

# 総 説

## 整形外科におけるマイクロサージャリーの現況と今後の展望

奈良県立医科大学整形外科学教室

矢 島 弘 嗣

### MICROSUGERY IN THE FIELD OF ORTHOPAEDIC SURGERY

HIROSHI YAJIMA

Department of Orthopaedic Surgery, Nara Medical University

Received August 18, 2006

**Abstract** : マイクロサージャリーとは顕微鏡を用いて細い血管の吻合を行うことによって、外傷や疾病を治療する手術のことである。1965年にここ奈良医大において初めての切断指再接着術が成功して以来、整形外科領域においては必須の手術手技の一つとなった。その技術は切断指再接着から足指の移植術へと応用され、その後皮膚、骨、関節、筋肉、神経、腱などのいろいろな組織の移植へと広がっていった。そして最近では同種手の移植がマイクロサージャリーの手技を用いて行われ始めている。今後はロボット技術が導入され、さらに細い血管の吻合が可能となり、全く新しい手術方法が導入される可能性がある。

**Key words** : microsurgery, toe transfer, replantation, free flap, hand transplantation

#### 1. はじめに

マイクロサージャリーとは、手術用顕微鏡を用いて非常に細い血管を縫合することによって、外傷や疾病を治療する手術のことである。漢字で書くと「微小外科」、中国では「顕微外科」と呼ばれている。昭和40年に世界で初めての切断指再接着術が、ここ奈良医大において小松、玉井両先生によって成功して以来<sup>1)</sup>、整形外科におけるマイクロサージャリーは飛躍的な進歩を遂げた。私が奈良医大の学生であった頃(昭和48年～54年)、遠方からヘリコプターで切断指の患者さんが奈良医大に運ばれてきたことは今でも鮮明な記憶として残っている。そして、国内はもとより海外からも多くの整形外科医、形成外科医がマイクロサージャリーの研修のために奈良医大に訪れ、現在では多くの施設で切断指再接着術が行われるようになった。そしてこのマイクロサージャリーは整形外科および形成外科領域では一般的な手術手技の1つとなりつつある。当時、切断された指がもとどおりに生着するなど神業としか考えられなかったが、今では落ちた指

が手術で生着するのは当然のことに思っている一般の人も多いと推測される。しかしながら、ここに至るまでには幾多の実験ならびに基礎的研究、技術の改良、器具、縫合糸などの進歩、また多くの失敗があったからであろう。本稿においてはマイクロサージャリーの進歩と現況、さらに将来の展望について解説する。

#### 2. 切断指再接着術

先にも述べた如く切断指再接着術は、多くの施設で行われるようになった。そして再接着の成功率はほぼ90%程度になったといわれている<sup>2)</sup>。最近ではこの手術成績は技術的な因子よりもむしろ手術の適応に大きく左右されると思われる。例えば鋭利切断の場合はほぼ100%に近い成績が得られるが、挫滅切断の場合は、静脈移植や皮弁移植などの必要な症例も多く、なかなか満足できる成績は得られていない。一般的にはDIP関節の遠位5-10mm程度は問題なく再接着可能であるが、爪レベルの再接着も一部の施設で行われている<sup>3)</sup>。この部位での動脈

外径は約 0.5mm 程度で、11-0 ~ 12-0 の縫合糸が必要である。これらは肉眼では本当に見にくく、手術中によく見失うことがある。もしこれ以上細い血管を縫合しようとするならば、おそらくマジックハンドのような器具を使用するか、専用のロボットにまかせて行わなければならない。現在そのような研究は一部の施設で行われており、将来が楽しみである。

### 3. 足趾移植術

何らかの理由で再接着できなかった母指や母指以外の指の再建には、足趾が用いられるようになった。1969年に Cobbett<sup>4)</sup>により初めて第1足趾の母指への移植成功例が報告された。日本では1973年に玉井らによる45歳女性の母指切断に対する第1足趾移植が成功の第1例目である(図1)。第1足趾の形態は母指によく似ているが、

残念ながら母指の再建のために犠牲となった足の方は多大なる損失を余儀なくされる。また、第1足趾は母指に比べて少し大きいのが問題である。そこでオーストラリアの Morrison<sup>5)</sup>はまず腸骨移植を行ってその周囲を第1足趾の約3/4周の皮膚で再建する方法(wrap around flap 法)を報告し、現在では本法が母指再建の第1選択として行われている。この方法で再建された母指は、I P 関節は動かないものの、ほぼ健側と同様な形状の母指が再建できる。また、採取部位へは他の遊離皮弁を行い、できるだけ歩行に関する問題のないように心がけている<sup>6)</sup>。一方、第2足趾の移植術は以前から母指の再建手段として行われてきたが、母指に比べて小さすぎるため、最近では多数指切断例の機能的な指の再建手段か(図2)、指の中節骨以遠の切断例の整容的な再建目的で行われる。組を抜けるために、第2足趾を小指に移植

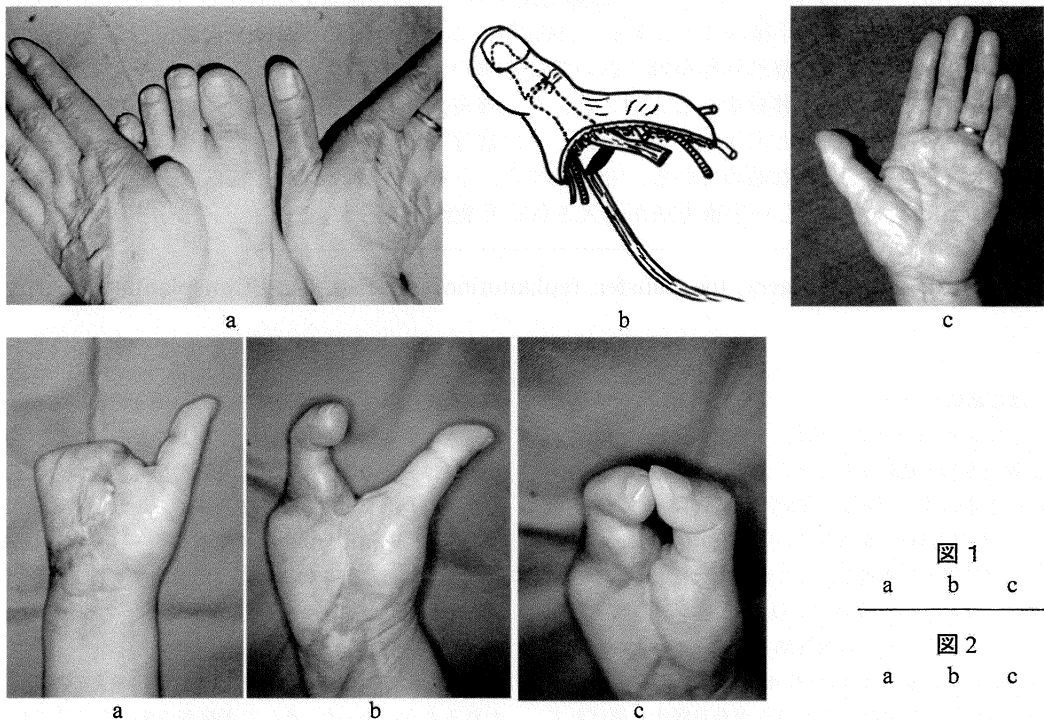


図1. 45歳 女性 左母指切断

- a) 術前の状態
- b) 採取した左母趾のシェーマ
- c) 術後20年

図2. 37歳 男性 右示指~小指切断

- a) 術前の状態。手掌部は腓骨皮弁で被覆している。
- b, c) 術後1年

する手術は、以前に新聞に取り上げられて多くの人の関心をかっした。日本マイクロサージャリー学会元理事長の吉村先生は、100例以上本手術を手がけているとのことで、別の意味での危険を顧みない先生の勇気には敬服する。

#### 4. 遊離皮弁

血管を付けた組織移植で最も広くかつ、頻繁に行われているのが皮弁の手術である。歴史的にも遊離足趾移植術の次に行われたのはこの遊離皮弁移植術である。皮弁に関する研究は形成外科領域が中心となって行われた。最初は鼠径皮弁が遊離皮弁のドナーとして多く用いられたが、栄養血管である浅腸骨回旋動脈が細すぎたために失敗する例が多くみられた。その後身体各所から種々の

皮弁が採取できることが確認され、より太い血管を血管柄とする皮弁が用いられるようになり、飛躍的に手術成績が向上した(図3)。また皮膚血管解剖の研究に基づく新しい皮弁の報告が山のようになされた。例えば静脈のみで生着する静脈皮弁、逆行性血流により生着する逆行性島状皮弁、あらかじめ血管束を移植しておいて好きな部位で皮弁を採取する prefabricated flap など、通常の血行動態でない皮弁も次々と開発された。最近のトピックスとして穿通皮弁が挙げられる。これらの皮弁は皮膚欠損の状態、部位によって、用いるドナーを決定する<sup>7)</sup>。現在、皮膚移植、皮弁の分野においては、組織培養による再生医学の研究が各所で行われている。これらの研究が進むと、よりドナー部位の欠落が少なく、かつ色調、性質が似通った皮膚で再建できるような方法が開発され

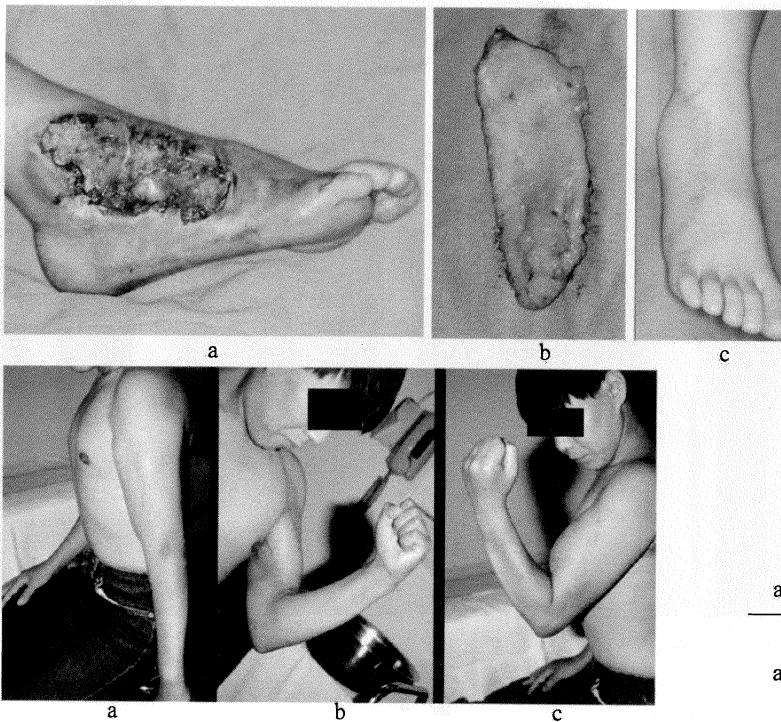


図3. 5歳 男児 右足 run-over injury

- a) 交通事故による右足外側の軟部組織欠損
- b) 肩甲皮弁を挙上
- c) 術後4年7カ月の状態

図5. 24歳 男性 左筋皮神経、橈骨神経損傷

- a, b, c) 広背筋移行術後2年6カ月。良好な肘屈曲機能が得られている。

るものと考えられ、遊離皮弁の手術は将来大きく変化するのではないであろうか。

### 5. 血管柄付き骨移植術

骨移植は整形外科領域で最も頻繁に行われている手術の1つである。通常は腸骨などから骨を採取して骨欠損部に充填するのであるが、移植された骨は一旦死滅して、その後周囲からの血管の侵入によって再度活性化されるため、周囲の状態によってその治療成績は大きく左右される。一方、骨の血行を保ったまま移植を行う血管柄付き骨移植術は、周囲の状態あるいは骨欠損の大きさにかかわらず、良好な成績が得られる利点を有する。したがって、本法は生きた骨の移植「living bone graft」と呼ばれている。この血管柄付き骨移植術は1975年 Taylor らの報告以来、多くの施設で行われるようになった。奈

良医大整形外科においてもすでに300例を越す症例に対して応用し、非常に良好な成績が得られている(図4)。整形外科領域で使用されるドナーの多くは腓骨であるが、他に腸骨、肩甲骨、大腿骨や橈骨の一部なども使用されている<sup>9)</sup>。本法は感染性偽関節や先天性偽関節症など、従来の骨移植では骨癒合に長時間を要する、あるいは骨癒合が得られないような難治性疾患に対して用いられ、治療成績の飛躍的な向上が得られた<sup>10)</sup>。最近では大腿骨頭壊死をはじめとする種々の骨壊死に対しても応用されている。また、化学療法の進歩と相まって四肢の悪性腫瘍の患肢温存術が試みられるようになった。腫瘍切除後には広範囲の骨ならびに軟部組織の欠損が生じるが、これらに対して皮弁付き骨移植術は一期的な再建が行えるし、術後安全に放射線治療も施行することができる。さらにこれらの手術方法は下顎の再建にも応用され、口腔

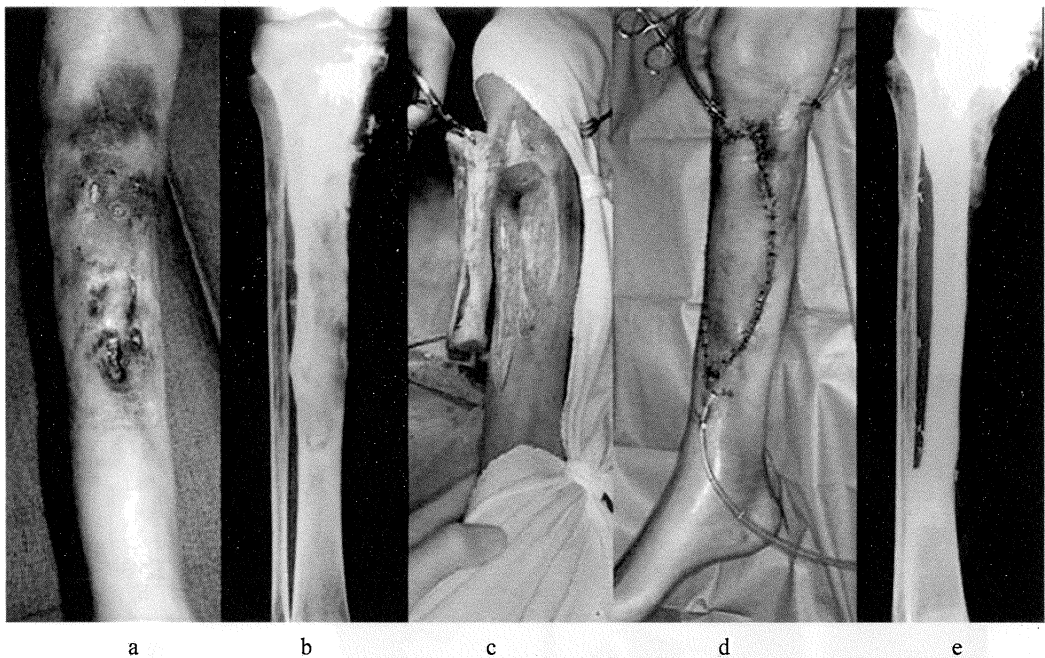


図 4

図4. 45歳 女性 右脛骨慢性骨髓炎(放射線性)

- a) 術前
- b) レントゲン前後像
- c) 潰瘍と共に腐骨部を切除
- d) 皮弁付き腓骨による再建
- e) 術後6年

外科との共同手術を行って非常に良好な手術成績が得られている。また、手の外科領域においてはキーンバック病や舟状骨の壊死を伴う難治性偽関節に対して、橈骨や中手骨からの有茎血管柄付き骨移植術が広く行われている。今後さらに本法の応用範囲は広まるものと考えられる。

現在血管柄付き骨移植術のドナーとして先にも述べたごとく腓骨、腸骨、肩甲骨などが用いられているが、血管束移植術の手技を応用して、新たなドナーを作成する"secondary living bone graft"や人工骨と血管柄付き骨膜移植術を組み合わせた"prefabricated vascularized bone graft"など、全く新しいタイプの血管柄付き骨移植術が今後臨床応用されると思われる<sup>11)</sup>。

## 6. 遊離筋肉移植術

麻痺に陥った、あるいは外傷による欠損や腫瘍切除により失われた筋肉の機能的再建は、昔の整形外科では夢のような話であった。この夢を現実に行うと遊離筋肉移植術が開発されたが、最初の報告は奈良医大における犬を用いた実験的研究であった<sup>12)</sup>。そして臨床的にはフォルクマン拘縮に対して用いられたが、成績は芳しいものではなく、そのこともあってなかなか広く行われるような手術とはならなかった。その後、末梢神経外科の進歩とあいまって、確実に運動神経に移植筋肉の神経を縫合することが可能となり、良好な回復が得られるようになった<sup>13)</sup>。最近では腕神経叢損傷例の四肢機能再建にこの遊離筋肉移植術が用いられ満足し得る成績が報告されている(図5)。Doiら<sup>14)</sup>は2つの筋肉を移植することによって、完全麻痺例の手指機能再建を試み、その術式を"ランボーⅡ"と命名している。これらは以前では全く不可能と考えられていたことであり、今後さらなる研究により、適応の拡大が望まれる分野である。また、悪性腫瘍切除後の機能再建手段としても本法が用いられている。一方、形成外科領域では、重傷の顔面神経麻痺の治療手段として、信頼できる手術方法の1つとなりつつある。

## 7. その他の組織移植

その他の組織として、臍、神経、関節などの移植が行われているが、従来から行われている血管が付いていない移植と比べてあまり差がみられないために、一般的な方法としては行われていない。とくに関節や神経は採取側の機能的欠落が大きいために制限されていることも本手術が一般化に至っていない理由の1つである。これらの血管付き複合組織移植を広めるにはドナーを他に求め

る同種移植が不可欠と考えられる。この同種移植に関しては多くの施設で実験的研究が行われてきた。実際に臨床で行われたのは、1988年に本邦のDoiら<sup>15)</sup>によって行われた血管柄付き同種骨移植、1996年に報告されたドイツのHofmannら<sup>16)</sup>による血管柄付き全膝関節同種移植があるが、まだ全面的に認められている手技ではない。この同種移植で最も衝撃的なのは1998年9月23日に施行されたフランスのリヨンでの手の同種移植である<sup>17)</sup>。移植は成功したもののその後の薬物療法やリハビリテーションに問題が生じたため、残念ながら2年5ヵ月後に移植手の再切断が行われた。ただしリヨンではその後両手の同時移植が行われ、他に米国のルイビル、中国、オーストリア、マレーシア、イタリアでも行われている。手を失った患者にとって、この手術は夢のような話である。事実、切断指再接着術が当時のトピックスとなったのと同じくらい、われわれ医師だけではなく一般の人たちも驚愕する出来事であった。最初の報告時にはいつまで生着しているかなどと議論していたが、驚くべき事に現在まで行われた症例の大部分は生着しているようである。そればかりではなく、ルイビルの症例では機能的にも順調に回復し、ボタンの付け外しや移植手によるボールの投球が可能となっている。本邦においても日本手の外科学会の委員会が中心となって着々とその準備が進められているが、やはり問題は免疫抑制剤であり、現段階では「手の同種移植」は命がけの手術と考えられ、手のために命を賭けられるかという問いに対して、明確に答えを出せる手の外科医はいないと思われる。ただし、あれほど成功率が低かった臓器移植が日常茶飯事に行われるようになったことから考えると、近い将来、整形外科領域においても同種移植術が一般的な再建法になる可能性は大きい。したがって、今後もマイクロサージャリーの未来は発展的であり、多くの整形外科医にこの技術を習得してもらいたいと考えている。

## 8. 今後の展望

最近マイクロサージャリーを駆使したスーパードクター、脳外科医や眼科医、あるいは形成外科医がよくテレビで紹介されている。また、内視鏡を用いた手術も種々の分野で行われ、非常に話題になっている。マイクロサージャリーの分野では、テレビモニターによる血管吻合、さらに血管内視鏡による血管内の手術が研究されている。とくに血管内視鏡の最近の発達は非常にめざましく、ほんとうに近い将来、昔の映画である「ミクロの決死圏」でみたような小さな潜水艦、実際の臨床では小さなロボットのようなものになると予測されるが、これらミニチュ

ア機器による血栓の除去などが現実に可能なものとなって来るであろう。このように、今後は精密な機械を駆使したマイクロサージャリーが一般化し、われわれが若いときに日夜マイクロの練習を行ったような修練を研鑽しなくても、まるでコンピューターゲームを楽しんでいるような感覚でマイクロサージャリーの手術が行われるのではないだろうか。ひょっとしたらわれわれのような職人は職を失うかもしれないという不安はあるものの、10年後の遙かに進歩したマイクロサージャリーが楽しみである。

## 文 献

- 1) **Komatsu, S. and Tamai, S.** : Successful replantation of completely cut off thumb. *Plast Reconstr. Surg.* **42**: 374-377, 1968.
- 2) **Fukui, A. and Tamai, S.** : Present status of replantation in Japan. *Microsurg.* **15**: 842-847, 1994.
- 3) **Yamano, Y.** : Replantation of fingertips. *J. Hand Surg.* **18\_B** : 157-162, 1993.
- 4) **Cobbett, J. R.** : Free digital transfer. Report of a case of transfer of a great toe to replace an amputated thumb. *J. Bone Joint Surg.* **51\_B** : 677-679, 1969.
- 5) **Morrison, W. A., O'Brien, B. M. and MacLeod, A. M.** : Thumb reconstruction with a free neurovascular wrap-around flap from the big toe. *J. Hand Surg.* **5-A**: 575-583, 1980.
- 6) **Yajima, H., Ishida, H. and Tamai S.** : Proximal lateral leg flap transfer utilizing major nutrient vessels to the soleus muscle. *Plast Reconstr. Surg.* **93** : 1442-1448, 1994.
- 7) **Yajima, H, Tamai, S., Fukui, A., Ono, H. and Inada, Y.** : Free and island flap transfer for soft tissue defects in the hand and forearm. *Microsurg.* **17** : 150-154, 1996.
- 8) **Taylor, G.I., Miller, G. D. H. and Ham, F. J.** : The free vascularized bone graft: a clinical extension of microvascular techniques. *Plast Reconstr. Surg.* **55** : 533-544, 1975.
- 9) **Yajima, H., Tamai, S., Ono, H. and Kizaki, K.** : Vascularized bone grafts to the upper extremities. *Plast Reconstr. Surg.* **101** : 727-735, 1998.
- 10) **Yajima, H., Tamai, S., Mizumoto, S. and Inada, Y.** : Vascularized fibular grafts in the treatment of osteomyelitis and infected nonunion. *Clin. Orthop.* **293** : 256-264, 1993.
- 11) **Yajima, H., Tamai, S., Ishida, H. and Kisanuki, O.** : Prefabricated vascularized periosteal grafts using fascial flap transfers. *J. Reconstr. Microsurg.* **11**: 201-205, 1995.
- 12) **Tamai, S., Komatsu, S., Sakamoto, H., Sano, S., Sasauchi, N., Hori, Y., Tatsumi, Y. and Okuda, H.** : Free muscle transplants in dogs, with microsurgical neurovascular anastomoses. *Plast Reconstr. Surg.* **46** : 219-225, 1970.
- 13) **Yajima, H., Kawanishi, K., Ohgushi, H. and Tamai, S.** : Experimental study on choline acetyltransferase activity measurement for brachial plexus injury. *Microsurg.* **16** : 679-683, 1995.
- 14) **Doi, K., Sakai, K., Kuwata, N., Ihara, K. and Kawai, S.** : Double free-muscle transfer to restore prehension following complete brachial plexus avulsion. *J. Hand Surg.* **20-A** : 408-414, 1995.
- 15) **Doi, K., Kawai, S. and Shigetomi, M.** : Congenital pseudoarthrosis of tibia treated with vascularized bone allograft. *Lancet* **347** : 970-971, 1996.
- 16) **Hofmann, G. O. and Kirschner, M. H.** : Clinical experience in allogeneic vascularized bone and joint allografting. *Microsurg.* **20** : 375-383, 2000.
- 17) **Dubernard, J. M., Owen, E., Herzberg, G., Lanzetta, M., Martin, X., Kapila, H., Dawahra, M. and Hakim, N. S.** : Human hand allograft: report on first 6 months. *Lancet* **353** : 1315-1320, 1999.