

総説（教授就任記念講演）

形成外科組織移植術の過去・現在・未来

橋本 一郎

徳島大学大学院医歯薬学研究部形成外科学分野

（平成28年11月7日受付）（平成28年11月10日受理）

はじめに

形成外科の治療対象には、唇裂口蓋裂や小耳症のように先天的に体表の組織が欠損している患者、あるいは悪性腫瘍切除後や外傷受傷後のように後天的に組織欠損を伴う患者が多く含まれる。組織欠損に対して移植術を用いて組織を充填するが、近年、この手術方法が飛躍的に進歩している。乳房再建術や食道再建術、頭蓋底再建術を含む頭頸部再建術などは急速に発展し、腫瘍切除範囲の拡大や術後合併症の減少、術後の整容面の改善などが得られるようになった。本稿では形成外科における組織移植手術の進歩について紹介する。

1. 皮弁移植術の進歩

形成外科分野で用いられる体表面の組織移植術で重要なのは皮膚の血行である。皮膚は真皮下血管網が発達しており、この部位が深部からの血流をうけることや、筋

肉は深部血管から筋枝による血流をうけることが知られていたが、深部血管から皮膚血流への連続性に関する研究の歴史は意外と浅い。1970年代に筋皮弁、1980年代に筋膜皮弁の概念が登場し、深部動脈から皮膚血行へ至るルートの解明が進んで来た（図1）¹⁾。

筋皮弁は筋肉の栄養血管から皮下脂肪・皮膚への栄養血管を利用して挙上する皮弁であるが（図1c, 2）、それまでの皮膚への血行を意識しない皮弁と比べると格段に皮弁末梢への血行が安定しており、その登場により再建術がより確実なものとなった。1980年代までは筋肉表面から皮膚に至る血管（皮膚穿通枝）の存在が意識されることはなかったが、筋膜皮弁の研究が進むにつれて皮膚穿通枝が皮弁を栄養するとの考え方が一般的になり、80年代後半には筋皮弁から穿通枝のみを分離した穿通枝皮弁という概念が生まれることになった（図2）。

深部動静脈から分枝する皮膚穿通枝の外径は約0.2から0.5ミリと細く、穿通枝皮弁の挙上手術では筋肉内でこの穿通枝を剖出しなければならない。剖出時に穿通枝

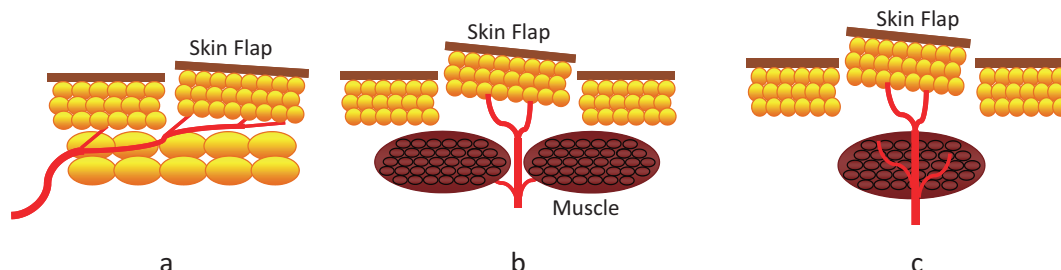


図1 筋膜皮弁の分類：皮膚への穿通枝が目目され穿通枝皮弁が誕生するきっかけとなる。

a. direct cutaneous pedicle：深部の脂肪組織内を通過する動静脈が皮膚を栄養する, b. septocutaneous pedicle：筋間中隔を通る穿通枝が皮膚を栄養する, c. musculocutaneous pedicle：筋体を貫く穿通枝が皮膚を栄養する

(Hashimoto, I, et al. Development of Skin Flaps for Reconstructive Surgery : Random Pattern Flap to Perforator Flap. JMI 2016より引用)

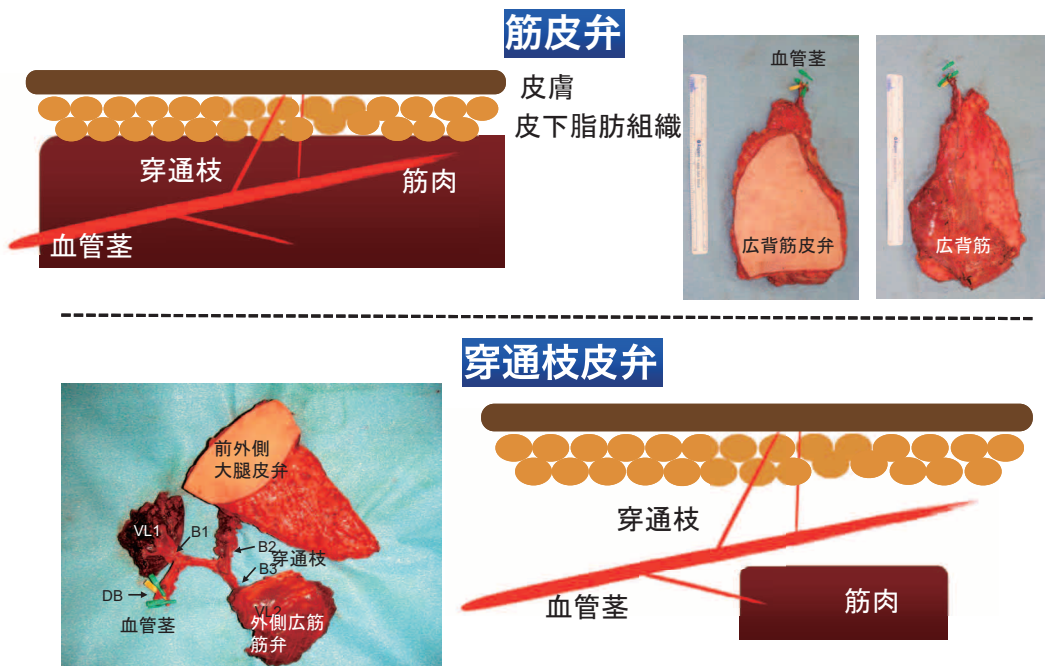


図2 マイクロサージャリー：筋皮弁から穿孔枝皮弁へ

を損傷すると皮弁の血流は途絶えることとなり、移植手術は不可能になる。したがって穿孔枝皮弁の欠点としては、穿孔枝損傷の危険性と手術時間の延長が挙げられる。穿孔枝の剖出に成功すれば、皮膚の栄養血管が明瞭になるため従来の皮弁より安全に皮弁血行が保たれることにもなる。また、皮膚の栄養血管が直視下に独立して見えるため、それ以外の部位の脂肪組織の組織量を薄くすることが可能である。また、皮弁と筋弁を別の穿孔枝を血管茎として挙上した場合には、再建時に配置の自由度が増すことになり再建が容易になる (図3)²⁾。

当科では、代表的な穿孔枝皮弁である前外側大腿皮弁を遊離皮弁として、再建手術に頻用している。この皮弁は文字通り、大腿の外側部から挙上する皮弁で、比較的薄い皮弁が挙上できる。また皮下脂肪組織が厚い症例でも前述のように脂肪組織を切除して移植部位に適した厚さに調整することが可能である。外側広筋を同じ血管茎で附着させることにより、皮弁とは別の部位に筋弁を配置できるため複雑な欠損に対しても立体的な再建が可能になる (図3)²⁾。本皮弁は頭頸部とは離れた部位から挙上されるため、頭頸部の悪性腫瘍切除術と同時に手術を開始することが可能である。頭頸部悪性腫瘍切除手術と再建手術は長時間にわたるため、腫瘍切除術と皮弁挙上術が同時に開始できることは手術時間の短縮という面



図3 前外側大腿皮弁による頭蓋底再建
頭蓋底から眼窩と蝶形骨洞に浸潤した髄膜腫を切除された。顔面皮膚の再建と頭蓋底の充填に皮弁を用い、筋弁は蝶形骨洞と眼窩に充填された。

で大きな利点となっている。

2. 皮弁血流モニタリングの進歩

皮弁に壊死が生じると皮弁移植部の治癒が遅れ、さまざまな合併症が発生する。頭頸部再建では、鼻腔内や口

腔内からの感染が頭蓋内や頸部大動脈周囲に波及すると重篤な合併症を発症する。そのため、早期に確実に皮弁の循環不全を検出して皮弁壊死を救済することが理想とされる。早期に皮弁循環不全を検出するためには、例えば2-3時間毎に測定するのではなく、持続的に計測可能なモニタリング装置が必要である。また、確実に循環不全を検出するためには、相対的な値で何かと比べながら皮弁の循環不全を検出する方法ではなく、絶対値で検出できるモニタリング方法が必要となる。われわれの開発した経皮二酸化炭素による皮弁循環不全モニタリングシステムでは、その値が90mmHg以上になれば皮弁循環不全が検出できる³⁾。さらに、この方法は皮弁表面にプローブを附着させておくことで持続的なモニタリングが可能である。つまり、経皮二酸化炭素による皮弁循環不全モニタリングシステムでは、絶対値で、かつ持続的に観察できるために確実に皮弁の循環不全を検出できると考えられる。当科では実際の臨床の現場で遊離皮弁移植術の術後5日間は経皮二酸化炭素による本システムによる連続モニタリングを行っており、実際に皮弁救済に成功している⁴⁾。

3. 外陰部再建の進歩

外陰部は外尿道口や肛門といった重要な排泄口があり、とくに女性では膣があり凹状の複雑な形態をしている。女性の外陰部・会陰部の腫瘍切除では、形態をなるべく正常なものに戻すことで機能的な損失を最小限にできる。以前は下肢からの皮弁移植で外陰部再建術が行われていたが、この方法には、1)皮弁が厚くなりすぎる、2)皮弁の血管茎が再建部より離れているため皮弁遠位部の血行が不安定である、3)下肢に大きな瘢痕が残る、などの問題点があった。われわれは内陰部動脈からの皮膚穿通枝を血管茎とする内陰部動脈穿通枝皮弁 (gluteal fold flap を含む) を開発することで、これらの欠点を補うことを可能とした^{5,6)}。本皮弁は、1)皮膚穿通枝が含まれる脂肪組織以外の部分は脂肪組織を切除することで厚さの調整が可能である、2)皮弁血管茎は内陰部動脈であり外陰部に極めて近いことため血行は良好である、3)皮弁は殿溝等の目立たない部分から挙上する、などの利点が多くある。そのため、本皮弁は本邦と海外において外陰部再建術のスタンダードな皮弁として定着している。

4. 乳房再建術の進歩

乳癌切除後の乳房再建手術では広背筋皮弁や腹直筋皮弁などの自家組織移植が主に行われて来た。再建乳房の体積があまり大きくない場合には広背筋皮弁が、脂肪組織がさらに必要な場合には腹直筋皮弁が適している。皮弁血行の研究が進んだため、特に広背筋皮弁では安全に皮弁を移植できるようになった。腹直筋皮弁の場合は、採取筋肉の反対側の皮弁に血行不全が見られることがある。乳癌切除と同時に行う乳房再建術を1次再建術、乳癌切除後に期間をおいて行う乳房再建術を2次再建術と呼ぶ。2次再建術では組織拡張器で胸壁の皮膚を拡張しておく、背部や腹部の皮弁で再建した場合でも胸壁の皮膚で乳房再建が可能となり審美的に優れた結果が得られる。

2013年からは、乳癌切除後の患者では乳房再建のためのシリコン・インプラント使用は「美容整形目的とは異なる」と判断されることで保険適用への道が開かれた。ただし、学会からの認定を受けた医療機関でなければ保険適用対象の手術を行うことができず、また保険適用となるのは、乳癌の「全摘出手術後」の乳房再建でインプラントを用いる症例に限られている。米国の女優のアンジェリーナ・ジョリーさんが受けたことで注目を集めた、予防のための乳房切除に伴う再建手術などは適用の対象外である。このことにより、患者は広背筋皮弁や腹直筋皮弁といった自家組織移植かシリコン・インプラントかの選択をすることが可能となった。それぞれの特徴をまとめると、以下のようになる。

自家組織移植による乳房再建⁷⁾

1) 皮弁採取部への侵襲：背部あるいは腹部に瘢痕が必ず残るほか、腹直筋皮弁採取後には腹壁弛緩の可能性がわずかにある。

2) 背部・腹部皮膚が乳房皮膚に出る：乳房の皮膚が切除されている患者で組織拡張器を使用しない場合には、背部あるいは腹部の皮膚が再建乳房の一部になり、周囲皮膚の質感とは異なるようになる。この問題は組織拡張器を使用することで胸部皮膚を拡張して背部や腹部の皮弁皮膚を隠すことで解決できる。

3) 自家脂肪組織による自然な乳房形態と質感：自家脂肪組織の柔らかさにより形態も質感も健側乳房に近いものが得られる。

4) 下垂する乳房が作成可能：自家脂肪組織であるため仰臥位では外側に流れ、立位では下垂する自然に近い乳

房形態になる。

シリコン・インプラントによる乳房再建（図4）

- 1) インプラント破損の可能性：1～2年に1回はエコー検査やMRI検査を受けることで、インプラント破損の有無を確認する。
- 2) カプセル拘縮や露出の可能性：インプラントは生体にとって異物であるため拘縮が生じると変形が生じたり、皮膚から露出したりする可能性がある。
- 3) 大胸筋拡張のための待機期間が必要：組織拡張器で大胸筋を拡張した後に大胸筋下にインプラントを挿入するため、約6カ月の待機期間が必要である。
- 4) 下垂した乳房は再現できない：インプラントの形状に沿った再建乳房になるため、立位で下垂しない。
- 5) 皮弁採取の侵襲がない：背部や腹部などの他部位に瘢痕を残したくない、筋肉採取に同意できない患者に適している。

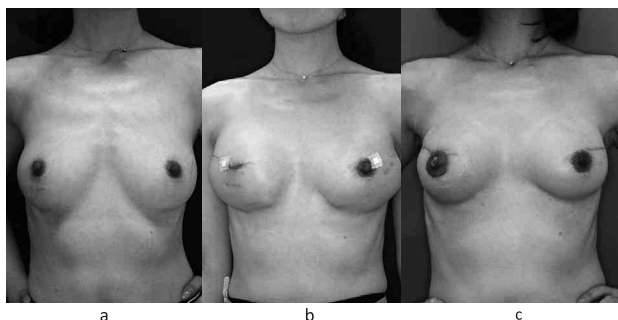


図4 乳房切除術後シリコンインプラントによる乳房再建手術
a. 術前の状態。
b. 乳房を切除した後に組織拡張器を大胸筋下に挿入し生食で拡張している。
c. 組織拡張器をシリコンインプラントに入れ替えた後、右側で乳輪乳頭形成術を行った。

5. 脂肪組織移植術の進歩

従来から、脂肪組織を確実に移植することは難しいとされてきた。脂肪組織移植には血行を入れること、つまり血管吻合を行う移植術が最も確実な方法であり、血行を入れない遊離移植は壊死が起こるために不確実とされてきた。近年では、新しい遊離脂肪移植手術が開発され次第に定着している。具体的な手術方法としては、次のようになる。

1) 腹部や臀部、大腿部などの脂肪組織が豊富な部位から、脂肪吸引装置を用いて脂肪細胞を含む破碎された組織を採取する。

2) 採取した材料から水分を除去して脂肪細胞を抽出する。

3) 脂肪細胞を小さなシリンジに移して、脂肪細胞を細かく丁寧に組織へ注入する。

このような脂肪細胞の遊離移植術は、血管吻合による脂肪移植術よりも侵襲が少なく、手術時間も短くて済み、さらに体積や凹凸の調整も行いやすい。当科では膠原病による顔面脂肪萎縮症に対する脂肪移植術でも良好な結果を得ている。さらに、シリコン・インプラントによる乳房再建では、一部に脂肪組織が足りないための陥凹変形が見られることがあり、遊離脂肪移植術が乳房再建の修正に良い結果をもたらすことが知られている。

6. 顔面神経麻痺の再建

顔面神経麻痺の原因には、特発性、ウイルス性、耳下腺腫瘍・聴神経腫瘍・頭蓋底腫瘍の摘出後、そして先天性のものがある。また、麻痺の状態もさまざまで、完全麻痺、部分麻痺、不全麻痺などがあり、病的共同運動の出現が症状をさらに複雑にしている。顔面神経麻痺に対しては耳鼻科的な治療法が多くあり、麻痺が完成してからもボトックスによるリハビリテーションなども熱心に行われている。それらの治療に反応しない症例や、完成された症状に対して形成外科的な手術が行われる。

顔面神経麻痺に対する形成外科的な手術方法には、動的再建方法と静的再建方法がある。動的再建方法の代表的なものが、血管吻合を伴う遊離筋肉移植術と呼ばれるもので、筋肉を神経血管束とともに採取して移植する。神経血管束を顔面で縫合することで筋肉の収縮を得て顔面の動きを再現できる（図5上段）。静的再建方法は眉毛の固定術、上眼瞼余剰皮膚切除、筋膜による下眼瞼下垂り上げ術などである。顔面神経の全麻痺では前頭筋麻痺による眉毛下垂と眼輪筋麻痺が同時に起こるため、見かけ上の開瞼障害を修正する目的で眉毛を挙上固定すると、眼輪筋麻痺による閉瞼障害が現れてくる。このため、眉毛を挙上すると閉瞼障害が出現する患者に対しては、同時に閉瞼障害に対する手術を併用する必要がある（図5下段）。

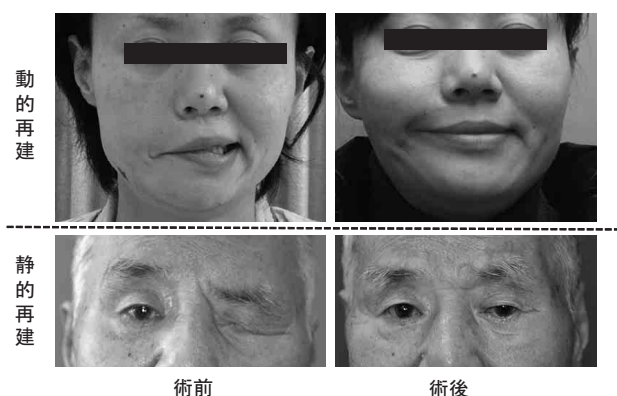


図5 顔面神経麻痺の再建
 上段：先天性顔面神経麻痺の患者。右側頬部への薄筋移植による動的再建を行った。
 下段：左側眉毛・上眼瞼下垂に対する眉毛挙上手術を行った。



図6 広背筋穿通枝皮弁による糖尿病性足潰瘍の治療

7. 糖尿病性足潰瘍の治療

糖尿病性足潰瘍は、虚血と神経障害、そして感染が原因となる。その症状は複雑で、3つの原因が重なっていることもあるため、肉眼的な所見だけで原因を特定することは難しい。当科では、糖尿病性足潰瘍の患者に対しては、まず神経障害の有無をモノフィラメント知覚テストで検査する。5.07のフィラメントを足底皮膚にあて、知覚がないものは防御知覚脱失と診断し、電気生理学的な精査を目的に神経内科を紹介する。次に、下肢の血流を検討するためには、まず簡便で侵襲がないABI検査（足関節上腕血圧比）とPWV検査（脈波伝播速度）、血管エコー検査、SPP検査（皮膚組織灌流圧）を行う。これらの検査で異常が見られた患者は循環器内科あるいは心臓血管外科に下肢動脈の精査を依頼する。

虚血性糖尿病性足潰瘍と診断された場合は、閉塞あるいは狭窄している動脈の治療を優先する。血流が回復した後にデブリードマンを含む局所治療を開始する。神経障害性足潰瘍の患者で中足骨切断などの必要があり、下腿動脈に閉塞や高度狭窄が見られない場合には血管吻合により遊離皮弁移植術を行い、足底荷重部をなるべく残すようにしている（図6）⁸⁾。

おわりに

先天的に失われているもの、また手術や事故で後天的に失ったものをできるだけ正常に近い形態と機能へ再建するのが形成外科・再建外科の役割である。手術方法、手術技術の進歩により、ますます良好な結果を得ること

ができるようになってきているが、完全なものを目指すには改良・改善の余地はまだあるため、これからのさらなる発展に期待したい。

文 献

- 1) Hashimoto, I., Abe, Y., Ishida S., Kashiwagi, K., *et al.* : Development of Skin Flaps for Reconstructive Surgery : Random Pattern Flap to Perforator Flap. *J. Med. Invest.*, 63 : 159-162, 2016
- 2) Hashimoto, I., Nakanishi, H., Yamano, M., Abe, Y. : Usefulness in Combined Free Anterolateral Thigh and Vastus Lateralis Muscle Flaps. *Eur. J. Plast. Surg.*, 35 : 867-872, 2012
- 3) Hashimoto, I., Nakanishi, H., Takiwaki, H., Takase, T. M., *et al.* : Flap Monitoring by Transcutaneous PO₂ and PCO₂ : Importance of Transcutaneous PCO₂ in Determining Follow-up Treatment for Compromised Free Flaps. *J. Reconstr. Microsurg.*, 23 : 269-274, 2007
- 4) Abe, Y., Hashimoto, I., Goishi, K., Kashiwagi, K., *et al.* : Transcutaneous carbon dioxide pressure (TcPCO₂) measurement at low temperature for continuous free flap monitoring : experimental and clinical study. *Plast. Reconstr. Surg. GO.*, 1 : 1-8, 2013
- 5) Hashimoto, I., Nakanishi, H., Nagae, H., Harada, H., *et al.* : The Gluteal Fold Flap for Vulvar and Buttock Reconstruction : Anatomical Study and Adjustment

- of Flap Volume. *Plast. Reconstr. Surg.*, 108 : 1998-2005, 2001
- 6) Hashimoto, I., Abe, Y., Nakanishi, H. : The Internal Pudendal Artery Perforator Flap : Free-style Pedicle Perforator Flaps for Vulva, Vagina, and Buttock Reconstruction. *Plast. Reconstr. Surg.*, 133 : 924-933, 2014
- 7) Kashiwagi, K., Abe, Y., Ishida, S., Mineda, K., *et al.* : Reduction mammoplasty and mastopexy for the contralateral breast after reconstruction surgery following cancer resection : A report of 3 cases. *J. Med. Invest.*, 63 : 281-285, 2016
- 8) Hashimoto, I., Abe, Y., Morimoto, A., Kashiwagi, K., *et al.* : Limb salvage and vascular augmentation by microsurgical free flap transfer for treatment of neuropathic diabetic foot ulcers. *J. Med. Invest.*, 61 : 325-332, 2014

Development of tissue transplantation in plastic surgery

Ichiro Hashimoto

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Tokushima University Graduate School of Medical Sciences, Tokushima, Japan

SUMMARY

The diseases and conditions for which plastic surgeons perform treatments include congenital conditions of tissue loss, such as cleft lip and palate or microtia, and acquired conditions of tissue loss, such as those that occur after cancer ablation or severe trauma. Tissue transplantation is required for these conditions of tissue loss. Surgical procedures for tissue transplantation have been developed rapidly. With the recent advances in reconstructive procedures for breast, esophageal, and head and neck cancers, wider excision can be performed, the postoperative complication rate has reduced, and cosmetic results after surgeries have improved. The objective of this review was to discuss the progression of tissue transplantation surgery in plastic surgery.

Key words : flap surgery, flap monitoring, perineal reconstruction, breast reconstruction, facial nerve palsy