

脳血管障害に対する電氣的凝固血栓法の応用と問題点

半田 肇・米田 俊一

Electrothrombosis for the Treatment of Cerebral Vascular Lesions

HAJIME HANDA and SHUNICHI YONEDA

Department of Neurosurgery, Kyoto University

I はじめに

脳血管障害に対する外科的治療は、診断技術や手術手技の向上で近年その成績は著しく進歩し、手術適応の範囲も拡大してきている。しかし症例の中には、従来の手術方法では困難なものも依然として少なくない。たとえば、深部脳動静脈奇形、巨大脳動脈瘤、内頸動脈-海綿静脈洞瘻特に特発性のものなどは、現在でも常に手術成功を期待することは困難である。したがって、手術適応はもとより、手術をする場合も手術法に種々の検討が加えられているのが現状である。

我々は、1961年以来電氣的凝固血栓作成の機構について種々の動物実験を行う⁹⁾¹³⁾²²⁾⁴⁰⁾とともに、1964年以降は上記の疾患に対する臨床応用を行ってきた²⁾²²⁾。ここでは、これまで我々の行ってきた基礎的研究、方法、さらに現在行っている実際的手技、臨床応用、今後の問題点などを中心に述べる。

II 電氣的凝固血栓療法の基礎的原理

血管内に異物が刺さると、それを中心に血栓が形成されることは古くから知られている。赤血球、白血球、フィブリノーゲン は正常な pH 範囲内では negative に荷電しており、電気泳動で白血球、洗滌血小板が陽極に向かって移動することもよく知られた事実である¹⁾³²⁾。また、血管内膜が外膜に対して negative に荷電していることもすでに知られている。これらの事実から、血管内で血液凝固が起こらないのは、血管内膜と白血球、赤血球、血小板、フィブリノーゲン、すべてが negative に荷

電していることが一つの factor と考えられている。したがって、もし血管内膜になんらかの物理的損傷が加わると、その部分の内膜はただちに positive になり、negative に荷電している血液成分はひきつけられて血栓を形成することになる。これを応用すると、陽イオンをもった金属などを血管腔内に刺入すると、これを中心に negative に荷電した血液成分がひきつきやすい状態となり、血栓形成が起こってくる。さらに刺入した金属針に直流陽極電圧を加えると、血管腔内により速やかに確実に血栓が形成されることになる。これが電氣的血栓療法の原理である。

一般に金属元素は陽イオンとなり、陰イオンと結合する性質をもっているが、金属イオンにも陽イオンになりやすいものとそうでないものがある。Fe⁺⁺、Cu⁺⁺ などの金属は血管内に刺入し、一定時間置くと自然にこれを中心に血液凝固を起こしやすい。したがって、この金属に外部から陽電氣を与えてやると血液凝固は一層促進される。

III これまでの臨床応用

上述の原理を腹部動脈瘤に応用し、動脈瘤の破裂を予防できる可能性を報告したのは、今からすでに 150 年ほど前からである。1831年 Velpeau³⁵⁾、1832年 Philips³⁰⁾、1847年 Ciniselli⁵⁾、1864年 Moore & Murchison²¹⁾ らの報告がある。ことに Ciniselli は、刺入した電極に電流を通じている。

その後、この療法はほとんど行われていなかったが、1950年頃から再び注目され始めている。1951年 Bal-

京都大学脳神経外科

〔連絡先：〒606 京都市左京区聖護院川原町54，京都大学脳神経外科，半田 肇〕

kemore^{39,40} は、11例の腹部動脈瘤に coin silver wireを刺入し、これに通電し、電極周辺の血液の温度をあげて血栓形成を行っている。通電は100 V., 5～13 sec. で、このうち7例が生存し、6例に症状の改善を見たと報告している。また Linton と Hardy^{18,19} も1951年と1952年に、17例の梅毒性腹部大動脈瘤患者を開胸し、stainless steel wire 100～500 feet 挿入し、良好な成績をあげている。

脳神経外科の分野での応用は、1941年 Werner, Balkemore, King³⁷ が脳動脈瘤に応用したのが最初であるが、この当時あまり好評ではなかった。その後も脳神経外科の領域ではほとんどかえりみられていなかったが、1964年になり、Mullan ら²³ は脳動脈瘤が時々血管写で造影されなくなっている点に注目し、脳動脈瘤に対する電気的血栓療法を考えた。彼らはまずイヌの femoral artery に細い針電極を刺入し、50～200 μ A, 1～2時間通電して、血栓が形成されることを確かめ、この方法を12例の脳動脈瘤の症例に応用した。この際術中血管写で確かめながら、stereotaxic に動脈瘤に電極を刺入し、通電する方法をとっている。続いて彼ら²⁴は、実験で刺入する金属で、thrombogenic propertive をもつと思われる24種の金属を試みて、その中で銅、カドニウム、ベリリウムなどがもっとも効果的であると確かめている。

我々がこの電気的血栓作成法に注目したのは1961年で、最初は血栓症に対する線維素溶解療法の実験研究のために本法を用いた。最初はイヌ頸動脈血栓を双極通電により作成した(吉田⁴⁰)。ただしこの方法では、電極装着法の関係から臨床応用は不可能であったので、臨床応用の観点から、古来から伝わる鍼刺術(acupuncture)に基づく細白金針囊内刺入による単極陽極通電法を考案し、動物実験により、1)臨床的応用上の最適通電量はどの位か、2)電気的作成血栓の自然融解はないか、3)電気的作成血栓による栓塞の恐れはないか、について検討した(森²²)。その結果は、イヌの頸動脈に白金電極を刺入した場合3 mA, 1時間通電で90%以上に血栓が形成される。もし temporary clip を用いると5 mA, 15～20分間通電で100%血栓作成が可能であり、自然融解はまったくなく、栓塞の心配もないことがわかった。この結果をもとに、脳動脈瘤1例、脳動静脈奇形1例に臨床的に用いた²²。森はさらに、この通電中、もしくは通電直後に動脈内に確実に血栓が作成されたかどうか、それを知る指標を知るため、通電による血管壁の電位差の変化と血栓形成の関係を実験的に追求し、定電位電流法では、5 mA 以上の電流が流れるような状態では時間の経過とともに次第に電流値が低下し、その値が1 mA 以下になっ

た時点では確実に血栓が作成しうることがわかった。これを用いて、頭皮の大きな racemose angioma の1例²²と眼窩内の静脈瘤の1例を治療した¹²。

しかし、この方法は深部の脳血管性病変に用いるには、電極の点、定電位電流法である点などに問題があり、その後広く臨床で応用できるまでにはいたらなかった。そこで、深部の病変に応用するという観点から、数年前から再び電極の金属の種類、電極の先端の形、刺入方法、通電法などについて動物実験で種々再検討し、現在の手技を確立した。

Ⅳ 現在行っている方法および手技

Mullan ら²³、Hosobuchi ら¹⁴ の方法と対比しながら、我々の方法および手技について述べる。

1. 電極の金属

上述のように、我々は最初白金電極を acupuncture 方式で刺入する方法を用いていたが、動脈のように流れの速い部位で確実に血栓を作るためには、この方法では通電中一時的に proximal で、血流を遮断せざるをえなかった。その後数種の金属で検討してみたところ、 Fe^{++} と Cu^{++} がもっとも血栓形成に優れていた。特に Cu またはその合金が硬さを自由に換えられる点でもっとも好ましいことがわかった。この点、Mullan ら²³の意見は正しいと思われる。ただ、現在のところ、Cu がこの目的にもっとも適した金属であると思われるが、特殊合金の中にさらに効率のよいものが見つかるかもしれない。

刺入を目的とする場合は硬い銅線がよく、一般的には「リン青銅」線、または「ベリリウム銅」線がよい。また疾患およびその病変の部位により、軟かい銅線を必要とする時は、通常のエナメル線を適当な長さだけ被覆をはがして使用すればよい。

電極の径は、0.1～0.3 mm ぐらいのものが適当で、我々の用いているものも Mullan ら²³、Hosobuchi ら¹⁴とだいたい同じである。細いほど刺入時に破裂などの危険性が小さいことはいうまでもない。電極の先端についていえば、これは刺入法、挿入法と関係があるが、硬いベリリウム銅線のような場合は先端は丸針または縫い針のように加工されたものがよく、先端が曲がっていたり、角ばっているものは使用できない。軟かい銅線の場合は挿入法が異なるので、先端は切断したままでよい。

2. 電極の刺入および挿入法

電極の刺入および挿入はこの電気的血栓法のもっとも重要な要点の一つである。まず刺入および挿入点を正確に知ることである。そのため、ぜひとも必要なのは術中血管撮影で確かめることである。脳深部血管病変に用い

る場合は、術中血管撮影は浅側頭動脈から総頸動脈に逆行性カテーテルを挿入して行うか、逆行性椎骨動脈造影、または Seldinger 法のいずれかの方法で行っている。開頭した後、術中血管撮影を行う場合が少なくないが、この場合十分に注意しないと必要とするフィルム面に手術器具などが重なり合って撮影されるので注意する必要がある。

電極の挿入法は、症例により、また病変の部位により異なるので、どの方法がよいとは一概にはいえない。参考のため、Mullan, Hosobuchi, および我々の方法を説明すると次のごとくである。

Fig. 1 は Hosobuchi¹⁴⁾ が海綿静脈洞瘻に使用した方法である。A は 34 gauge の軟かい銅線、B は 22 gauge の注射針のようなもの、C は軟かい銅電極を中に送り込むパイプである。C のみを後方に引いて、次に C と B をともにつかんで前方に押すと、A のみが手元で kink することなく必要かつ十分な量の電極を挿入することができる。

Fig. 2 は Mullan²⁶⁾ が動脈瘤内に電極を 1 回の刺入で多量に挿入する方法を考案したもので、22 gauge の注射針の中に入るような細いベリリウム銅線またはリン青銅

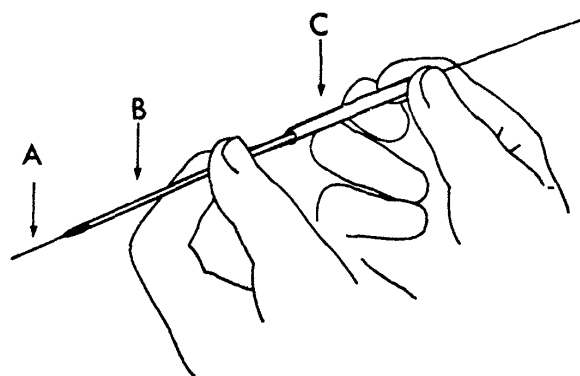


Fig. 1 Insertion needle for copper wire. (A) 34-gauge copper wire. (B) 22-gauge needle. (C) 18-gauge tube "pump". The wire is pushed forward through the 22-gauge needle, by grasping the wire and the end of the "pump" together. (from Hosobuchi, Y. *J Neurosurg* 42: 76, 1975)

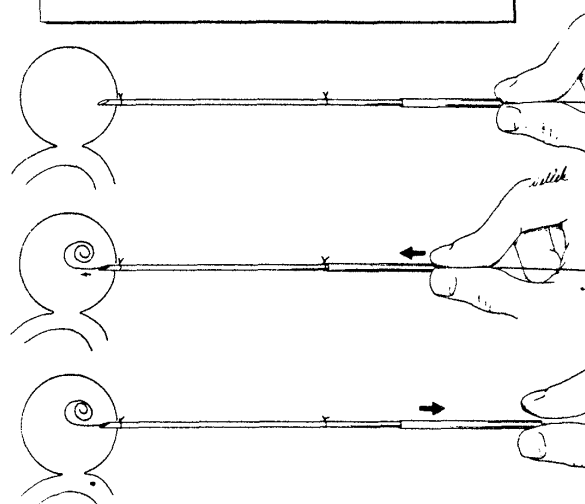
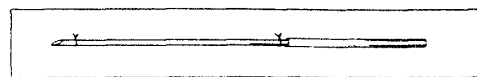
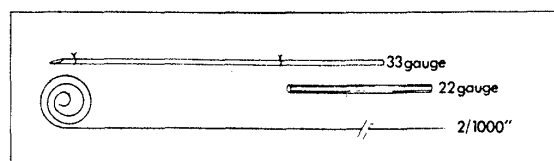


Fig. 2 Diagram showing pumping action of a segment of 22-gauge steel tubing. This is essential to prevent kinking of wire during insertion. (from Mullan, S. *J Neurosurg* 41: 657, 1974)

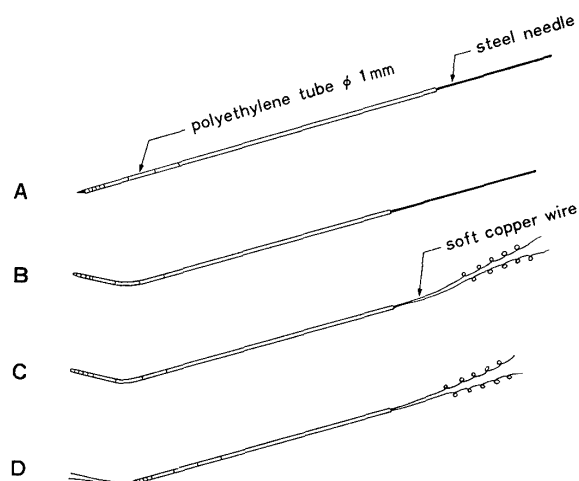


Fig. 3 Insertion for soft copper wire

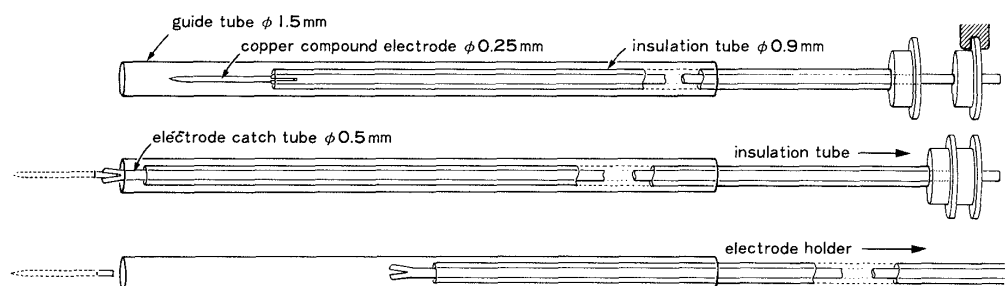


Fig. 4 Insertion for beryllium copper wire

線を用いている。このベリリウム銅線は antimagnetic 時計のひげぜんまいを用いている。この方法は、動脈瘤に対しこのように1回の刺入により多量の電極を刺入し、刺入時の破裂をさける方法であり、きわめてすぐれた方法と思われる。

Fig. 3 および Fig. 4 は我々の方法である。Fig. 3 は軟かい銅電極を刺入する方法で、Aは鋼針の入った polyethylene tube で、この tube の先端は taper 状になっていて、この鋼針は polyethylene tube とともに刺入され、1 cm ほど入ったところで鋼針のみ抜去し、Bのように polyethylene tube のみを押し進める。Cは軟かい銅電極を polyethylene tube に挿入したところで、この場合、polyethylene tube のみを少し抜去すると、Dのように電極のみ目的点に残ることになる。内頸動脈—海綿静脈洞瘻および巨大脳動脈瘤の電気凝固血栓にはこのような方法を用いている。Fig. 4 は硬くて細い電極を正確に深部の目標点に刺入し、しかもその部に電極をそのまま留置する場合に用いている。症例によっては、電極を stereotaxic に刺入する際にも使用している。この電極ホルダーは200 μ 用と280 μ 用の2種類を用いている。内頸動脈—海綿静脈洞瘻の場合は太い方を用い、細い方は深部の脳動静脈奇形に用いている。

以上、Mullan, Hosobuchi, 我々の三つのいずれの方法もそれぞれ特徴があるが、これで完全というものではなく、改良点もあると考えられる。ことに症例により用いる電極の太さも異なることを考えると、常に一定の方法が確立されるとは思われない。要は症例の血管撮影像をよく検討し、その症例にもっともよいと思われる刺入法、電極の太さ、長さを決定することである。

このような観点から、我々は、脳表の巨大脳動静脈奇形の場合には術前の血管撮影像を検討し、それぞれに適した grid を作製し、これを頭皮、脳表においてから血管撮影を行い、grid を目やすに10 cm 前後の電極を数10本流入動脈、nidus に用手的に刺入する。最後に手術野で、これらの電極を別の銅線で並列にハンダづけをしてから通電する方法をとっている。また深部の脳動静脈奇形に応用する場合には、電極を正確に目標点に刺入しなければならないので、定位脳手術装置を装着したまま開頭ができる定位脳手術装置を開発した。Fig. 5 に示すごとく、basal ring に頭部を固定し、正面、側面に grid を固定し、開頭術を施行した後血管撮影を行い、刺入点を決定する方法をとっている。

なお、刺入した電極は、通電した後は内頸動脈—海綿静脈洞瘻、深部脳動静脈奇形、脳動脈瘤の場合は、そのまま留置している。抜去するとそこから出血する場合も

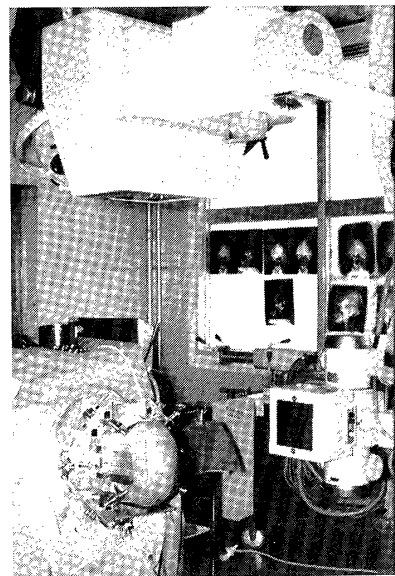


Fig. 5 A new stereotaxic instrument for open stereotaxic operation and operating room equipped with biplane X-rays tube.

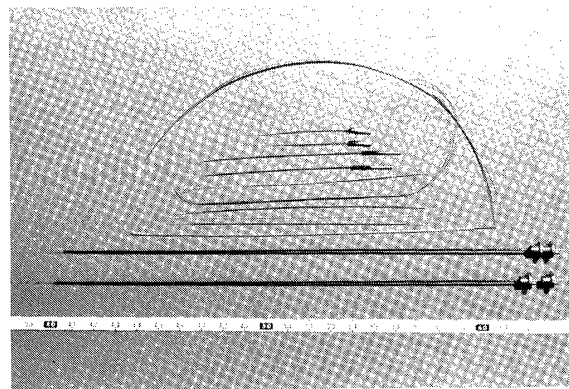


Fig. 6 Electrodes and electrode holder

あり、またいったん形成された血栓が遊離する可能性もあるからである。

Fig. 6 は症例に応じて我々が使用している各種の電極である。

3. 通 電

通電には直流電流を流す。電流を流す回路は、電池と可変抵抗器、アンメーター、ボルトメーターからなる簡単なもので、これで血栓形成には十分である (Fig. 7)。しかし、人体に電流を流すので、定電圧または定電流を control できるような正確な装置が望ましい。我々は、工業用の定電圧、定電流校正器を応用しているので、医療用と異なり、電源部分が独立しておらず、isolating trans を使用する必要がある。

定電圧で電流を流した場合、電極に血栓が凝集するの

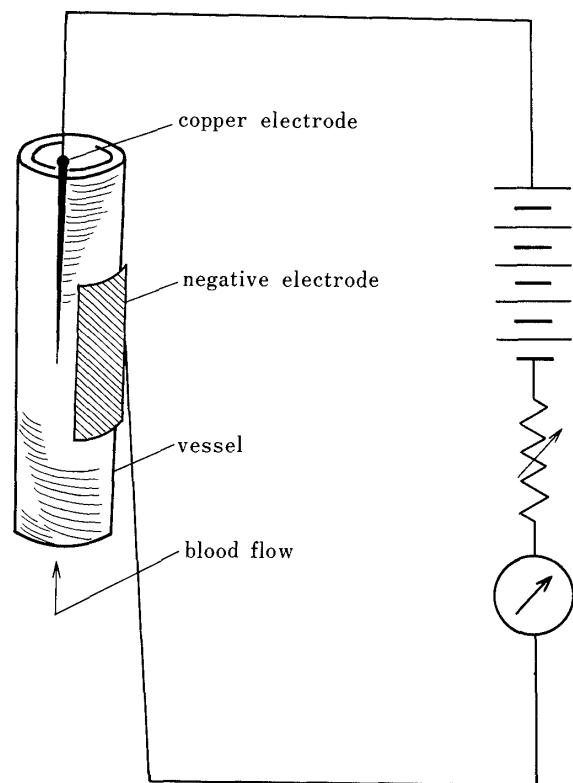


Fig. 7 Simple circuit used to produce thrombosis into the vessel.

で、当然抵抗値は変化し、電流量も変化する。逆に定電流で電流を流した場合は、抵抗の変化とともに電圧も変化する。定電流法、定電圧法どちらも血栓は形成されるが、我々はその後の種々の基礎的研究と、次のような理由から現在定電流法を採用している。つまり、一本の血管の中に一本の電極を刺入して通電する場合、定電流法の方が血栓形成が安定して形成される。これはメッキや電解現象でも見られる一般的な現象である。次に、人体に電流を流す場合の安全性は電流量が問題になるが、この安全性の面でも定電流量の方が制御しやすい面がある。それは、電圧が低くても電流量の大きい場合には生体に及ぼす影響が大きいからである。さらに電極を多く刺入し、各々を並列に接合して電流を流す場合に、定電流法では抵抗値に関係なく一定の電流を流すことができるのも大きな利点である。

通電中は電流および電圧をモニターするために2チャンネル・ペンレコーダーで記録している。この記録を観察することにより、電流、電圧の変化とともに、抵抗値の変わり方、通電時間、および通電回路の状態がわかる。また実際に生体に電流が流れているかどうかを判定することもできる。

さらに安全性の面で強調したいのは、我々が通電している電流は、0.2～10 mA で、1分～1時間の通電時間

であるが、通電中は心電図、電気メスなどの医療用電気器具を一切人体と切り離していることである。このため我々はまだelectric shockをきたした例は経験していないが、数多くの医療電気器具と同時に使用する場合には、器具のアースを忘れないこと、など一般的注意を怠ってはならない。

電流の大きさと通電時間は結局電力になるが、どの程度の大きさの電流をどの位の時間流せば目的とする血栓が形成されるかは一概にはいえない。動物実験では、外径2 mm位の動脈に200 μ 位の銅電極を1本、1 cm刺入して2 mAの電流を10分前後通電すると血栓は形成され、血行は遮断される。もし電極を2本、3本と多く刺入する場合には、血栓形成完了時間はさらに短縮される。また電流量が1 mA以下で、通電時間が数分でも、電極をそのまま血管内に留置すれば、1～3週間で血栓が形成される。このように、電極の数、長さ（電極の総面積）、通電時間は症例により、病巣の大きさ、部位によって異なる。術中に血栓形成完了の確認を必要とする場合は、当然電極数を多くして電流も大きなものにしなければならない。ただ、電極を留置する場合は別で、Mullan²⁶⁾も、内頸動脈—海綿静脈洞瘻の症例では電極を多く留置するならば、必ずしも通電を必要としないと述べている。

ちなみに、現在までに我々が行った電氣的凝固血栓療法を行った症例に用いた電流量、通電時間、電極について、Table 1に示す。

V 我々の臨床的応用

我々は1972年以来銅電極を使用して、これまでに脳動静脈奇形7例（うち3例は深部）、内頸動脈—海綿静脈洞瘻5例（うち1例は外傷性、残り4例は特発性）、脳動脈瘤1例、頭皮 cirroid 血管腫5例を治療した。

1. 脳動静脈奇形

比較的脳表に近い巨大脳動静脈奇形4例は1例を除き3例は電氣的凝固血栓療法を行った後、手術的に全剔出した。つまり、全剔出の予備操作として用いたもので、巨大な動静脈奇形であったにもかかわらず、電氣的血栓を行った後は患部からの出血はほとんどなく、短時間で全剔可能であった。全剔出できなかった1例は、通電凝固中に動静脈奇形から小出血をきたしたので、電極を残したまま再手術を予定して閉頭した。

深部脳動静脈奇形の3例のうち、2例は視床部から尾状核部、1例は colliculus superior 部の動静脈奇形であった。視床の pulvinar の部の1例は、術後動静脈奇形は完全に消失したが、残り2例は電極刺入部のみ消失し

Table 1

		current			electrode	No. of electrodes
		No. of cases	mA	(min.) total times		
AVM	AVM	4	5-10	30-60	beryllium copper	25-80
	deep seated	3	2-5	20-40	beryllium copper	13-25
CCF	traumatic	1	1	15	copper	2
	spontaneous	4	0.2-2	15-30	copper or beryllium copper	5-13
Aneurysm		1	5	45	beryllium copper	5
Scalp cirroid AVM		5	2-5	15-30	phosphor bronze or beryl- lium copper	5-15

た。

2. 内頸動脈—海綿静脈洞瘻

外傷性の1例は、この手術施行前に開頭術、頸動脈結紮術を受け、眼球突出の消失しなかった例であったが、電気的血栓法により瘻も消失し、眼球突出もまったく消失した。特発性の4例は全例術後瘻も消失し、眼球突出も軽快した。

3. 脳動脈瘤

海綿静脈洞内の動脈瘤に施行したが、動脈瘤内の部分的血栓形成を認めた。

4. 頭皮 cirroid 血管腫

5例において行った。このうち4例は完全に消失した。鼻根部の1例は血管撮影上ごく一部残存したが、外観上はほとんどわからない程度にまで軽快した。

これら個々の症例の詳細は本誌に報告した³⁸⁾³⁹⁾ので参照されたい。

Ⅵ 考 察

脳血管障害の中で直達手術困難な巨大脳動静脈奇形、深部脳動静脈奇形、海綿動静脈洞瘻、巨大脳動脈瘤などは、最近の診断、麻酔、手術手技の進歩により、手術適応の範囲も拡がり、その治療成績も著しく向上した。なかでも手術顕微鏡を用いての microsurgical technique の応用と CT scan の応用は、これらの進歩を一層速めた。しかし、これらの進歩にもかかわらず、治療困難なものは依然として残されている。

脳動静脈奇形においても、巨大動静脈奇形、深部動静脈奇形に対して、新しい種々の試みが数多く報告されている⁷⁾¹⁵⁾¹⁶⁾²⁰⁾³¹⁾³⁶⁾。

一方、脳動静脈奇形を手術しなかった場合の予後が脳動脈瘤に比し意外に悪くないことから、手術した場合の後遺症のおこる可能性の面からも手術適応を厳密に考える必要性が強調されていることも事実である⁸⁾³³⁾³⁴⁾。

以上のことを念頭におきながら、このような巨大脳動静脈奇形および深部脳動静脈奇形の症例に対し10数年前から試みていたのが電気的凝固血栓法の応用である。上述のごとく種々の基礎的研究から臨床的応用を試み、その成績はほぼ満足すべきであるが、現在のところ症例数もあまり多くなく、この方法の成績の判定は今後さらに慎重に行いたいと考えている。

これまでの脳動静脈奇形に対する応用の経験を総合的にみると、

1. 比較的脳表に近い巨大な動静脈奇形は、本法を用いれば血栓作成後剔出はきわめて容易で、動静脈奇形全体が黒く、固く、ころっとした感じで剔出でき、出血もほとんどない。

2. 脳深部の動静脈奇形は、剔出は元来不可能であり、電極刺入通電のみで動静脈奇形の消失を期待して本法を用いている。Nidus のあまり大きなものでない限り、本法はきわめて有効な方法である。ただ nidus の大きな場合にはこの方法のみでは完全に消失せしめえないので、次に述べるような問題が残る。

問題点をあげると、

1. 我々は術前の血管撮影の所見から電極数を推定し、時には何十本もの電極を刺入し、通電し、その後術中に血管撮影を行ってその成果を確かめる方法をとっている。この場合、もし動静脈奇形の nidus の残存を認めた場合、さらに電極を刺入しなければならないことになる。このとき小出血をきたす場合があるのである。つまり部分的に血栓が形成されている時、さらに電極を刺入しようとする場合に問題がある。この点は今後改良する必要を感じている。

2. 動静脈奇形の nidus に電極を刺入して通電した場合、その周辺の残存する神経組織に及ぼす影響の問題である。これまでの例の剔出標本からみると、電極の周辺 0.2~0.5 mm 程度の変性しか見られていない。また変

性の程度は陽極電流量と比例している。一般に、脳動静脈奇形の nidus の周りの脳組織は正常には機能しておらず、したがって、脳動静脈奇形に含まれる脳組織は除去しても新たな脱落症状を出現する可能性は少ないので、我々のこれまでの経験ではなんら問題はない。ただ、今後大電流を長時間流さざるをえないような例に遭遇した場合、考慮しておく必要があると思われる。

内頸動脈—海綿静脈洞瘻特に特発性の場合には、我々の経験例の結果からみて、本法はきわめて有効な手段と考えられる。内頸動脈—海綿静脈洞瘻に対する治療法については、これまで種々の方法が報告されている¹⁰⁾¹⁷⁾²⁷⁾²⁸⁾が、本法がきわめてすぐれていると思われる点は内頸動脈を patent に保ちうる点である。したがって、Willis 動脈輪部の cross circulation が 不十分な症例の場合には一層有利と考えられる。

ただ、我々の行っている内頸動脈—海綿静脈洞瘻に対する電氣的凝固血栓法は、開頭術を行い、術中血管撮影には手術室に固定した X 線管球装置を用いている。Hosobuchi らは、開頭術を行わず、superior ophthalmic vein より電極を挿入し、海綿静脈洞部の目的まで達せしめ、本法を行う方法を報告しているが、この方法は開頭術を要せず、一般の X 線室でも行える利点があるので、症例によっては試みしてみる価値がある方法と考えられる。

脳動脈瘤に対しては、我々は 1 例しか経験していないが、Mullan らの報告を参考にして考えてみると、電極の刺入法および挿入法が一番の問題点と思われる。流速の速い動脈内で大きな血栓を作ろうとすると、どうしても多くの電流と多数の電極が必要となる。この点、Willis 動脈輪の近傍で大電流を流すのは不利であり、動脈瘤嚢内に多くの電極を刺入するのも危険である。Mullan は 1 回の刺入で、多数のベリリウム銅を挿入する方法を考案しているが、この場合でも、たとえ巨大脳動脈瘤内に血栓が完全に作成しえても、space taking mass として残存することになる。

以上、脳血管障害に対する電氣的凝固血栓法について我々の経験と問題点について述べた。今後の基礎的研究では、血管攣縮の発生の問題、さらに血栓予防法の問題がある。また臨床的応用に際しても、もっと一般化する方法の確立が望まれる。これにより、さらに応用面も一層拡大されるであろう。

文 献

- 1) ABRAMON, H. A.: A possible relationship between the current of injury and the white blood

- cell in inflammation. *Am J Med Sci* 167: 702-710, 1924
- 2) ARAKI, C., HANDA, H., YOSHIDA, K., MORI, K. & HASHI, K.: Electrically induced thrombosis for the treatment of intracranial aneurysms and angiomas. *Excerpta Medica International Congress Series No. 110*: 651-654, 1965
- 3) BALKEMORE, A. H.: Progressive constrictive occlusion of the abdominal aorta with wiring and electrothermic coagulation. One stage operation for arteriosclerotic aneurysms of the abdominal aorta. *Ann Surg* 133: 447-462, 1951
- 4) BALKEMORE, A. H. & KING, B. G.: Electrothermic coagulation of aortic aneurysms. *JAMA* 111: 1821-1827, 1938
- 5) CINISELLI, L.: Sulla electro-punctura nella cura degli aneurismi. *Gazz Med Ital Lomb Milano* 6: 9-14, 1847
- 6) COPENHAGEN, A. R., THUREL, C. L. & THIEHAUT, J. B.: Treatment of cavernous fistulas. *Advance and Technical Standards in Neurosurgery* 2: 87-112, 1975
- 7) DJINDJIAN, R.: Extra-cerebral embolization. pp 230-243, In Pia, H. W., Gleave, J. R. W. & Zierski, J. (eds): *Cerebral Angiomas*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975
- 8) FORSTER, D. M. C., STEINER, L. & HAKANSON, S.: Arteriovenous malformation of the brain. A long term clinical study. *J Neurosurg* 37: 562-570, 1972
- 9) 古瀬清次: 動脈血栓形成時における血管壁の酵素組織化学的検討. *日外宝* 37: 188-203, 1968
- 10) HAMBY, W. B.: *Carotid-cavernous fistula*. Charles C Thomas, Springfield, Illinois, 1966
- 11) HANDA, H., YONEDA, S., MATSUDA, M., SHIMIZU, Y. & GOTO, H.: The surgical treatment of deep-seated or large arteriovenous malformations of the brain by means of electrically-induced thrombosis. *Proceedings of the Sixth International Congress of Neurological Surgery, in Brazil*, pp 143-148, 1977
- 12) HANDA, H. & MORI, K.: Large varix of the superior ophthalmic vein: Demonstration by angular phlebography and removal by electrically induced thrombosis. *Case report. J Neurosurgery* 29: 202-205, 1968
- 13) 端 和夫: 動脈血栓における動脈壁の代謝, 特に ATP-ase の役割についての実験的研究. *日外宝* 36: 242-259, 1967
- 14) HOSOBUCHI, Y.: Electrothrombosis of carotid cavernous fistula. *J Neurosurg* 42: 76-85, 1975
- 15) JOHNSON, R. T.: Radiotherapy of cerebral angiomas. With a note on some problems in diagnosis. pp 256-259, In Pia, H. W., Gleave, J. H. W. & Zierski, J. (eds): *Cerebral Angiomas*.

- Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975
- 16) KANADEL, E. I. & PERESODOV, V. V.: Stereotaxic clipping of aneurysms and arteriovenous malformation. *J Neurosurg* 46: 12-23, 1977
 - 17) KRAYENBÜHL, H.: Treatment of carotid cavernous fistula consisting of one-stage operation by muscle embolization of the fistulous carotid segment. pp 151-167, In Donaphy, R. M. P. & Yasargil, M. G. (eds): *Microvascular Surgery*, George Thime Verlag, Stuttgart, 1967
 - 18) LINTON, R. R.: Intracapsular wiring of abdominal arteriosclerotic aortic aneurysms by "pack" method. *Angiology* 2: 485-498, 1951
 - 19) LINTON, R. R. & HARDY, I. R., JR.: Treatment of thoracic aortic aneurysms by the "pack" method of intracapsular wiring. *N Engl J Med* 246: 847-855, 1952
 - 20) LUSSENHOP, A.: Artificial embolization for cerebral arteriovenous malformation. pp 320-362, In Krayenbühl, H., Maspes, P. E. & Sweet, W. H. (eds): *Progress in Neurological Surgery*. Volume 3, Karger, Basel, New York, 1963
 - 21) MOORE, C. H. & MURCHISON, C.: On a new method of procuring the consolidation of fibrin in certain incurable aneurisms with the report of a case in which an aneurism of the ascending aorta was treated by the insertion of wire. *Proc R Med Chir Soc (London)* 4: 355-377, 1864
 - 22) MORI, K.: Experimental studies on electrically induced arterial thrombosis in dogs, with special reference to the treatment of intracranial aneurysms and arteriovenous malformations. *Arch Jap Chir* 36: 35-62, 1967
 - 23) MULLAN, S., BECKMANN, F., VAILATIC, G., KARASICK, G. & DOBBEN, G.: An experimental approach to the problem of cerebral aneurysm. *J Neurosurg* 21: 838-845, 1964
 - 24) MULLAN, S., RAIMONDI, A. J., DOBBEN, G., VAILATI, G. & HEKMATPANAH, J.: Electrically induced thrombosis in intracranial aneurysms. *J Neurosurg* 22: 539-547, 1965
 - 25) MULLAN, S., REYES, C., DAWLEY, J. & DOBBEN, G.: Stereotactic copper electrical thrombosis on intracranial aneurysms. pp 193-211, In Krayenbühl, H., Maspes, P. E. & Sweet, W. H. (eds): *Progress in Neurological Surgery*, Volume 3, Karger, Basel, New York, 1963
 - 26) MULLAN, S.: Experience with surgical thrombosis of intracranial berry aneurysms and carotid cavernous fistula. *J Neurosurg* 41: 657-670, 1974
 - 27) OHTA, T., NISHIMURA, S., KIKUCHI, H. & TOYAMA, M.: Closure of carotid-cavernous fistula with polycurethane foam embolus. Technical note. *J Neurosurg* 38: 107-112, 1973
 - 28) PARKINSON, D.: Transcavernous repair of carotid cavernous fistula case report. *J Neurosurg* 26: 420-424, 1967
 - 29) PETERSON, E. W., VALBERG, J. & EHITTINGHAM, D. S.: Electrocaly induced thrombosis of the cavernous sinus in the treatment of carotid cavernous fistula. *Excerpta Medica International Congress Series No. 193*: 105, 1969
 - 30) PHILIPS, B.: A series of experiments performed for the purpose of showing that arteries may be obliterated without ligature, compression, or knife. Pamphlet Published in London, Longman & Co., 1832, p 66
 - 31) SANO, K., AIBA, T. & JIMBO, M.: Surgical treatment of cerebral aneurysm and arteriovenous malformation. *Neurol Med Chir* 7: 128-131, 1965
 - 32) SAWYER, P. N. & PARE, L. W.: Bio-electric phenomena as an etiologic factor in intravascular thrombosis. *Am J Physiol* 175: 103-107, 1953
 - 33) SVIEN, H. J. & McRAE, J. A.: Arteriovenous naomalies of the brain: Fate of patients not having definite surgery. *J Neurosurg* 23: 23-28, 1965
 - 34) TROUPP, H., MARTTILA, I. & HALLONEN, V.: Arteriovenous malformations of the brain. Prognosis without operation. *Acta Neurochir* 22: 125-128 1970
 - 35) VELPEAU, A.: Memoire sur la piqure ou l'acupuncture des arteres dans le traitement des anevrismes. *Gaz Med Paris* 2: 1-4, 1831
 - 36) WALDER, H. A. D.: Freezing arteriovenous anomalies in the brain. pp 183-193, In Pia, H. W., Gleave, J. H. W. & Zierski, J. (eds): *Cerebral Angiomas*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975
 - 37) WERNER, S. C., BALKEMORE, A. D. & KING, B. G.: Aneurysm of the internal carotid artery within the skull. *JAMA* 116: 578-582, 1941
 - 38) YONEDA, S., MATSUDA, M., SHIMIZU, Y., GOTO, H., HANDA, H. & OGAWA, Y.: Electrothrombosis of arteriovenous malformation. *Neurol Med Chir* 17 (Part I): 19-28 1977
 - 39) YONEDA, S., MATSUDA, M., GOTO, H. & HANDA, H.: Treatment of spontaneous carotid-cavernous fistula. *Neurol Med Chir* (in press)
 - 40) YOSHIDA, K.: Experimental studies on the production and treatment of the carotid thrombosis in dogs—Especially on the application of fibrinolytic treatment. *Arch Jap Chir* 33: 502-525, 1964