無縫合血管吻合法による血管移植術

Microballoon catheter を用いて

畑中 光昭・岩瀬 隆

Nonsuture Small Vessel Replacement Using Microballoon Catheter

Mitsuaki HATANAKA and Takashi IWABUCHI

Department of Neurosurgery, Hirosaki University, Aomori

Abstract

A nonsuture anastomotic method for small vascular replacement using a microballoon catheter and plastic adhesive was devised. Various-sized balloon catheters (0.4–2.0 mm in external diameters) were made of latex balloons and polyethylene tube. Both ends of a balloon were fixed to the polyethylene tube so that the size and shape could be controlled more easily than in free-end balloon catheters. Alpha-ethylcyanoacrylate monomer, a plastic adhesive, was used instead of suture. Eleven common carotid and femoral arteries of dogs were used for end-to-end arterial anastomosis by this method. Nine femoral or saphenous veins were used as autogenous vein grafts and eleven expanded polytetrafluoroethylene (EPTFE) grafts as artificial grafts. In follow up studies from 2 days to 6 months, the patency rate of end-to-end arterial anastomosis, end-to-end vein grafting, and end-to-end artificial grafting were 90.9%, 88.9%, and 66.7%, respectively. It took about 5 minutes for end-to-end arterial anastomosis and about 10 to 15 minutes for vascular replacement. One or two stay sutures were used effectively in autogenous vein grafting. The advantages of this method were good and free control of the vascular caliber and shape during vascular anastomosis and a diminishment of endothelial damage. Clinical application of this method of vascular replacement is expected in the near future.

Key words: microsurgery, vascular anastomosis, vascular replacement, balloon catheter, expanded polytetrafluoroethylene

I はじめに

脳神経外科領域における血管吻合術は、浅側頭—中大脳動脈吻合術を中心に発展してきたが、最近では自家静脈片^{3,8,11,15)}や、人工血管による血管移植術¹⁴⁾が試みられるようになり、手術操作の簡便化、操作時間の短縮や、深部における狭い術野での操作が^{6,13,17,21)}いっそう要求されるようになってきた。その対策の一環として、種々の無縫合血管吻合法^{4,6,7,10,12,19–21)}が研究され、我々も可溶性支柱と生体接着剤を用いた無縫合血管吻合法を開拓し^{6,17)}、外径1 mm 前後の血管にも応用でき^{5,21)}、可溶性支柱を用いて

の実験的小静脈片移植術を試みてきた。しかし、可溶性支柱の使用には、軽度ながら内腔面の擦傷、操作中の溶解縮小による吻合口径の狭小などの短所があり、口径差を有する血管同志の吻合、特に伸縮の大きな静脈片などでは若干を残している。我々はこれら血管移植術を円滑にする目的で、吻合部の内腔を自由、かつ円滑に調節できる micro-balloon と接着剤を用いた無縫合吻合法を用い、自家静脈片および EPTFE (Goretex) の実験的血管移植術を行い、良好な結果を得た。今回は端々吻合法を中心に報告する。

弘前大学脳神経外科

Address reprint requests to: M. Hatanaka M. D., Department of Neurological Surgery, Towada City Hospital, 14-8 Nishi 12 ban-cho, Towada, Aomori 034.

受稿 1982年4月27日 受理 1982年9月2日

Fig. 1 A: Various sized latex tubes for the balloon catheter. B: Inflated Fogarty catheter (right) and balloon catheter made of latex and polyethylene tube (left).

II 方 法

雑種成犬(5~8 kg)21頭を用い、①総頸動脈または大腿動脈を用いた動脈端々吻合術、②大腿静脈または大伏在静脈を自家静脈片とした総頸動脈への静脈移植術、さらに、③内径3 mmのEPTFE graftを用いた総頸動脈への人工血管移植術を行った。吻合部の血管内腔保持のためには、2~5 Fの動脈塞栓除去用Fogarty catheterおよびpolyethylene, またはteflon tubeの先端にlatex製microballoonを取り付け、両端を固定したballoon catheterを作製して用いた(Fig. 1)。接着剤としてはalpha-ethyl-cyanoacrylate monomerを用い、操作はすべて手術用顕微鏡を用いて行った。

1. 動脈端々吻合術

ペントバルビタールの静脈麻酔下に頸部正中切開を加え、総頸動脈を遊離露出した。血流を一時遮断し、動脈切断、外膜剝離切除後、内腔洗滌を行った。切断端より約10 mm中樞側に0.5 mmの小孔を開け、balloon catheterを吻合部まで挿入した。次に血管の吻合部両端を寄せ合わせ、balloon内に生食水を注入して、血流流通時の口径を超えるまでballoonを膨脹させ、両血管端を密着接合させた。内翻や間隙のないことを確認の上、直接、可及的に薄く接着剤塗布を行った。1~2分で接着完了後、balloon catheter

を縮小抜去し、ヘパリン加生食水で内腔洗滌、液漏出の有無など吻合部の状態を確認の上、小孔を接着剤または1点縫合により閉鎖して血流を再開させた。大腿動脈吻合時は、小孔のかわりに小側枝よりcatheter挿入を行った。血流遮断時間は平均5分であった(Fig. 2)。

2. 自家静脈片移植術

大腿静脈および大伏在静脈(外径3~4 mm)を、小側枝を含めて25~40 mmの長さにわたり採取し、自家静脈片とした。次に総頸動脈を露出し、血流遮断後、20~30 mmの動脈片を切除してそこに静脈片を移植した。Balloon catheterは静脈片の1小枝から挿入し、最初遠位側を動脈端々吻合と同じ方法で吻合した。吻合完了後balloonを近位側に向けて挿入し、近位側の静脈片と動脈の端々吻合を行った。動脈と静脈の口径差が小さい例では、balloonの膨脹の調節で適合させることができ、差の大きい例は動脈端の斜位切断、補助縦切開、静脈端のfoldingで処理できた。吻合完了後balloon catheterを抜去し、catheter挿入口の静脈枝から生食水を注入洗滌した。吻合部の液漏出の有無を確認の上、静脈の小枝を結紮閉鎖し血流を再開した。血流遮断時間は10~14分で、口径比は平均5/6~3/4であった。なお、静脈片は薄く伸縮性が強いので、吻合をより円滑に行うため、1~2点の支持縫合が効果的であったが、約1分間操作時間の延長がみられた(Fig. 3)。

Fig. 2 Diagram of end-to-end arterial anastomosis using our micro-balloon catheter.

Fig. 3 Diagram of end-to-end anastomosis for vascular replacement with an autogenous vein graft.

3. 人工血管移植術

総頸動脈を露出し、血流遮断後、血管を20~40 mm の長さにわたり切除し、この部にあらかじめヘパリン加生食水に浸しておいた内径3 mm の EPTFE を移植した。近位側動脈に小孔を開け、balloon catheter を挿入し、遠位側、近位側の順に動脈端々吻合と同じ方法で吻合を行った。吻合完了後、小孔を接着剤で、または1点縫合を加えて閉鎖して血流を再開させた。血流遮断時間は8~13分であった。EPTFE は静脈片に比して形態保持が良く扱いやすいため、2点支持縫合などの補助縫合を要しなかった。

吻合終了後1~3時間にわたって開存状態を観察したのち閉鎖した。術後一定期間観察し、血管撮影を行ったのち屠殺して、吻合部を肉眼的および組織学的に観察した。

III 結 果

開存成績：動脈端々吻合例では、1日から6ヵ月の観察で、計11動脈中10例が開存し、開存率は90.9%であった。閉塞例は吻合部の接合不良で出血が多く、止血できたが閉塞が1週間目に確認された。自家静脈片移植例では、1週間から3ヵ月の観察で、9血管中8例が開存し、開存率は88.9%であった。EPTFE graft の移植術は1週間から3ヵ月の観察で、12血管中8例66.7%の開存率であった (Table 1)。

血管撮影所見：吻合血管の中核側穿刺により血管撮影を行った。動脈端々吻合例では狭窄はほとんど認められなかったが、1点縫合を加えた balloon 刺入小孔に軽度の狭窄が認められた。自家静脈片移植例では、静脈片の拡張は、大伏在静脈移植の1例を除いて全例に認められたが、移植時の口径差と同程度で、経時的変化は認められなかった。吻合部の狭窄はほとんど認められなかった (Fig. 4A)。EPTFE graft による人工血管移植例では、開存例中1例に壁の不整、1例に吻合部の狭窄が認められた。本法においても縫合を加えた catheter 刺入小孔部の狭窄が認められた (Fig. 5A)。全例をとおして、吻合部の動脈瘤形成はなかった。

肉眼的所見：吻合血管およびその周囲の感染はなく、2

Table 1 Results of the non-suture end-to-end anastomoses

Method	Follow up	Patency rate
arterial anastomosis (2.0-3.5 mm)	1 day-6 mon.	90.9% (10/11)
vein graft (3.5-4.0 mm)	1 week-3 mon.	88.9% (8/9)
EPTFE graft (3.0 mm)	1 week-3 mon.	66.7% (8/12)

Fig. 4 A: Angiogram taken 3 months after end-to-end anastomosis with an autogenous vein graft. Arrows show anastomosed portions without stenosis. B: The anastomosed portion of artery (lower) and vein graft (upper) in operative procedure.

週間を経過した例では、吻合部は接着剤を含めて結合組織で被われ、血管内腔面は吻合端に 0 ~ 0.3 mm の部分的間隙をみたが、接着剤の腔内迷入はなく、吻合部の間隙は平滑な内膜で被われていた。吻合部または他部位の動脈瘤形成は認められなかった (Fig. 4B)。

組織学的所見：HE 染色または SEM による組織学的検討では、1 ヶ月以上経過した (人工血管では 2 ヶ月経過した) 例では、吻合部は仮性内膜の形成および軽度の肥厚が認められるが、最内層は一層の内皮細胞で被われており、血栓の形成は認められなかった。外膜側は、接着剤を含めて膠原線維で被われて強化されていたが、一部で周囲組織に反応性細胞浸潤がみられた。しかし 3 ヶ月目の組織像には浸潤細胞の減少が認められた (Fig. 6, 7)。

IV 考 察

最近の脳神経外科領域での血行再建術はその進歩がめざましく、自家静脈片移植術^{3, 8, 15)}や代用血管¹⁴⁾の応用が報告されるまでに至り、いっそう操作の簡便化、時間の短縮が要求されている。その対策の一環として、無縫合法によ

Fig. 5 A: Angiogram taken 3 months after replacement with an expanded polytetrafluoroethylene graft in canine carotid artery. Arrows show the portions of end-to-end anastomosis. B: Macroscopic finding of an expanded polytetrafluoroethylene graft. Arrows show the anastomosed portions and a small incision for insertion of the catheter.

る血管移植術の応用が指摘されている⁶⁾。無縫合血管吻合法は、諸家の研究^{4, 6, 7, 10, 16, 17, 20, 21)}によりその有効性は確認されているが、本法による血管吻合法では、吻合部内腔をいかに良好に保持するかが 1 つの要点と考えられる。これまでも polyethylene tube⁴⁾, ring^{7, 20)}, 種々材料による可溶性支柱^{6, 12, 13, 17, 21)}などの利用が研究され、1 mm 前後の細小血管に対しても良好な成績^{6, 21)}が報告されている。しかるに、自家静脈片のように伸縮性が強く、口径差や厚さ、形態の異なる血管の吻合術には、動脈端々吻合術の場合より、吻合部での内腔保持に細心の注意を払い、吻合部の狭窄、変形や内膜損傷を防ぐ必要がある。この目的のため、膨脹度を調節することにより、自由に血管腔の口径または形態を調節できる microballoon catheter を用いるに至った。

1. Balloon catheter について

脳神経外科領域における balloon catheter の発展はめざ

A

B

Fig. 6 Histological findings of the anastomosed portions. A: Autogenous vein grafting anastomosis. Vein (left) and artery (right). HE stain, $\times 40$. B: Artificial grafting anastomosis. Expanded polytetrafluoroethylene graft (right) and artery (left). Anastomosed portion is smoothly covered with endothelium. HE stain, $\times 100$.

Fig. 7 Scanning electronmicroscopic findings of artificial graft anastomosis. Expanded polytetrafluoroethylene graft is shown in the right. Anastomotic portion is smoothly covered with intima and endothelium. Bar=0.5 mm.

ましく、embolization¹⁷⁾や superselective angiography など広く応用されている^{2,18)}が、血管吻合への利用は非常にまれで^{10,20)}、動脈端々吻合では laser による血管吻合への応用の報告¹⁰⁾があるが、その詳細は記されていない。我々は latex 製の薄肉 tube (外径0.4~2.0 mm)を作製し、poly-

ethylene tube (外径0.3~2.0 mm)を挿入して軸とした microballoon catheter を作製した。Latex balloon の両端は、polyethylene tube に固定した Fogarty catheter type の balloon catheter と、一端を free とした balloon catheter を作製して比較検討した。その結果、Fogarty catheter type の balloon は、長軸に垂直方向への膨脹がおもなため、長軸に垂直および平行方向に膨脹する一端 free の balloon に比し、紡錘形の一定した形態を得ることができ、吻合口径の調節が容易で、血管の sliding, slip out や内膜損傷が少なく吻合部を固定でき、血管吻合に優れていた。口径差のない場合は、吻合部が balloon の中央にくるように位置づけるが、口径差のある例では、細い血管側に balloon の中央が寄る位置で膨脹させると、吻合血管の slip out が防止できる。血管の内翻が認められないのも本法の長所である。

2. 補助縫合について

無縫合吻合法の技術をいっそう簡便化することができるかをみるため、①補助縫合をまったく行わない例、②吻合両端に各々2針縫合を加えた例、および③一端のみに補助縫合を加えた例について、それぞれの開存率、操作難易度、および操作時間を検討した。その結果、自家静脈移植例では開存率に差は認められず、操作時間は1~2分延長したが、技術的には容易であり、補助縫合は有効であった。EPTFE では開存率、および技術的にも差はなく、操作時間が延長する補助縫合は必要としなかった。

3. 自家静脈片移植術について

Catheterは静脈片の小側枝断端から挿入したため、catheter 挿入用補助切開孔を要しなかった。また、口径差の大きい場合は、余剰部分を折り返す folding 法、口径の小さい血管を斜切断する方法、補助縦切開³⁾を加える方法が行われたが、いずれも balloon catheter が利用できた。

4. 人工血管移植術について

人工血管移植術における EPTFE の良好な開存性は広く認められ、多方面で利用されているが、無縫合吻合法による EPTFE の移植術はその報告をみない。EPTFE の接着剤による接着性は良好で、組織反応は縫合による吻合法と変わらず、十分に応用できるものと思われる。技術的には血管形態の保持、およびある程度の硬度が得られるため、自家静脈片に比して操作が容易で、補助縫合も必要としなかった。動脈端々吻合や自家静脈片移植例の場合、急性期の開存率は長期観察によっても開存しているのに比べ、EPTFE では、急性期開存例でも1週間から20日間で3例閉塞しており、術後1週間から20日間がもっとも狭窄をきたしやすく⁹⁾、したがって、抗血栓剤の使用の必要性が示唆される。

V 結 語

口径差や血管性状の違いなどの問題を有する静脈片や人工血管の移植に対して、血管内腔保持が自由に調節できるよう balloon catheter を用い、接着剤による無縫合血管端々吻合法の応用を、動物実験にて試みた。動脈端々吻合術では90.8%、静脈片移植術では88.9%、および人工血管移植術では66.7%の開存率を得た。血管撮影、肉眼的・組織学的検討を加えてその特徴を報告したが、人工血管の無縫合吻合法の報告はなく、新しい試みである。

文 献

- 1) Drun G, Lacour P, Caron JP: Balloon arterial catheter techniques in the treatment of arterial intracranial disease, in Kraysenbühl H (ed): *Advance and Technical Standard in Neurosurgery*, vol 4. Wien, Springer-Verlag, 1977, pp 121-145
- 2) Dotter CT, Rosch J, Judkin MP: Transluminal dilatation of atherosclerotic stenosis. *Surg Gynecol Obstet* 127: 794-798, 1968
- 3) Favaloro RG: Saphenous vein graft in the surgical treatment of coronary artery disease. Operative technique. *J Thorac Cardiovasc Surg* 58: 178-185, 1969
- 4) Hafner CD, Fogarty TJ, Cranley JJ: Nonsuture anastomosis of small arteries using a tissue adhesive. *Surg Gynecol Obstet* 116: 417-421, 1963
- 5) Hatanaka M, Suzuki J, Onuma T: A soluble internal splint for vessels about 1 mm in external diameter in experimental vascular anastomosis. *Abstracts of Short Papers section 20, the World Congress of Angiology*. Tokyo, 1976, 216pp
- 6) 畑中光昭: 無縫合細小血管吻合法—外径1 mm前後の血管吻合法について—. 日外会誌 79: 1324-1334, 1978
- 7) Hall RJ, Colonel L, Khouri EM, Gregg DE: Coronary-internal mammary anastomosis in dogs. *Surgery* 50: 560-567, 1961
- 8) Iwabuchi T, Kudo T, Hatanaka M, Oda N, Maeda S: Vein graft bypass in treatment of giant aneurysm. *Surg Neurol* 12: 463-466, 1979
- 9) 石丸 新, 平山啓三, 友成正紀, 藤原靖之, 古川欽一, 高橋雅俊, 蜂谷哲也, 佐々 弘: EPTFE 人工血管を用いた小口径静脈移植における脱線維素酵素の投与とその効果—Batroxobin の皮下投与法による試み—. 脈管学19: 71-76, 1979
- 10) Jain KK: Sutureless microvascular anastomosis using a Neodymium-YAG laser. *J Microsurg* 1: 436-439, 1980
- 11) Loughheed WM, Marchall BM, Hunter M: Common carotid to intracranial internal carotid bypass venous graft; Technical note. *J Neurosurg* 34: 114-118, 1971
- 12) 大西健二: 無縫合細小血管吻合法の新しい手技に関する研究. 日外会誌 76: 592-601, 1975
- 13) 小沼武英: 無縫合細小血管吻合法の開拓—溶解性支持管と接着剤を用いて—. 日外会誌 77: 777-792, 1976
- 14) Story JL, Brown WE, Eidelberg E, Arem KV, Stewart JR: Cerebral revascularization; Proximal carotid to distal middle cerebral artery bypass with a synthetic tube graft. *Neurosurgery* 3: 61-65, 1978
- 15) Spetzler RF, Rhodes RS, Roski RA, Likavec MJ: Subclavian to middle cerebral artery saphenous vein bypass graft. *J Neurosurg* 53: 465-469, 1980
- 16) Smith S: A soluble rod as an aid to vascular anastomosis: An experimental study. *Arch Surg* 41: 1004-1007, 1940
- 17) Suzuki J, Onuma T: A soluble splint for experimental vascular anastomosis. *J Neurosurg* 35: 355-356, 1971
- 18) 高雄哲郎, 加藤量平, 中井堯雄, 内木研一, 福田 徹, 矢野 孝, 永田昌久, 数井秀器, 小林正治, 寺沢利昭: Dotter's catheter の使用経験. 脈管学 19: 789-795, 1979
- 19) Weiss EW, Lam CR: Tantalum tube in the nonsuture method of blood vessel anastomosis. *Am J Surg* 80: 452-456, 1950
- 20) Weisberg D, Schwartz P, Goetz RH: Nonsuture end to side anastomoses of small blood vessel. *Surg Gynecol Obstet* 123: 341-346, 1966
- 21) Yamagata S, Handa H, Taki W, Yonekawa Y, Ikada Y, Iwata H: Experimental nonsuture microvascular anastomosis using a soluble PVA tube and plastic adhesive. *J Microsurg* 1: 208-215, 1980

[別刷請求先: 〒034 青森県十和田市西十二番町14-8, 十和田市立中央病院脳神経外科, 畑中光昭]