分であった. 病変と血管走行との位置関係については16例が対比可能であり, このうち15例で正診と判定した(正診率94%) (図4-A, B). 正しく描出されていなかった1例は, 聴神経鞘腫であり, 深部の細い血管の描出が不十分であった. 病変と脳室との関係, 及び圧排の有無については9例が対比可能であり, このうち6例で正診と判定した(正診率67%)

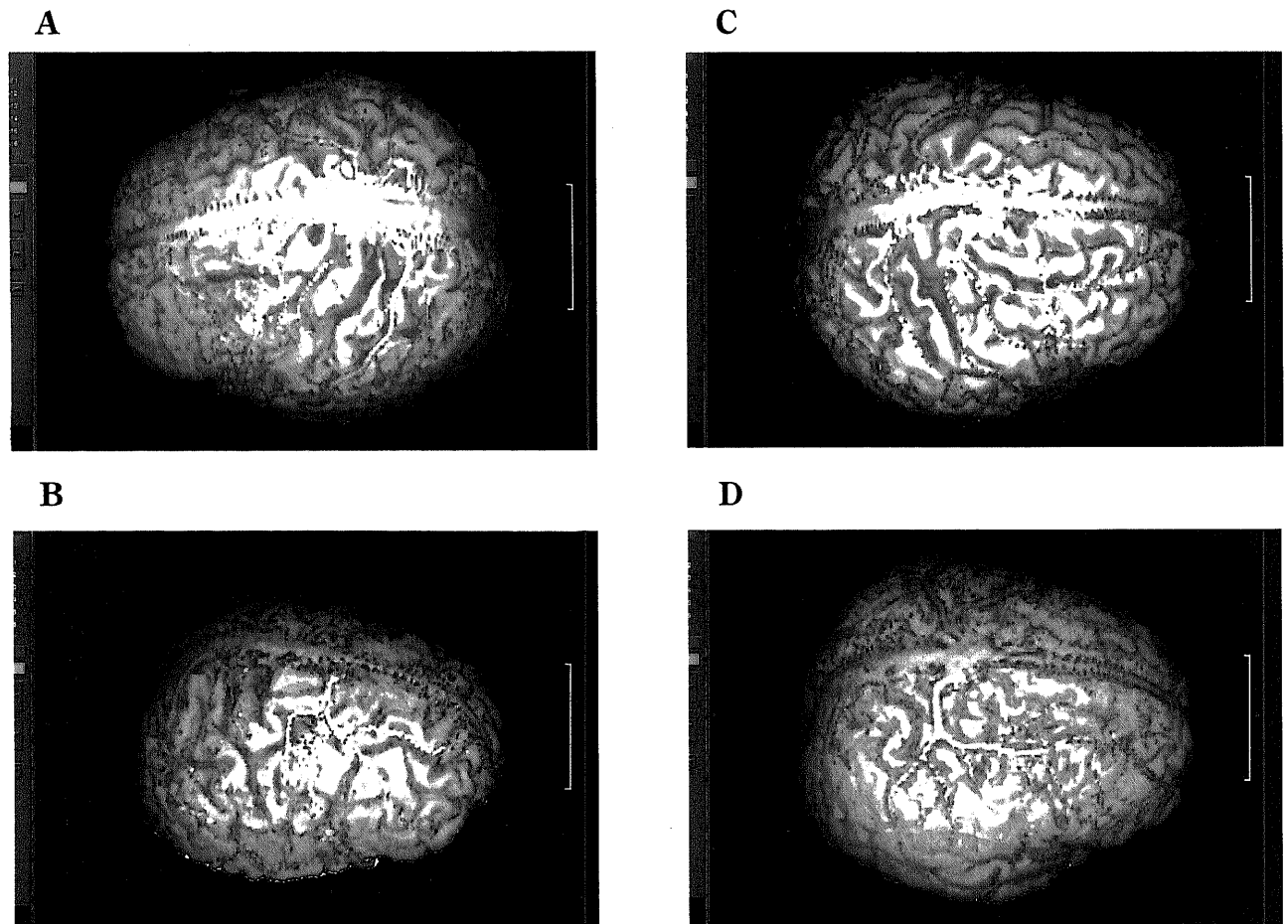


Fig. 6. Drainage patterns of superficial cortical vein in 3D-MRI. (A) Type A. The ascending frontal vein, the vein of Trolard and the vein of Roland were seen. (B) Type B. The transverse frontal vein and the vein of Trolard drained into each other. (C) Type C. The transverse frontal vein ran across the ascending frontal vein. The vein of Roland anastomosed with the vein of the sylvian fissure. (D) Type D. Large transverse frontal vein ran parallel to the superior sagittal sinus and between the superior and the middle frontal gyri. It finally drained into the superior sagittal sinus at the precentral sulcus, and allowed widespread venous drainage from the left frontal lobe. Bar=5cm.

Table 4. Patterns of venous drainage on 3D-MRI

Side	No. of cases				Total
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	
Right	76	9	6	9	100
Left	81	11	3	5	100
Bilateral	157	20	9	14	200

3D-MRI, three dimensional magnetic resonance imaging.

Table 5. Course of transverse frontal vein on 3D-MRI

Side	No. of cases							
	Course of TFV			Location of drainage into SSS			AFV	
	SFS	IFS	SFS~IFS	APCS	PCS	CS	Present	Absent
Right	14	1	1	8	6	2	6	10
Left	14	0	0	8	5	1	6	8
Bilateral	28	1	1	16	11	3	12	18

TFV, transverse frontal vein; SSS, superior sagittal sinus; AFV, ascending frontal vein; SFS, superior frontal sulcus; IFS, inferior frontal sulcus; APCS, anterior to precentral sulcus; PCS, precentral sulcus; CS, central sulcus.

(図5). 脳室作成時には、脳室と脳槽との分離が困難で、描出不良であったものは、松果体および小脳橋角部の腫瘍であった。

Ⅲ. 脳3D-MRIによる脳表静脈の分岐形態の解剖学的検討

上行後頭静脈及び上行頭頂静脈は、描出できた静脈数には差があったものの、分岐のパリエーションは見られなかったため、分岐型の分類の中には含めなかった。

前述の定義に基づいて主な脳表静脈の分岐を分類すると、存在する静脈の有無によって以下の四つのタイプに分類された(表4)。タイプ1; 上行前頭静脈, トロラール静脈, ローラン静脈の三つが存在するタイプ(図6-A), タイプ2; 横行前頭静脈, トロラール静脈, ローラン静脈の三つが存在するか, 横行前頭静脈とトロラール静脈またはローラン静脈の2種類が存在する, すなわち横行前頭静脈の前方にはSSSに上行して合流する静脈が認められないタイプ(図6-B), タイプ3; 上行前頭静脈, 横行前頭静脈, トロラール静脈, ローラン静脈の四種類が存在するか, 上行前頭静脈と横行前頭静脈に加えトロラール静脈またはローラン静脈の三種類が存在する, すなわち上行前頭静脈と横行前頭静脈の両者が同時に存在するタイプ(図6-C), タイプ4; タイプ1~3に属さないタイプ(図6-D)。タイプ1は右大脳半球で76/100例, 左大脳半球で81/100例, 両側合計で157/200例(77.5%)であった。同様にタイプ2は, 右側で9例, 左側で11例, 合計で20/200例(10%), タイプ3は, 右側で6例, 左側で3例, 合計9/200例(4.5%), タイプ4は右側で9例, 左側で5例, 合計14例(7%)であった。

静脈別の存在頻度は, トロラール静脈が右89例, 左87例,

合計176/200例(88%), ローラン静脈が右91例, 左95例, 合計186/200例(93%), 横行前頭静脈が右16例, 左14例, 合計30/200例(15%), 上行前頭静脈が右88例, 左88例, 合計176/200例(88%)であった。吻合静脈であるトロラール静脈は, 中心溝を含め, それより前方を走行するものが, 右80/89例, 左81/87例, 合計161/176例(91.5%)と大半を占めた。ローラン静脈は, 中心後溝を走行するものが最も多く, 右34/91例, 左31/95例, 合計65/186例(34.9%)で認められた。次いで中心後溝よりも後方を走行するものが, 右25例, 左27例, 合計52/186例(28.0%)であった。横行前頭静脈は, ほとんどが上前頭溝を走行し, 中心前溝よりも前方でSSSに合流するものが多かった(表5)。また, 横行前頭静脈が存在する場合, 半数以上において上行前頭静脈が存在せず, 前頭葉のほとんどを横行前頭静脈のみで還流していた。10例において横行前頭静脈は両側同時に存在していた。

左右差については, 分岐型及び個別の静脈走行の分布において, 大きな差は認められなかった。

考 察

雑種イヌの脳固定標本を用いた3D-MRIの閾値設定についての検討に於いては, 視覚的に最適と思われた閾値により作成した3D-MRIにおける穴の平均測定値が, 実際の爪楊枝の直径よりも小さくなった。この理由として, まず, 部分容積効果(partial volume effect)の影響が考えられる。部分容積効果による影響とは, 例えば, 今回の撮像方法では血管は著明な高信号, 周囲構造物は血管より低信号を示すが, この両者の間には必ず

両者の中間の信号強度の領域が存在し、閾値を高く設定すれば血管は細く描出され、閾値を低く設定すれば血管は太く描出されるという現象が起こることである。CT アンギオグラフィー (CT angiography, CTA) に関して部分容積効果についての多数の報告がある^{18)・20)}。CTAは、ほとんどの場合サーフェスレンダリング法にて作成されており、また、CT及びMRIともにスライス厚、撮像マトリックスによる差異が存在することから、3D-MRIでも同様な部分容積効果による影響があるものと考えられる。

ボリュームレンダリング法によって作成された三次元画像は三次元データをすべて使用して表示するが、サーフェスレンダリング法は画像処理過程で使用するデータを限定するために、必ずしも元の画像を正確に表示しているかどうかは不明であった。言い換えれば、画像の客観性が失われるということになるが、始めに閾値を設定する時点でこの問題は生じる。雑種イヌの固定脳標本を用いた基礎的検討でも、最初に設定した閾値は任意なものであり再現性に乏しいことは否定できない。しかし、その結果からは、閾値を低くしていくと、作成された三次元画像は徐々に穴が埋まった画像になり、実際の穴の大きさより顕著に小さくなっていくが、逆に閾値を大きくしていくと徐々に穴の大きさが大きくなる程度で、顕著な差にはならないことが示された。このことから、サーフェスレンダリング法でも、原画像との十分な対比を行い、閾値の設定に注意すれば誤差の小さい3D-MRIが作成できると言える。

ボリュームレンダリング法は客観性は保たれるが、逆にすべてのデータを使用して表示するために、脈管などの周囲構造物と信号強度の差が大きすぎて描出できないものを中心に描出する場合には優れているが、信号強度の差があまり大きくない構造物の関係を十分に描出することは難しい。この理由として、ボリュームレンダリング法では、構造物が重なる部分では信号の弱い構造物の方が重なりによって見えなくなるためである。サーフェスレンダリング法はデータを限定して表示するが、作成したいいくつかの構造物を重ね合わせることが可能で、重ね合わせた画像では、像を透過させることによりそれぞれの構造物の関係は良好に描出できる。このため、脳腫瘍の術前などに用いられる三次元画像はサーフェスレンダリング法が用いられていることが多い²⁴⁾。

3D-MRIは、現在高速撮像法の普及とともに臨床で広く用いられているが、実際に手術所見と対比を行った報告は少ない。大上ら⁹⁾は、脳神経外科手術の術前検査としての3D-MRIの有用性について報告しており、構造物の三次元的な位置関係が容易に把握できるため手術計画の立案がしやすく、また手術所見と一致していたとしている。今回の検討でも、病変と脳表、病変と脈管については十分手術所見を反映する画像が得られていると思われる。十分に描出されなかった例について考えてみると、病変と脳表との関係で小脳の脳溝の描出が不十分な理由は、小脳の脳溝は通常狭く水平に走行しており、これに対して水平断で撮像したために部分容積効果が生じ、この結果として脳溝の描出が不十分になったと考えられる。部分容積効果は撮像スライスを薄くすると軽減するが、MRIにおいてはスライス厚を薄くすると信号雑音比 (signal-to-noise ratio, S/N) が低くなり、原画像の質が低下することになるため、必ずしも解決するとは言えない。励起回数を増やせば画像の質は向上するが、撮像時間が長くなるという欠点がある。病変と血管走行との位置関係

において正診とされなかった一例については、前下小脳動脈、後下小脳動脈の描出が不十分であったが、血管が細いことに加えて病変に圧排されたことにより、病変と分離して描出することができなかったと考えられた。病変と脳室との関係、及び圧排の有無については、今回使用したワークステーションでは脳室の描出自体が十分なものではなかった。一番問題となったのは、脳幹周囲の脳槽と第四脳室が分離が不十分な事である。また鞍上嚢と第三脳室との分離も困難であった。Bomansら¹⁹⁾は、新しいMRIの技術によりマトリックスを256×256にし、この原画像のデータから明瞭に脳室を描出した三次元画像を作成しているが、撮像時間は本研究における一般的な撮像時間である3分18秒～7分40秒に比べて8～20分と長くなっている。MRIでは脳脊髄液はT2強調画像にて著明な高信号を示し、脳室と周囲脳実質とのコントラストが良好となる。これを用いてT2強調画像より得られた原画像より脳室の三次元画像を作成すれば、良好な画像が得られるが、本研究で用いたワークステーションではT2強調画像とSPGR法から作成した2つの三次元画像は、重ね合わせる事ができなかったため使用しなかった。しかし、最近では異なるデータを重ねあわせて三次元画像を作成した報告も見られ²⁵⁾、今後のワークステーションの技術の進歩がこの点を解決してくれよう。

以上、雑種イヌの脳固定標本を用いた基礎的検討及び脳腫瘍の臨床例を手術所見と比較した検討の結果より、3D-MRIが脳表と脈管との関係を正確に描出できると結論し、生体における脳表静脈の解剖学的分岐形態を本法で評価することにした。

発生学的に、脳表静脈は胎生5～8ヵ月に前方、中央、後方に形成される3つの幹静脈 (stem vein) より形成される²⁶⁾。これらは、上行するものと下行するものに分けられ、はじめは吻合していない²⁷⁾。中大脳静脈系 (middle cerebral venous channel) はシルビウス裂周辺に存在し、胎生5ヵ月頃には著明に発達する。胎生6ヵ月にはシルビウス裂の落ち込みに伴って中大脳静脈系の発達が減衰し、これとは相対的にSSSに合流する静脈系の発達がめざましくなり、ラッベ (Labbe) の下吻合静脈のもとができる。トロラール静脈はこれより遅れて胎生7月早期ごろに形成される²⁷⁾。このような発生の経過を見ると、吻合静脈の出現率は高いように思われる。

今回の検討で見られたSSSに合流する静脈の分岐パターンは、タイプ1、すなわち上行前頭静脈、トロラール静脈、ローラン静脈のいずれもが認められるタイプが77.5%と最も多かったが、これは教科書的に脳表静脈の解剖で紹介される典型的なタイプと言え、タイプ2、タイプ3には横行前頭静脈が存在し、これは最終的には少しだけ上行してSSSに還流するが、走行のほとんどが横行しているため、タイプ1とは異なる静脈還流域であると思われる。この静脈は著明に発達している例も認められ (図6-D)、このような例では結果的に横行前頭静脈が前頭葉のほとんどを還流することになり、やはり横行前頭静脈は上行前頭静脈とは異なる静脈であり、変異と考えられる。Okuderaら²⁸⁾は脳表静脈の分布および形態については、シルビウス裂と脳回の発達が大きく関与していると報告している。従って、通常とは異なった脳の発達によって横行前頭静脈が出現したとも考えることができるが、検討症例の脳は通常と比べて目立った差が認められず、別の何らかの要因が関与している可能性もある。文献を渉猟した限りでは、横行前頭静脈にあたる静脈の報告は見あたらず、今後、剖検などでの比較検討が待

ち望まれる所である。

ところで、DiChiroは¹⁰血管造影にてトロラール静脈の出現率は右で46%、左で18.4%であり非有意半球で出現頻度が高いと報告している。今回の検討結果と比べると出現頻度は大変低い率となっており、左右差も大きい。この理由としては、まず、静脈の定義に於ける細かい部分に違いがあるものと思われる。DiChiro¹⁰の報告ではトロラール静脈について明確な定義はされておらず、今回用いた定義との違いはわからないが、細かい部分であれ定義の違いは大きな結果の違いをもたらさうと考えられる。また、検討に用いたモダリティーの違いも結果に影響している可能性がある。ローラン静脈については明確な定義は見あたらない。今回の定義ではローラン静脈は吻合静脈に属する物としたが、結果的に出現頻度は93%と高率であり、上行静脈群とシルビウス静脈との吻合静脈は通常でも複数存在することが示された。定義上の問題であるが、トロラール静脈を「最も大きい吻合静脈」としたことで、トロラール静脈は1本以上存在しないことになっているが、トロラール静脈が複数存在してもよいとすれば、今回定義したローラン静脈の一部はトロラール静脈に含まれるものと考えられる。

三次元画像による解剖学的構造の描出の最大の特徴は、生体にて血管及び脳実質を明瞭に描出できる点であり、血管のみを対象とする血管造影や生体内とは環境が異なる剖検では得られない情報を得ることができる。したがって、今回行った検討は過去の報告における問題点を明示することができたと考えられる。脳表静脈の解剖については定義の問題が根底にあり、定義は一概にどれが正しいとは言いがたい。しかし、脳表静脈の解剖、さらには発生を理解する上で重要なことであると思われる。

脳固定標本を用いた基礎的検討及び脳腫瘍の臨床例における検討では、3D-MRIが実際の構造の位置的關係やおおよその量的關係を良好に表示していることが示され、その結果を評価しての一般臨床例を扱った脳表静脈の分岐形態の解剖学的検討では、3D-MRIを用いることによって脳表静脈について脳表構造との關係を含めた新たな知見を得ることができた。特に、一側前頭葉全体をドレナージする横行前頭静脈が認められる場合には、部分的な上矢状洞血栓症による静脈性梗塞の出現にも影響を与えることも考えられ、また、同様な静脈が腫瘍と隣接する場合に結紮などの手術的手技にも考慮が必要とされることも臨床的に有用な結果の一つと言えよう。

3D-MRIには、閾値の設定による修飾が見られたり、小さな構造物の描出が難しいというような、これまで述べた欠点があるものの、それを十分理解した上でそれを上回る利点があり将来的には多くの可能性を含むものであるということを確認しておきたい。特に、病変と脳表・脈管の關係について正確に描出できることは、臨床的に術前に手術のアプローチ及び方法を定める上で大きな手助けとなるだけでなく、解剖学的にこれまで報告された様々な報告を再検討できる。

また、シングルフォトン断層法 (single-photon emission computed tomography, SPECT)、ポジトロン断層法 (positron emission tomography, PET) などで作られる三次元画像を重ね合わせることで⁵⁾²⁰⁾²¹⁾、解剖学的画像に機能的画像を加えての三次元画像という展開は、今後大きな期待がもたれる分野であることもここに付記しておきたい。

結 論

脳3D-MRIの基礎的検討をもとにした脳表静脈の分岐形態の評価を行い、以下の結論を得た。

1. イヌ脳固定標本を用い、爪楊枝を刺して脳表に人為的に穴を作成し、様々な閾値設定で得られた3D-MRIで、その径を測定したところ、いずれの閾値においても部分容積効果による影響のため画像上で描出された穴は実際の径よりも小さく描出された。また、閾値設定については、閾値を低く設定することにより、視覚的にも他覚的にも大きな誤差を生じる事が示されたが、穴と脳回や脳溝との相対的位置關係については変化がなかった。これらより、正確な三次元画像を作成するには原画像と対比しながら作成する必要があることが示された。

2. 脳腫瘍患者に於ける3D-MRIにおいて、病変と脳表・脈管・脳室との關係について手術所見との対比を行った臨床的検討では、病変と脳表、脈管については正確に描出されていた。しかし、脳室については今回用いたワークステーションでは描出困難な場合があった。

3. 3D-MRIが、生体において正確に脳表と脈管との關係を描出できることを用いて、脳表静脈の解剖学的検討を行ったところ、上または中前頭回に沿って上矢状静脈洞と平行に走行する横行前頭静脈が15%において認められた。また、トロラール静脈は中心溝よりも前方を走行するものが91.5%で見られ、吻合静脈も高頻度で複数認められた。これらの結果は過去の報告では認められないか又は異なっているものであった。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導と御校閲を賜りました金沢大学医学部放射線医学講座高島力教授に深甚なる謝意を表します。また直接御指導、御教示いただきました金沢大学医学部保健学科鈴木正行教授に深謝します。臨床面について種々の御教授をいただいた、金沢大学医学部脳神経外科学講座山下純宏教授をはじめ脳神経外科学講座諸先生方に深く感謝します。さらに、多くの御助言、御協力いただきました植田文明助手ならびに本学放射線医学講座、金沢大学医学部附属病院放射線部諸兄に厚く御礼申し上げます。

尚、本研究の要旨の一部は第20回日本脳神経CI研究会(1997、京都)及び第56回日本医学放射線学会(1997、横浜)において発表した。

文 献

- 1) 栗原紀子, 日向野修一, 高橋昭喜. 頭部のヘリカルCT. 画像診断16: 1323-1329, 1996
- 2) 上杉康夫, 植林 勇, 辰巳智章, 清水雅史, 河合武司, 中井 健, 板倉 淳, 竹中 洋. 側頭骨のヘリカルCT. 画像診断16: 1330-1335, 1996
- 3) 林 宏光, 高木 亮, 川俣博志, 若林洋行, 高浜克也, 石原真木子, 市川太郎, 小林尚志, 隈崎達夫. 高速らせんCTによる血管性病変の診断—検査法の実際から3次元CTの現状まで—. 画像診断16: 1336-1347, 1996
- 4) 松迫正樹. CT気管支内視法—基礎的検討と臨床応用—. 画像診断16: 1355-1366, 1996
- 5) 野方容子, 山口元司, 荒木 力. 肝腫瘍のヘリカルCT. 画像診断16: 1367-1374, 1996
- 6) 西春泰司, 山下康行, 高橋睦正. 脾のヘリカルCT. 画像診断16: 1376-1380, 1996
- 7) 村上省吾, 平松慶博, 松島正浩, 田島政晴, 新木 操. 骨盤腔のヘリカルCT-膀胱3次元表示について. 画像診断16:

- 1381-1390
- 8) 片田和広, 安野泰志, 竹下 元, 古賀佑彦, 新野哲夫, 榎原立雄, 山田和広, 鈴木宏和, 齊藤繁起. MRIによる脳表面構造撮像法の考案. 日磁医誌9: 215-224, 1989
- 9) 大上史朗, 久角良明, 太田伸介. 脳神経外科手術の術前検査としての三次元MR画像の有用性. CI研究18: 339-343, 1997
- 10) Morioka T, Yamamoto T, Katsuta T, Fujii K and Fukui M. Presurgical Three-dimensional magnetic source imaging of the somatosensory cortex in patient with a peri-Rolandic lesion: technical note. *Neurosurgery* 34: 930-934, 1994
- 11) Hu X, Tann KK, Levin DN, Galhotra S, Mullan JF, Hekmatpantah J and Spire JP. Three-dimensional magnetic resonance images of the brain: application to neurosurgical planning. *J Neurosurg* 72: 433-440, 1990
- 12) Bomans M, Hohne KH, Laub G, Pommert A and Tiede U. Improvement of 3D acquisition and visualization in MRI. *Magn Reson Imaging* 9: 597-609, 1991
- 13) Heath DG, Soyer PA, Kuszyk BS, Bliss DF, Calboun PS, Bluemke DA, Choti MA and Fishman EK. Three-dimensional Spiral CT during arterial portography: comparison of three rendering techniques. *Radiographics* 15: 1001-1011, 1995
- 14) Oka K, Rhonton AL, Barry M and Rodriguez R. Microsurgical anatomy of the superficial veins of the cerebrum. *Neurosurgery* 17: 711-748, 1985
- 15) Perese DM. Superficial veins of the brain from a surgical point of view. *J Neurosurg* 17: 402-412, 1960
- 16) DiChiro G. Angiographic patterns of cerebral convexity veins and superficial dural sinuses. *AJR* 87: 308-321, 1962
- 17) Delmas A and Pertuiset B. Superficial supratentorial cerebral veins, in Newton TH and Potts DG(eds). *Radiology of the skull and brain*. St. Louis, CV Mosby, Vol II, book 3: 1870-1874, 1974
- 18) Takahashi M, Ashtari M, Papp Z. CT angiography of carotid bifurcation: artifact and pitfalls in shaded-surface display. *AJR* 168: 813-817, 1997
- 19) Tarjan Z, Mucelli PF, Frezza F, Mucelli PR. Three-dimensional reconstructions of carotid bifurcation from CT images: evaluation of different rendering methods. *Eur Radiol* 6: 326-333, 1996
- 20) Johnson PT, Heath DG, Kuszyk BS, Fishman EK. CT angiography with volume rendering: advantages and applications in splanchnic vascular imaging. *Radiology* 200: 564-568, 1996
- 21) Kuszyk BS, Heath DG, Ney DR, Bluemke DA, Urban BA, Chambers TP, Fishman EK. CT angiography with volume rendering: imaging findings. *AJR* 165: 445-448, 1995
- 22) Shapiro LB, Tien RD, Golding SJ, Totterman SM. Preliminary results of a modified surface rendering technique in the display of magnetic resonance angiography images. *Magn Reson Imaging* 12: 461-468, 1994
- 23) Castillo M. Diagnosis of disease of the common carotid artery bifurcation: CT angiography vs catheter angiography. *AJR* 161: 395-398, 1993
- 24) 鈴木正行, 高島 力, 藤永康成, 植田文明, 山城正司, 松岡利彦, 齊藤千夏, 木村真里, 山下純宏, 山嶋哲盛, 藤沢弘範. 脳腫瘍の3D-MRIの経験. 映像情報(M)28: 1253-1255, 1996
- 25) Barillot C, Lemoine D, Le Briquer L, Lachmann F and Gibaud B. Data fusion in medical imaging: merging multimodal and multipatient images, identification of structures and 3D display aspects. *Eur J Radiol* 17: 22-27, 1993
- 26) Oka K, Rhoton AL Jr, Barry M and Rodriguez R. Microsurgical anatomy of the superficial veins of the cerebrum. *Neurosurg* 17: 711-748, 1985
- 27) Okudera T, Ohta T, Huang YP and Yokota A. Developmental and radiological anatomy of the superficial cerebral convexity vessels in the human fetus. *J Neuroradiol* 15: 205-224, 1988
- 28) Levin DN, Hu XP, Tan KK, Galhotra S, Pelizzari CA, Chen GT, Beck RN, Chen CT, Cooper MD, Mullan JF. The brain: integrated three-dimensional display of MR and PET images. *Radiology* 172: 783-789, 1989
- 29) Greitz T, Bohm C, Holte S and Eriksson L. A computerized brain atlas: Construction, anatomical content, and some applications. *JCAT* 15: 26-38, 1991

In vivo analysis of the human superficial cerebral venous anatomy by using 3D-MRI Yasunari Fujinaga, Department of Radiology, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920 – J. Jusen Med Soc., **106**, 699 – 709 (1997)

Key words magnetic resonance imaging, three dimension, surface rendering, superficial cerebral vein, brain

Abstract

The purpose of this study is to show the reliability of three dimensional magnetic resonance imaging(3D-MRI), and to classify the drainage patterns of the superficial cerebral veins. At first, toothpicks were stuck into fixed brain surface of a dog. To examine the best methods for making 3D-MRI, the 3D-MRI, including the diameter of the holes, of the dog's brain were analyzed in four threshold values. The holes on the 3D-MRI appeared smaller than their actual size due to the partial volume effect. The low threshold showed more errors than the higher. This result showed it was necessary to display the good 3D-MRI to refer the original MR images. Next, the 3D-MRI of clinical patients who had brain tumors were correlated with operative findings especially in relation to the lesions and brain surface, vessels, ventricles. The relation between the lesions and brain surface, vessels were displayed well, but there were some problems with inadequate ventricular display. Finally, anatomical study using 3D-MRI was performed, because 3D-MRI could display the relation between the brain surface and the superficial cerebral veins in the basic studies. The third study demonstrated that the transverse frontal vein was found in 15% , vein of Trolard ran in front of the central sulcus in 91.5% and several anastomosing veins were frequently observed. These studies showed the progress of technology in bringing about a lot of new information by using 3D-MRI.