シンポジウム:

整形外科領域におけるマイクロサージェリーの応用

「(3) 遊離血管柄付骨移植の実験的研究と臨床応用のための基礎」

島根県立中央病院整形外科

土 井 一 輝

“Free Vascular Pedicle Bone Graft: experimental and fundamental studies for clinical applications.”

By

K. Doi

the Department of Orthopaedic Surgery, Shimane Prefectural
Central Hospital, Izumo

The author has attempted the free vascular pedicle bone graft of the long bone, the rib, to the femur, experimenting of 30 dogs, using microvascular anastomoses. Subsequently, the free vascular pedicle bone grafts have the advantages of early bone union and preserving the bone's viability, and they can be transplanted to a distant recipient site using microvascular anastomoses.

As a result of the success of this experimental investigation, the author has studied the vascular anatomy of the grafted bones, fibula, rib and ileum, dissecting the limbs of the cadavers and the author would like to recommend the clinical application of the free vascular pedicle bone graft.

I. 緒 言

Microsurgery の発達により、微小血管吻合術の応用による切断指再接着, Distant Free Flap, Muscle Autotransplantation, Toe to Finger Transfer 等が広く行なわれるようになってきた。

著者は、上記の応用以外にも、微小血管吻合術を利用して、遊離血管柄付骨移植の実験外科的研究を行っており、既に各学会等で報告してきたが、この実験的結果に加えて、屍体解剖所見等を基に、遊離血管柄付骨移植について紹介する。

II. Vascularized Bone Graft の歴史

移植骨の血行を温存する方法としては、筋肉柄付骨移植, Osteocutaneous Flap, 血管柄付骨移植等の Vascularized Bone Graft が行なわれてきた。筋肉柄付骨移植としては、Hellstadius (1942) が、血行の乏しい臍部を柄とする皮質骨を使用して、筋肉柄付骨移植は、従来の骨移植と比べて、有意の差がなかつ

たとし、一方、Davis (1952) は、比較的血行の良好な腸骨を使用して、移植骨の血行は十分保たれていると結論している。形成外科領域では、Degen (1970), Conley (1972) 等によって、Osteo-cutaneous Flap が用いられたが、Medgyesi (1937) によって、指摘された如く、Osteocutaneous Flap の場合、筋肉柄に比べて、皮弁を経由してくる移植骨の血行はわずかなものである。その上、筋肉柄にしる、皮弁にしる、その移植骨の血行は骨膜動脈系由来のものによって支配されているため、移植骨全体の容量から考えますと、血行の温存されている部はわずかである。

移植骨の血行の大部分を支配する主栄養動脈系を血管柄とする血管柄付骨移植は、Strauch (1971) 等によって行なわれたが、この方法も、前述の二方法と同じく、柄の長さの関係より、移植される範囲も限られてくるという欠点がある。

そこで、近年発達した微小血管吻合術を利用して、移植骨の主栄養血管と、移植床の周囲にある血管との間の吻合を行なう遊離血管柄付骨移植が、Östrup

(1974), 著者等 (1975) による実験的研究, Taylor 等 (1975) による臨床的試みが行なわれたわけである。

III. 実験的研究

(1) 実験材料および実験方法: 年令, 大きさ, 性別等の骨移植に影響を与える因子が類似した約 10 kg 前後の雑種成犬を用いて, 移植骨としては, 肋骨を使用しました。肋骨は栄養血管である後肋間動静脈をつけて, 周囲の軟部組織と共に一塊として摘出し, あらかじめ作成しておいた大腿骨骨欠損部へ挿入する。第 I 群は, 大腿骨の部分的骨欠損部へ, Inlay Bone Graft を行ない (図 1—(A))。第 II 群は, 大腿骨の骨幹部の完全骨欠損部へ, Bridge Bone Graft を行なった (図 1—(B))。

図 1 (A) 第 I 群 (Inlay Bone Graft)
(B) 第 II 群 (Bridge Bone Graft)

(1) 後肋間静脈 (2) 後肋間動脈 (3) 大伏在動脈
(4) 大伏在静脈 (5) 大腿動脈 (6) 大腿静脈
(7) 肋骨 (8) 骨欠損部

両方法とも, 後肋間動静脈と大伏在動静脈とを, 手術顕微鏡の拡大下に, 10—0 針付ナイロン糸にて, 各々微小血管吻合を行なった。また, 全く同じ条件で, 血管吻合を行なわないものをコントロールとした。

(2) 実験結果: 移植後一定期間毎に犠牲にして, 吻合血管の開存性, 移植後早期の移植骨の骨動態, 骨癒合状態について検索した。

約 70 匹に本実験を行ない, そのうち, 感染および不慮の死亡例を除外して, 実験第 I 群 15 例, 実験第 II 群 15 例について, 次の結果が得られた。

吻合血管の開存性については, 術後一定期間での血管造影, あるいは, 犠牲時の Micropaque の注入によって, その開存性の有無について調べた。動脈では 20 例中 17 例に, 静脈では 20 例中 12 例に開存が確認

(A)

(B)

図 2—(A), (B) 血管造影所見
(A) 第 II 群 (3 週) (B) 第 II 群 (3 週)
(→) 血管吻合部

された (図 2—(A), (B))。

第 I 群の Inlay Bone Graft に対して, 術後 3, 6, 8 週に, Tc-Phosphate による骨シンチグラムを行なったが, 種々の因子に左右されるため, その骨新生の比較は困難であった。6 週以後, 血管柄付群では, 骨癒合が完成するまで, 移植骨部に盛んな集積を認めるが, コントロール群では, 移植骨部の集積が乏しく, 骨新生の不活発な事が想像された。

第 I 群の骨癒合状態については, 肉眼的および H.E. 染色による組織学的検索を行なったが, 血管柄付骨移植では, 術後 6 週後のものは, 全例に骨癒合が起こっており, 移植骨の吸収されたものはなかった。一方, コントロール例では, 術後 11 週までは骨癒合は

認められず、大部分の移植骨は吸収されていた（図3—(A)）。

第Ⅱ群については、まず、移植骨の移植直後の骨変化について、フォイエルゲン染色による Osteocyte の変化を中心に観察した。コントロール例では、術後72時間目より、Osteocyte の核の変化が始まり中には、既に、Lacunae の中から、Osteocyte の核が消失している部も見られ、1週間では、移植骨の Osteocyte の核は、大部分が消失していた。一方血管柄付群では、虚血に陥りやすい移植骨の両端では、若干、コントロール例と同じような変化をしますが血行の良好な中心部では、一部分に、Osteocyte の核の変化が起こっているも、全く吸収されてしまうことはなく、大部分の Osteocyte は生存していた。ま

た、Delayed Absorption の所見も認められなかった。

第Ⅱ群の骨癒合状態に関しては、固定方法、移植骨の強度、ストレス等の問題があり、一概に論じるのは危険であるが、成績の比較できた例では、術後6週で、一部骨癒合が認められ、8週では、肉眼的、組織学的にも良好な骨癒合が起こっていた。一方、コントロール例では、全く、骨癒合は認められず、移植骨の細胞は、大部分が吸収されており、わずかに、移植床由来と思われる仮骨が両端で認められるだけであった。

以上、著者の行なった実験の結果を要約すると、次の如くなる。つまり、遊離血管柄付骨移植では、移植骨の吸収、置換は起こらず、移植骨の Osteogenic Activity は、温存されることになり、そのため、移植骨の移植床への骨癒合が早期に起こり、また、移植骨が吸収されて、骨移植が失敗に終る率は少なくなる。つまり、遊離血管柄付骨移植は、骨移植というよりは、長管骨骨折の二重骨折の中央の骨片の骨癒合と同じ原理になるわけである。

IV. 臨床応用のために

(1) 遊離血管柄付骨移植の適応：遊離血管柄付骨移植の利点としては、移植骨の移植床への骨癒合が早期に確実に起こり、また、移植骨が吸収されることがないため、条件の悪い移植床への骨移植に最も適していると思われる。実際には、腫瘍摘出後や外傷による大きな骨欠損、骨髄炎、先天性脛骨偽関節、先天性骨欠損、Free Osteocutaneous Flap、骨移植再手術

図3 (A) 第Ⅰ群実験結果

	No.	経過期間	吻合血管 開存(動)	吻合血管 ……(静)	肉眼的 骨癒合	組織学的 骨癒合
血管柄付骨移植	1	12w	開	存	あり	あり
	2	11w	"	"	"	"
	3	10w	"	塞	"	"
	4	8w	開	塞	"	"
	5	8w	開	存	"	"
	6	6w	"	開	存	"
	7	6w	"	開	塞	"
	8	3w	"	開	存	なし
	9	3w	"	"	"	"
	10	3w	"	"	"	"
コントロール	1	12w	／	／	あり	あり
	2	11w	／	／	"	"
	3	8w	／	／	なし	なし
	4	6w	／	／	"	"
	5	5w	／	／	"	"

図3 (B) 第Ⅱ群実験結果

	No.	経過期間	吻合血管 開存(動)	固 定 法	合併症	肉 眼 的 骨 癒 合	組織学的 骨 癒 合
血管柄付骨移植	1	24 時間	十	ス ク リ ュ ウ	—	—	—
	2	72 "	十	"	—	—	—
	3	1 週間	十	K-wire, ス ク リ ュ ウ	—	—	—
	4	3 "	十	"	骨 折	—	仮骨形成
	5	3 "	十	"	—	—	"
	6	6 "	十	外 固 定 の み	—	—	—
	7	6 "	十	"	骨 折	十	十
	8	8 "	十	"	—	—	—
	9	8 "	十	外 固 定, ス ク リ ュ ウ	骨 折	十	十
	10	12 "	—	外 固 定 の み	骨 折	—	—
コントロール	1	24 時間	／	ス ク リ ュ ウ	—	—	—
	2	72 "	／	ス ク リ ュ ウ, K-wire	—	—	—
	3	1 週間	／	"	—	—	—
	4	3 "	／	ス ク リ ュ ウ	骨 折	—	—
	5	8 "	／	外 固 定	—	土	土

等に適応があります。一方、本法の欠点としては当然の事ながら、微小血管吻合技術の熟練を要する。手術操作が複雑で、手術時間が長い。移植骨採取後、時に、骨採取部に軽い機能障害を残すこと等があげられるが、何れも絶対的なものではない。

(2) 移植骨：本法を、実際に、臨床応用する場合移植骨としては、長管骨では、腓骨、肋骨、平坦骨では、腸骨が利用できる。

各種移植骨について、剖検所検および骨標本を参考にし、その所見を述べる。

肋骨は、肋骨後部では、人体の場合、肋骨結節より約4～5cm末梢で、主栄養血管孔と多数の小さな血管孔が見られる。この主栄養血管を含めて、肋間筋、胸膜等の軟部組織をつけて、肋骨を採取すればよいわけである。肋間動脈の外径も2mm前後あり、微小血管吻合には適しているが、肋骨は、採取時、気胸等を合併するため、手術侵襲が大きすぎる、また、骨自体の強度が乏しいという欠点がある。

腸骨は、平坦骨であり、その血管支配も複雑であるが臨床的に利用できるのは、浅腸骨回旋動脈系と、外側大腿回旋動脈系の二つの血管系である。浅腸骨回旋動脈系を血管柄とする Osteocutaneous Flap の場合、これによって栄養される移植骨の血行はわずかで著者等の Micropaque 注入による検索でも、わずかの範囲の骨膜下の骨のみしか栄養されていませんでした。この方法よりは、外側大腿回旋動脈系を利用する方が、血行は良好であるが、この方法でも、一本の栄養血管のみでは、移植骨の血行は充分でなく、血管柄のついた筋肉柄も同時に含めて移植する必要がある(図4—(A))。この方法は、実験的に著者も試みているが、臨床的には、骨採取後の機能的損失を考えると、自家移植では余り契められた方法ではない。臨床的には、腸骨は、Free Osteocutaneous Flap として利用される以外は、実際には難しいと思われる(図4—(B))。

最も臨床的に利用しやすいのは、腓骨である。腓骨骨幹部は、腓骨動脈より出る主栄養動脈および骨膜動脈によって支配されている。

腓骨内での、この主栄養動脈、骨膜動脈、および、Metaphyseal arteries が互いに吻合することによって、腓骨動脈一本によって、腓骨全体が栄養されることも可能なわけである。また、腓骨採取によっても、余り、機能的損失も少なく、他の移植骨に比べて、こ

図4 腸骨の遊離血管柄付骨移植

- (A)遊離腸骨移植、(B)Osteocutaneous Flap
(1)外側大腿回旋動脈 (2)縫工筋 (3)大腿直筋
(4)腸骨 (5)上行枝(腸骨の栄養血管)
(6)浅腸骨回旋動脈

図5 腓骨移植

- (A)腓骨の栄養血管 (B)腓骨摘出術の注意点
(1)主栄養動脈 (2)骨膜動脈 (3)腓骨回旋枝
(4)前脛骨動脈 (5)腓骨動脈 (6)後脛骨動脈
(7)腓骨神経 (8)ひらめ筋 (9)長趾趾屈筋
(10)ひらめ筋の栄養血管

の点も優れていると考えられる(図5—(A))。

(3) 手技上の注意点：次に、実際に、腓骨採取にあたっての手技上の注意を、20例の剖検例、骨標本から得た所見を中心に述べる。

皮切は、Henry 法に準じて行なうが、総腓骨神経を損傷しないように、剝離に際しては、注意を要する。ヒラメ筋は、腓骨附着部より、わずかの筋肉を腓骨につけて切離する。膝窩動脈、後脛骨動脈から腓骨動脈へかけて、末梢へ展開するが、腓骨動脈を末梢に剝離する際、主栄養動脈および骨膜動脈への枝を損傷しないように、腓骨周囲に若干の筋肉を残して剝離す

る。日本人の場合、著者等の検索によると、主栄養血管は、腓骨骨頭より、大体 11~17 cm の範囲に認められる。つまり、腓骨の上 1/3 の点から、中央よりやや中枢よりの範囲に認められる。また、ヒラメ筋への栄養血管より、末梢へ 3~6 cm の所にあるので、これも参考になる。栄養血管は長拇指屈筋付着部の中を貫いているので、この筋肉の切離に際しては、注意を要する。骨採取後の機能と、栄養血管の温存を考慮して、特に、腓骨の後、内側では、約 0.5~1 cm の筋肉を付着させたままで、骨を採取する。長短腓骨筋は、できる限り、残すようにして、腓骨面に接して切離する。このようにして、動脈 1 本、静脈 2 本の腓骨動静脈の血管柄からなる血管柄付移植骨が採取できる。腓骨動静脈は、外径が約 2~3 cm であるので、微小血管吻合は簡単である (図 5—(B))。腓骨は、足関節部のみを残せば、かなり大きな移植骨が採取できる。この血管柄付移植骨を、種々の移植床へ移植し、微小血管吻合を行えばよいわけである。凡ての操作は、atraumatic に行ないその他は、Microsurgery 一般の注意点と同じである。

V. 考 察

骨移植の際、移植骨の運命に関しては、古来より、論争の焦点であった。Phemister (1914), Abott (1947) 等の代表的研究の如く、従来の自家骨移植の場合は、移植骨は、移植後、いわゆる“Phemister のいう“Creeping Substitution”を受けて吸収、置換されるか、移植骨、移植床の条件が備われば、移植骨の細胞は生存したままで移植される場合がある。何れにしろ、移植骨の Osteogenic Activity が温存されるためには、移植骨の血行を常に維持している必要がある。この目的のためには、古くから筋肉柄付骨移植、Osteocutaneous Flap、血管柄付骨移植等が試みられ、これらの方法の欠点を補うべく微小血管吻合術の応用による遊離血管柄付骨移植が著者等によって行われたわけである。Östrup (1974) 等も、著者と同じく、犬の肋骨を使用して、その実験的研究より遊離血管柄付骨移植は、早期骨癒合が起こると結論している。しかし、彼等の研究は、実験数も少なく、また、高率に感染を合併しているので、骨癒合時期の比較には疑問が残る。著者の研究によって、遊離血管柄付骨移植は、移植骨の Osteogenic Activity が温存されるため、移植骨の移植床への骨癒合が、早期

に、また、確実に起こることが証明されたわけである。

本法の臨床応用が、既に散見されるが、衆知の如く、移植骨は血行が温存されなくても、骨移植の目的は達することができる場合が多いわけであるので従って、遊離血管柄付骨移植の臨床応用に際しては、慎重に、症例を選択する必要がある。

VI. 結 論

遊離血管柄付骨移植は、移植骨の血行が温存されるため、移植骨の Osteogenic Activity が存続され、従って、移植骨の移植床への骨癒合が、早期に確実に起こることが証明された。また、微小血管吻合術を利用して、離れた部位への移植も可能である。臨床的には、移植骨としては、腓骨、肋骨、腸骨を使用して、条件の悪い移植床への移植に利点があり、症例を選択すれば、本法は、従来の骨移植に比べ、優れた方法である。

(本稿の御指導、御校閲をいただいた山口大学医学部整形外科教室 服部奨教授、および、島根県立中央病院整形外科 富永積生部長に深謝いたします)

参 考 文 献

- 1) Abott, C. L. et al.: The Evaluation of Cortical and Cancellous Bone as Grafting Material, J. B. J. S., 29: 381, 1947.
- 2) Brookes, M.: The Blood Supply of Bone, 1st Ed. Butterworths, London, 1971.
- 3) Davis, B. J. et al.: Muscle Pedicle Bone Grafts, Arch Surg., 65: 330, 1952.
- 4) 土井一輝ほか: 微小血管吻合による遊離血管柄付骨移植について。中部整災誌, 19(2): 596, 1976.
- 5) 土井一輝ほか: 遊離血管柄付骨移植の実験的考察。日整会誌, 投稿中。
- 6) Hellstadius, A.: On the ability of bone tissue to survive in pedicled bone grafts, Acta Chir. Scand., 86: 85, 1942.
- 7) Medgyesi, S.: Observations on pedicle bone grafts in goats. Scandinav. J. Plast. Reconstr. Surg., 7: 110, 1973.
- 8) Najarian, S. et al.: Transplantation, Lea & Febiger, Philadelphia, 1972.
- 9) Östrup, T. L. et al.: Distant Transfer of A Free, Living Bone Graft by Microvascular Anastomoses, an experimental study. Plast. Reconstr. Surg., 54: 274, 1974.
- 10) Phemister, D. B.: The Fate of Transpla-

nted Bone and Regenerative Power of Its Various Constituents. Surg. Gynec. Obstet., 19: 303, 1914.

- 11) Taylor, S. et al.: The Vascularized Bone Graft, a clinical extension of microvascular techniques. Plast. Reconstr. Surg., 55: 33, 1975.

質問 発言

九大整形 松岡 洋一

対照とされた自家骨移植の実験成績が従来の報告に比し悪すぎると思いますが、同種骨移植も冷凍保存より凍結乾燥へと BMP を温存して免疫反応をおさえる方法で極めて良い成績を上げている。Urist も酵素阻害剤下での自己融解で抗原を除く AAA bone を提唱している。教室では冷凍・凍結乾燥をあわせ 200 例を越す経験をもち、half joint, segmental な移植でもよい成績を上げている。骨移植が他の臓器移植と異なる特徴的なことは細胞の超生を絶対条件とせず移植骨と同一形態の骨組織で置換されることである。

手術侵襲からみても血管柄付骨移植術の臨床上の適応は極めて少ないへ思いますが、絶対適応として何をお考えか御教示下さい。

解答 島根県立中央病院整形 土井 一輝

①コントロール群の骨癒合が遅いのは、実験数が少ないので、もちろん断言できないが、私の実験では、明らかに、血管吻合群に比べて差がありました。もちろん、文献等の研究との、時間的な差は、実験方法等が異なるので、質問のような差は出ても当然である。

②移植骨が Osteogenesis を維持することは、それだけで、大変なメリットであり、本法の場合、Osteoinduction, や Osteoconduction による移植骨の治癒とは異なりった治癒の方法をとるわけです。

③本法は、従来の骨移植で失敗に終るような症例に対して最も適応がある。本法の手術法、移植骨の検索が進めば、もう少し適応はひろがるものと思う

シンポジウム:

切断肢(指)再接着の実際

熊本赤十字病院整形外科

米 満 弘 之

Clinical Replantation of Amputated Limbs and Fingers

By

H. Yonemitsu

Department of Orthopedic Surgery, Kumamoto Red-Cross Hospital, Kumamoto

The total of cases replanted for amputation of the limbs and fingers between December 1974 to October 1976 numbers 47. The age of the patients ranged from 2 to 64, those of high age were quite numerous. Injuries due to electric power saw were most numerous.

The success rate of reattachment in the limb and hand was 100% and in the finger it was 84.0%.

I report successful replantational cases and describe replantation-techniques, for example, technique of suture of digital vessels, the postoperative control, indication and function of limbs and fingers.