

小型プローブを設置した超音波血流計の 顕微鏡下手術での術中使用とその有用性

大東 陽治 横尾 昭 竹前 紀樹

小林 茂昭 杉田 慶一郎

信州大学脳神経外科学教室

Usefulness of Doppler Sonography with a Small Probe for Microvascular Surgery

Youji OHIGASHI, Akira YOKOH, Toshiki TAKEMAE

Shigeaki KOBAYASHI and Kenichiro SUGITA

Department of Neurosurgery, Shinshu University School of Medicine

We report on usefulness of microvascular doppler sonography (MF20 EME). This doppler sonography of 20Hz pulsed ultrasound using miniaturized probes (2 and 3mm diameter) is so tiny as to facilitate measurements in a narrow space at the base of the brain. We also use a special holder for the probe.

Direction of blood flow can be recorded automatically in real time, the oncoming (forward) and receding (away) flow being recorded above and below the zero line of the recorder, respectively.

This sonography makes it possible to search for vessels which are invisible at the surface up to a depth of 15mm.

The usefulness of this sonography during surgery is summarized below.

In the case of endarterectomy, we can confirm the blood flow through internal shunt.

Regarding anastomosis of STA-MCA, we examined 17 cases (22 anastomoses) with regard to velocity and direction of flow through recipient arteries just after anastomosis. Velocity of the blood flow through all recipient arteries increased distally through all recipient arteries. The direction of blood flow had changed immediately in 21 of 22 anastomoses.

It is helpful to discriminate between drainers and feeders from the recorded wave forms. Another advantage of this sonography during AVM surgery is to be able to detect whether there are any residual feeders when the total AVM including drainers is removed.

We also use this doppler sonography in the clipping surgery for aneurysms, especially giant ones. By touching the dome of the aneurysm with the probe, the remaining blood flow in the dome can be examined. If the blood flow persists, the clip should be readjusted to occlude the aneurysm completely. *Shishu Med. J.*, 37: 97-106, 1989

(Received for publication September 24, 1988)

Key words: doppler sonography, microvascular surgery

超音波血流計, 微小血管外科

はじめに

脳動静脈奇形摘出術，脳動脈瘤根治術，内頸—外頸動脈吻合術などに代表される微小血管外科は，近年，手術顕微鏡をはじめとする手術器具の進歩にともなう手術手技が著しく向上し，安全かつ確実に手術が行われるようになってきた。しかし，脳動静脈奇形摘出術の術中に，術野内の血管が流入動脈，流出静脈のいずれの血管であるのか判断がむずかしいときや，巨大脳動脈瘤頸部クリッピング時に頸部処理が完全か否か，また親血管の開存が良好か否か，そして血管吻合術で吻合終了直後に吻合血管の開存状態はどうか，などの「血管内情報」が術中にしかも術野内で得難いという問題も現実にはあると思われる。「対象血管とその周辺血管の血管内情報」すなわち，血流の有無，血流速，血流方向が簡便な方法で迅速かつ繰り返して測定できれば，血管内に向けられる術者のもう1つの眼としてきわめて有効なモニターになると思われる。微小血管外科は，多くの場合，径数mm以下の血管を対象にして顕微鏡下の狭くて奥深い術野で施行されるため，血管内情報を得るモニターとしては，術野を妨げない小型のもので，手術の展開に応じて逐次，種々の血管の情報を得ることができる血流計が望まれる。非侵襲的であることは言うまでもない。今回，われわれは径3mm，長さ9mmという小型のプロープを持つ超音波血流計（MF20，EME社，西独）を使用し，微小血管外科の術中モニターとしての有用性が確かめられたの

で，各種臨床例における使用経験を報告する。

1 超音波血流計

本血流計のプロープはマッチ棒先端部とほぼ同大の直径3mm，長さ9mmと小型なので，顕微鏡下の狭い術野を妨げることなく，目的血管のみの血流測定を直視下に行える利点がある（Fig. 1）。この血流計はパルスドップラーを使用しており，プロープ先端部に内蔵された1枚のクリスタル板が発振と受信の働きを交互に行い発振器からは20MHzの超音波が送られている。測定深度はプロープの接触面より0.1mmから最大15mmの深さまで可能であり，この間0.1mm刻みで任意の測定深度を設定し，その深度におけるドップラーシフトを受信器で受けて流速を測定することができる。

A プロープの接触角度による血流変化

公式(1)のごとくドップラーシフト(F)は血流に接触させるプロープの角度により変化する。

$$F = 1 / C \times 2 \times F_o \cdot V \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

F：ドップラーシフト

Fo：超音波周波数

V：速度

α ：接触面と平行の血管軸に対する角度

C：定数

Fig. 2は橈骨動脈にプロープを接触させた際，その角度による血流速の変化を示している。角度の血流速に及ぼす影響が大きいために流速の相対的評価には無理があるが，われわれプロープの接触角度を術野内で測

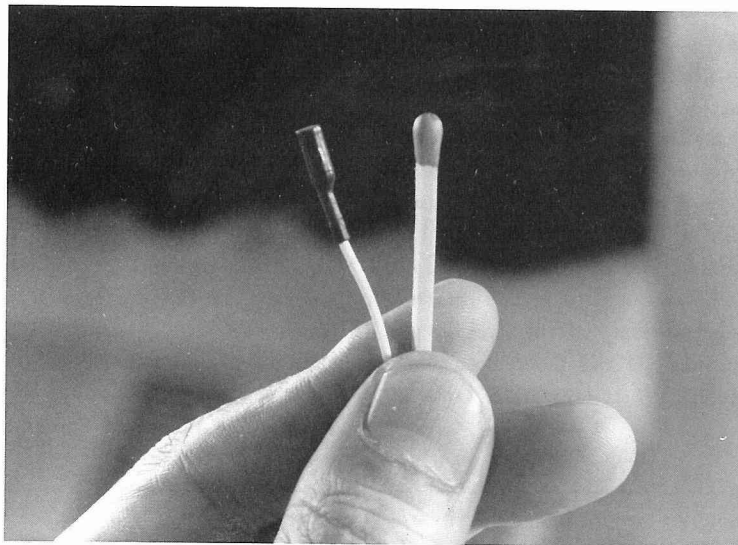


Fig. 1 A close-up view of the probe

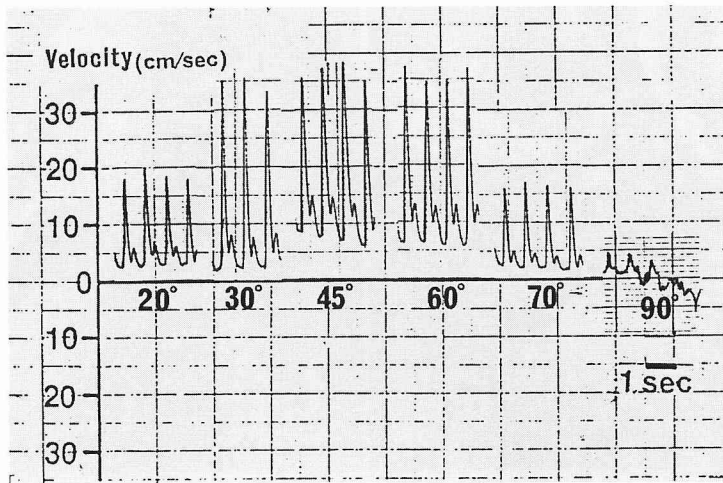


Fig. 2: Dependence of doppler frequencies taken from the zero-crosser on the incident angle

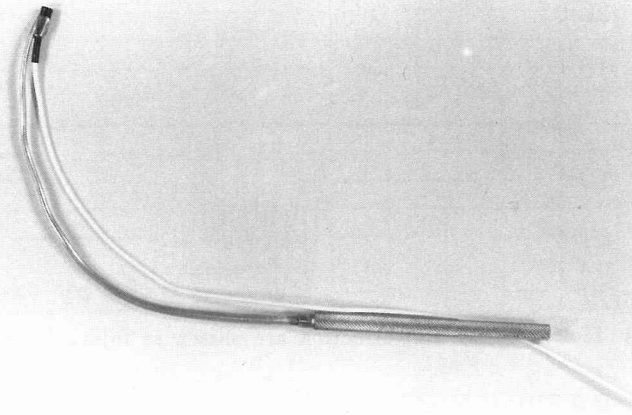


Fig. 3: Flexible applicator to hold the probe

定しやすい60度付近で血流速の測定を行った。また、経時的に血流速の変化を見る場合には同一角度、同一平面でプローブを接触するようにした。Fig. 3は自家製のプローブ保持器であるが、狭い術野でも一定の角度で血管に接触させるために先端部を銀製にして可撓性をもたせている。

B 血流方向の同定

同一血管を同一部位で方向を変えて測定すると、プ

ローブに向かってくる血流方向 (Forward) と、離れていく方向 (Away) はそれぞれ流速 0 cm/sec の基線に対して上方、下方に記録されるので瞬時にして確実な血流方向の同定が可能である (Fig. 4)。

C 動脈・静脈の鑑別

通常の動脈と静脈の鑑別はドップラシフトの音響上の違いや記録上の波形の違いから容易である。動脈の波形は収縮期、拡張期が明瞭に区別できるのに対し

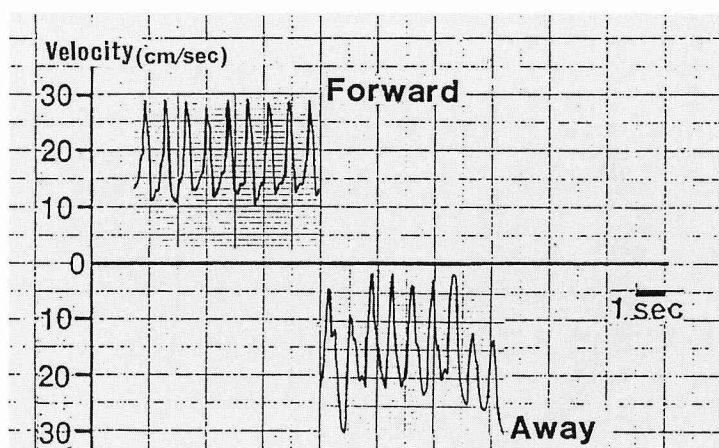
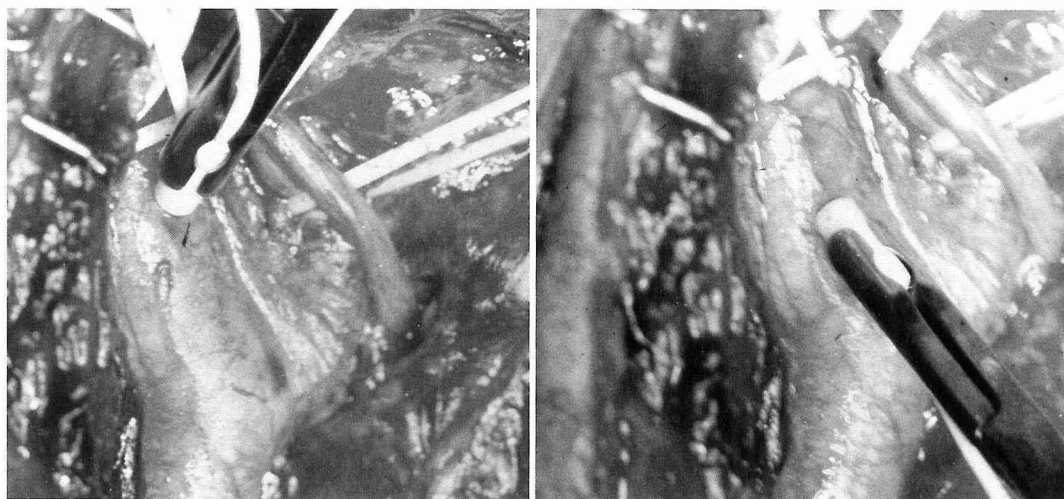
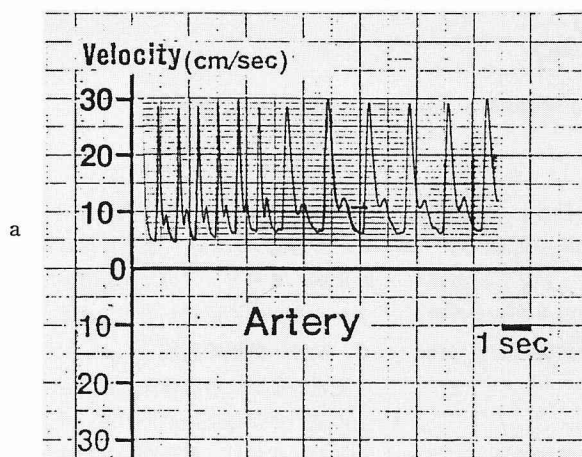


Fig. 4 : Flow velocity and direction are shown at internal carotid artery



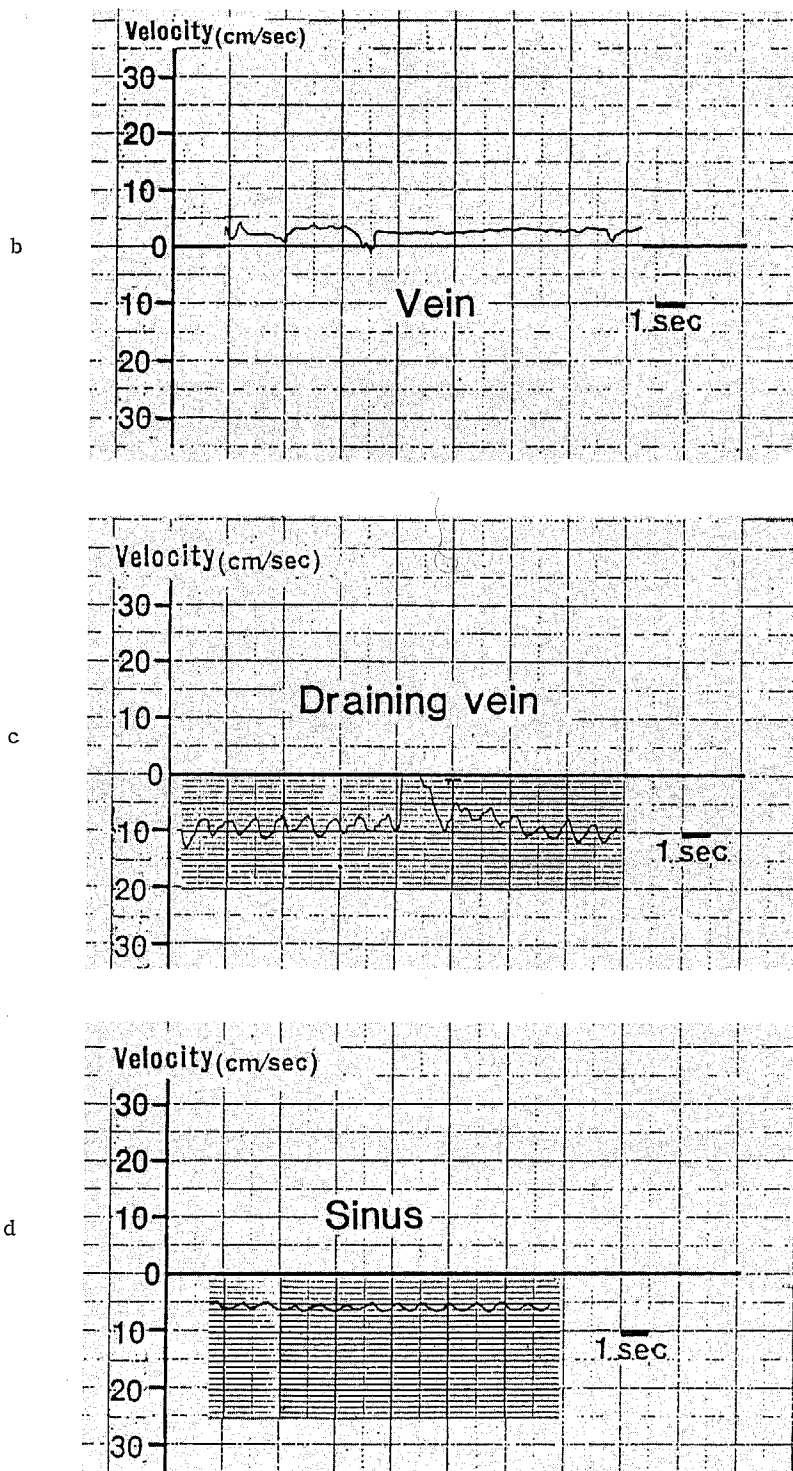


Fig. 5 a, b, c, d: Examples of velocity pattern of artery, vein, draining vein of A-V malformation and sinus

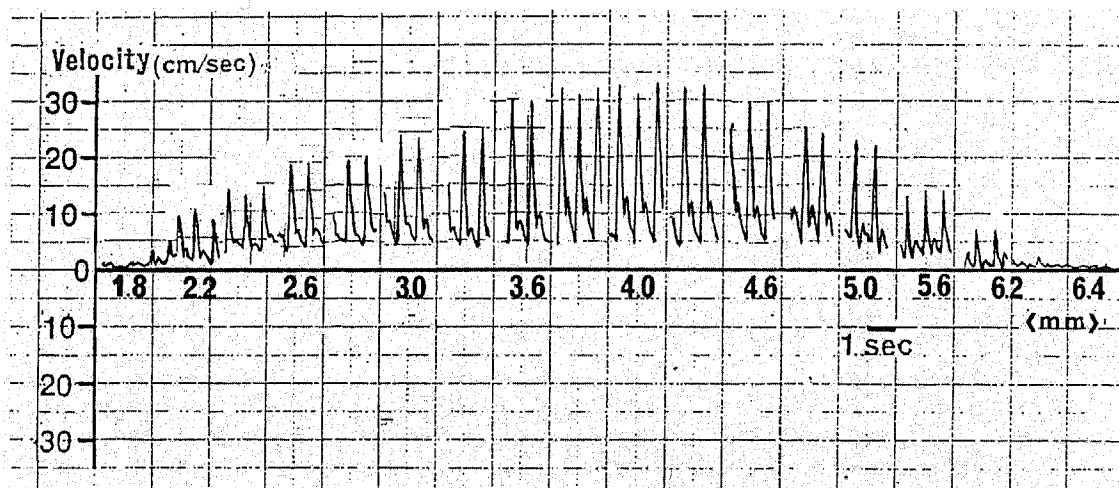


Fig. 6: Flow velocities of the radial artery obtained at various depth from surface of skin

て、静脈ではほぼ平坦な波形を示し、拍動はわずかである (Fig. 5a, 5b)。一方、動静脈奇形の流出静脈は波形上、通常の皮質静脈とは異なり、収縮期、拡張期が明らかに区別される「拍動を有する静脈」であり、血流速の波形からも「動脈化した静脈」と考えられた (Fig. 5c)。静脈洞の典型的な波形は通常の皮質静脈と異なり、明らかな拍動を示し、流出静脈に類似した波形が得られた (Fig. 5d)。

D 血管の同定

直視下に確認できない血管を同定する方法として超音波血流計は最も適したものと思われる。Fig. 6は橈骨動脈の血流を経皮的に測定したものである。測定深度を0.1mm刻みに深くしていくと、プローブ接触面から1.8mmの深さでドップラーシフトが現われ始め漸次、流速を増して3.9mmの深度で最大になり、以後流速が減少して6.3mmの深さでドップラーシフトが消失している。この結果からプローブ接触面の下1.8mmの深さに、内径6.3-1.8mm=4.5mmの血管(動脈)の存在が推定される。また、血流速のプロファイルは血管断面の中心部で最大となり、周辺部に行くにしたがって流速が減少していく様子が分かる。このように直視下に確認のむずかしい血管を比較的容易に同定することのできる超音波血流計の術中利点のおもなものをあげると、①内頸一外頸動脈吻合術の際に浅側頭動脈の走行・分岐を頭皮上にトレースできること、②主要血管を巻き込んでいると予想される脳腫瘍

摘出術の際に腫瘍摘出術操作部位と主要血管との位置関係を適宜調べたり、経蝶骨洞下垂体腺腫摘出術において術野内にみられることのできない内頸動脈や海綿静脈洞までの距離を知ることができること、③静脈洞を横断する開頭術の際に、静脈洞を損傷しないように硬膜を切開するために静脈洞の位置・幅を正確に検出するときにも有用である、等である。

II 臨床経験

A 頸部頸動脈内膜剝離術

われわれは術中の脳虚血発生の予防のために内シャントを設置して顕微鏡下手術を行っているが、内シャントの血流の確認に当たっては従来はチューブ側管でフラッシュを行っていた。この方法は手技的に煩雑で確実性に乏しいと思われるので、われわれは最近ではこの超音波血流計をシャント内の血流確認に応用してみた。プローブを直接シャントチューブに接触させるという簡単な操作で瞬時に流速が表示され、記録されるので血流の確認は容易であり、随時繰り返して測定できるのでシャント内血流速のおおよその相対的、経時的变化についても知ることができる (Fig. 7)。ただ、シャントチューブの材質によっては測定しにくい場合もあった。

B 外頸一内頸動脈 ST-MCA 吻合術

17症例(22吻合)で測定したが、吻合終了直後に吻合血管の開存状態を容易に確認できる点以外にも、吻

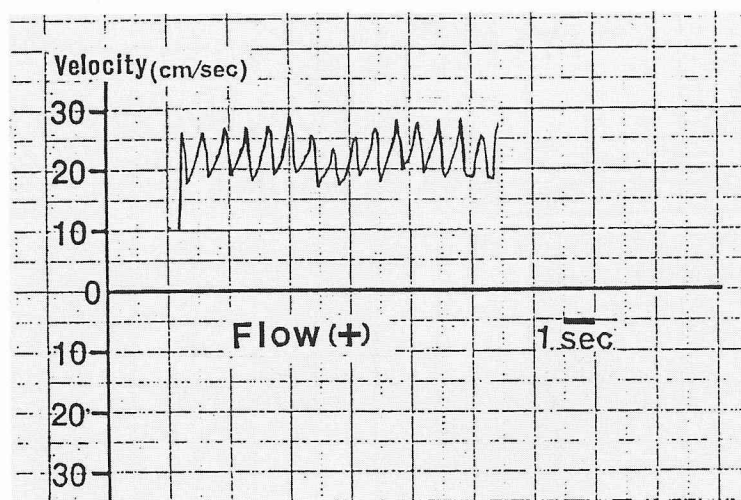


Fig. 7: Doppler sonography confirming blood flow through the internal shunt during endarterectomy surgery

合前後の血流速の変化と血流方向を知る上で有用であった。

吻合前後の MCA の血流測定は吻合部の遠位部と近位部の 2 カ所で行い、STA クリップの解除前後で測

定した。遠位部では22吻合全例に血流速の増加がみられ、遠位部の血流量が吻合後増加したことが示唆された (Fig. 8a)。MCA 近位部では吻合後に血流速の増加例と減少する例がみられた (Fig. 8 b, 8c)。その

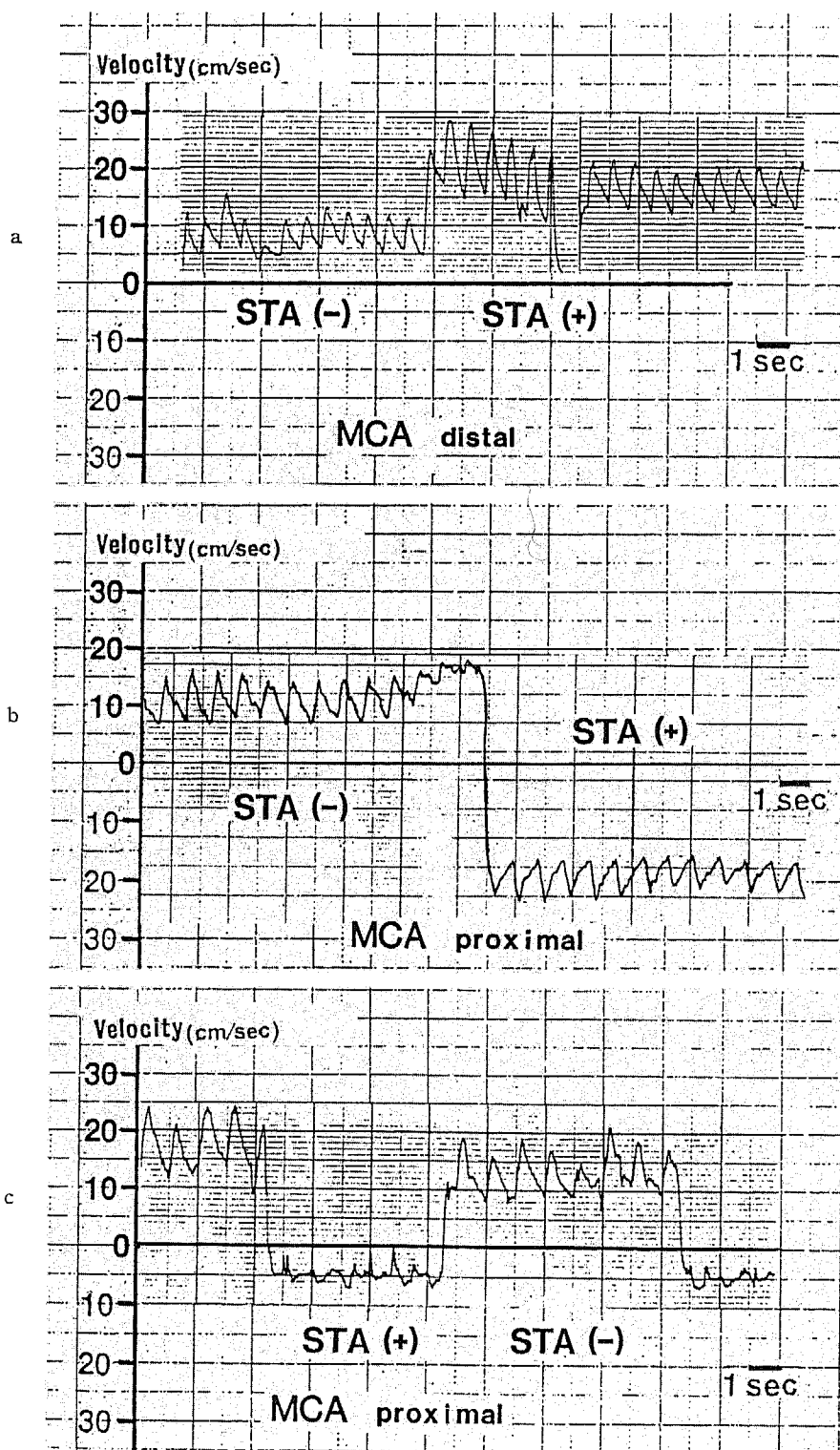


Fig. 8a, b, c: Changes in flow velocity and direction after STA-MCA anastomosis

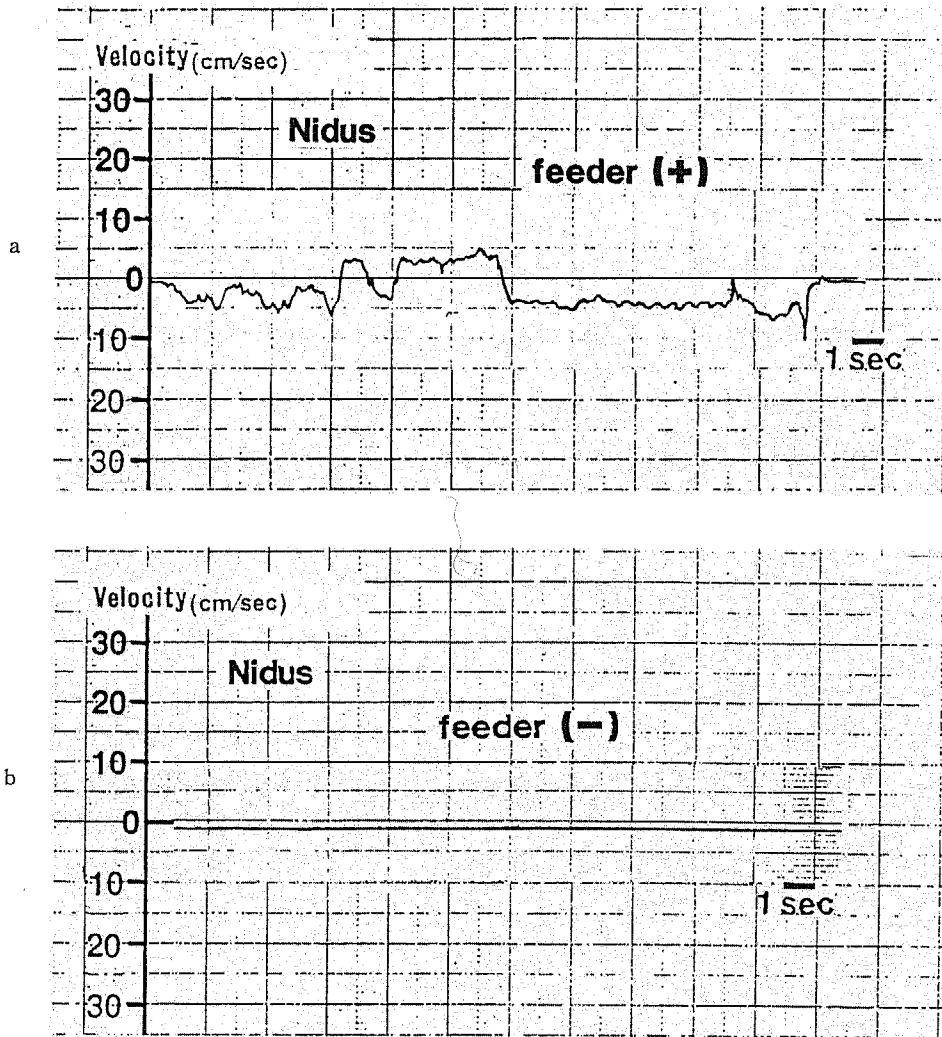


Fig. 9a, b: Changes in flow velocity at nidus. Before the total resection of A-V malformation (upper) and after (lower)

原因としては STA の血流量、ST-MCA 間の血圧・血流量差、吻合部の角度・面積など種々の要因が関与していると推定されるが、さらに症例を重ねて検討を要すると考える。つぎに、吻合前後の STA から MCA の血流方向については、22 例中 21 例は吻合直後より遠位部と近位部の 2 方向に分かれた。内頸動脈巨大脳動脈瘤の症例でクリッピング前に施行して吻合術の 1 例のみは吻合前後の血流方向に変化がみられなかった。

C 脳動静脈奇形摘出術

脳動静脈奇形摘出術は術前血管写を詳細に検討して、

流入動脈・Nidus・流出静脈の立体的位置関係を把握しておくことが必須であるが、摘出操作中に、術野内に見える種々の血管が血管写上のどの血管に相当し、流入動脈なのか流出静脈なのか、そして Nidus に対して血流方向はどうかの判断に迷うときがある。そのような時、超音波血流計は流入動脈・流出静脈の判別とその血流方向に関する情報を与えてくれるため、術野内の立体的オリエンテーションの助けになり、術操作の展開に十分有用であった。

流入動脈は通常の動脈と同様の流速波形を示すので判別は容易であるが、流出静脈は前述のごとく動脈に

類似した、拍動を有する波形を示すので (Fig. 5c), 即座に動脈との鑑別がむずかしいこともあった。両者の波形上の相違点は最大流速値が得られた時の両者の波形を比較することにより両者の鑑別が可能になった。

流出静脈では動脈にみられるような鋭い収縮期ピークはなく、ピークまでの立ち上がりも流入動脈に比べて遅いために収縮期の流速も遅い。そして収縮期、拡張期の速度差が流出静脈で小さいなどの傾向がみられた。これらのことから流入動脈、流出静脈の判別はたいていの場合可能であったが、依然として判別のつかないこともあり今後の課題と考えられる。しかし術中にAVMの構築や周辺血管との立体的位置関係を把握する上で有用であった。

動静脈奇形を摘出していく過程で、Nidus直上にプローブを接触させて、測定深度を変えていきながら残存流入動脈の有無について確認したい場合にも有用であった。流入動脈の残存がある場合には血流方向の種々変化する波形が記録されるのに対して (Fig. 9a), 流入動脈が完全に処理された後には、どの測定深度でも流速を示す波形が得られなくなる (Fig. 9b)。

D 脳動脈瘤手術

脳動脈瘤根治術の中でも巨大脳動脈瘤の頸部処理はむずかしく、クリッピング時に親血管やその分枝の狭窄や閉塞がおこったり、完全にドームへの血流遮断を行うためには複数のクリップを必要とするときがある。この時、親血管の閉塞の有無や頸部処理の完全不完全の確認を術中しておくことは必須であるが従来は簡便にして有効な術中モニターは少なかった。径3mmのプローブをもつ、この超音波血流計は顕微鏡下の狭い術野内でも、クリップに支障をきたさずに直接動脈瘤ドームにプローブをあてることができ、動脈瘤頸部処理の完全・不完全を瞬時に確認できる利点がある。ま

た、窓あきクリップを使用した場合にも親血管の閉塞のないことを超音波血流計で容易に確認することもできる。

Ⅲ ま と め

超音波血流計の開発ならびにその臨床応用は1950年代にはじまり¹⁾⁻³⁾, 1970年代には、測定部位に死腔がなく、血流のみの測定ができ、しかもプローブの小型化が可能なパルスドップラー超音波血流計が臨床応用され⁴⁾⁵⁾, Gilsbach⁶⁾が改良した20MHzパルスドップラー超音波血流計によってはじめて顕微鏡下で行う微小血管外科の術中使用が可能になった。

超音波血流計は非侵襲的血流計として、微小血管外科の術中使用の場が今後ますます広がり、術者の血管内に向けられるもう1つの眼として、有効な術中モニターの1つになっていくだろうと思われる。しかし血管内を流れる血液量の絶対値測定ができないことや、プローブの接触させる角度・強さなどにより血流速が微妙に変化するために、同一血管の経時的流速変化を評価することのむずかしさ等の問題点もある。目的血管の内径と流速のプロフィールが同時に測定でき、しかも、接触角度の違いから生ずる流速値の変化が補正されるような超音波血流計と小型プローブが開発されれば、血流量の絶対値測定も可能になり、術中モニターとしての利用価値がよりたかまるのではないかと思われる。

Ⅳ 結 語

径2mm, 3mm, 長さ9mmの小型プローブをもつ超音波血流計の各種微小血管外科の術中使用経験とその有用性について報告した。

(この要旨は第43回日本脳神経外科総会で発表した)

文 献

- 1) Kalmus, H.P. : Electronic flowmeter system. Rev Sci Instrum, 25 : 201, 1954
- 2) Baldes, E.J., Farral, W.R. and Haugen, M.C. : A forum on an ultrasonic method for measuring the velocity of blood. Amer Inst Biol Sc, 156, 1957
- 3) Satomura, S. : Study of the flow patterns in peripheral arteries by ultrasonics. J Acoust Soc Jpn, 15 : 151-158, 1959
- 4) Nornes, H., Grip, A. and Wikeby, P. : Intraoperative evaluation of cerebral hemodynamics using directional doppler technique. J Neurosurg, 50 : 145-151, 1978
- 5) Hartley, C.J. and Cole, J.S. : An ultrasonic pulsed doppler system for measuring blood flow in small vessels. J Appl Physiol, 37 : 626-629, 1974
- 6) Gilsbach, J.M. : Intraoperative doppler sonography in Nuerosurgery. Wien-New York, Springer, 1983

(63. 9. 24 受稿)