

## 初心者のための局所皮弁の適応とデザイン法

東 隆一

防医大誌 (2022) 47 (4) : 208 - 219

**要旨：**皮弁の歴史は古く、紀元前 600 年インドの外科医 Sushruta は頬の皮弁を使った鼻整形術を行った。植皮は 19 世紀半ばに初めて行われた。皮弁は植皮に比べて厚い組織を移植することができ、より整容的に良い結果をもたらす。皮弁は、ドナー部位の位置により、局所皮弁・遠隔皮弁・遊離皮弁に分類され、局所皮弁は欠損部付近から採取される皮弁である。局所皮弁手術を計画する場合、形状、血流、および緊張の 3 つが、欠損を確実にカバーするための重要な要素である。本稿では、前進皮弁、回転皮弁、横転皮弁など、いくつかのタイプの皮弁の特性について解説し、皮弁の手術計画の立て方について述べる。現在では、解剖学的知識の蓄積に加え、皮膚穿通部枝の検出方法の開発により、より柔軟で安全な皮弁手術計画が可能となった。

索引用語： 皮弁 / 穿通枝

### はじめに

皮弁は、外傷や腫瘍切除後、術後創離開による皮膚欠損を縫い閉じられないときに用いられる。本稿は主に欠損の近傍に作られる局所皮弁についての解説である。形成外科初心者やこれ

から皮弁手術を始める外科、皮膚科、耳鼻科などの医師に向けて、皮弁の概念、適応、デザインの要点についてわかりやすく解説することを心がけた。最初に、理解を助けるために本稿で用いられる形成外科用語の一覧を記載する。

表 用語一覧

用語	説明
植皮	薄い皮膚を採取し創に貼りつける。数日間血流なし。厚さ 1 mm 以下。
皮弁	血流が保たれたまま、皮膚皮下組織を移植する。厚さ 5-30 mm 程度。
茎	皮弁の一部が体とつながっている部位
血管茎	皮弁を栄養する通常 1 対の動静脈。栄養血管ともいう。
遊離皮弁	血管茎を切り離し、数時間以内に欠損付近の別の血管に吻合する方法。手術終了時には血流が再開している。
有茎皮弁	遊離皮弁ではない皮弁の総称
局所皮弁	欠損の近傍から移植される皮弁
遠隔皮弁	皮弁を切り離さずに遠隔部に移植し、1-3 週間後に茎を切り離す方法。遊離皮弁が開発される前に遠隔部に皮弁を移植するために用いられた。
穿通枝	深部血管から分枝し、筋肉や筋膜を貫いて皮膚を栄養する血管

## 1. 皮弁, 植皮, 遊離皮弁について

皮弁 (skin flap) とは, 皮膚の移植手段の一つで, 皮弁の一部は体とつながっていて血流が保たれたまま移植される。植皮 (skin graft) と同様, 皮膚欠損を治すために広く用いられている。

皮弁の歴史は古く, 古代インドにまでさかのぼる。紀元前 600 年頃, Sushruta は鼻削ぎの刑に処された犯罪者や捕虜に対して, 頬の皮弁を使って鼻を再建する方法についてサンスクリット文字で記している<sup>1)</sup>。いつの時代からか不明だが, インドではその後前額の皮膚を使って鼻を再建する方法が発明された。この方法は数百年以上も受け継がれた後に 1794 年にイギリスの雑誌に紹介され, 西欧世界でインド法と呼ばれるようになった (図 1)。

イタリアの外科医である Tagliacozzi は, 16 世紀に遠隔皮弁による鼻形成術を報告した<sup>2)</sup>。まず前腕から皮弁を起し, 前腕につなげたまま皮弁の一部を鼻に縫合する。20 日程度待つと顔面からの皮弁に血流が入るようになる。その後皮弁を再建に必要なだけ切り離す (図 2)。

その後, 皮弁手術は主に戦傷による顔面の皮膚軟部組織欠損を治療する技術として戦争のたびに発展してきた。

植皮 (skin graft) の始まりは 19 世紀半ばと皮弁に比べれば新しい。植皮は皮弁と違って, 血管茎を持たない。古くから皮膚を切り取って創に貼り付けるという試みは行われていたが, ほとんど成功することはなかったようだ。移植直後には植皮片に血流はないため, 約 3 日間下床からの浸出液に栄養され, その間に下床と植皮片の血管開通が起こることが分かっている。血流のない植皮片を 3 日間生かすためには, 植皮片をおよそ 1 mm 以下まで薄くして, 下床と密着させて圧迫固定することが生着の条件である。このことが 19 世紀になってようやく分かり, 植皮術が確立したといえる<sup>3)</sup>。

専門外の医師にとって植皮と紛らわしいのは遊離皮弁 (free flap) である。遊離皮弁は, 皮弁の血管茎を一度切り離し, 数時間以内に移植床の血管と皮弁の血管茎を吻合し, 血流を再開させるものである。一例として, 舌再建に用いられる遊離橈側前腕皮弁がある。一時的に血流

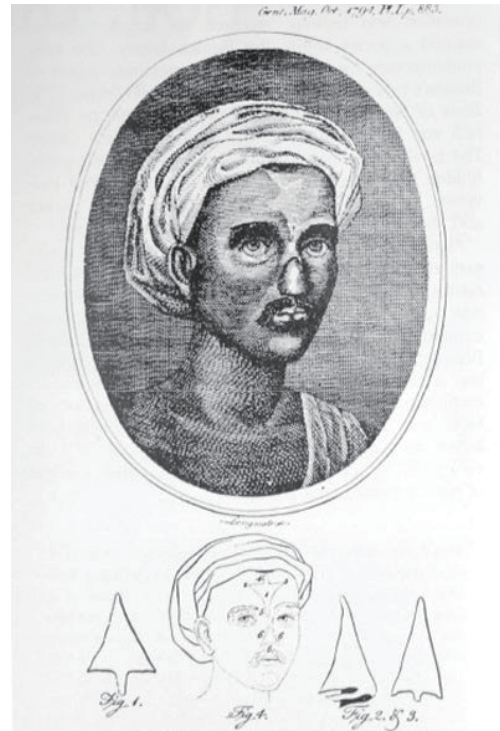


図 1. イギリスにもたらされた前額皮弁を用いた造鼻術 (インド法). the Gentleman's Magazine of London, 1794 より転載



図 2. Tagliacozzi が記した前腕の皮弁を使った造鼻術. Gaspare Tagliacozzi, De Curtorum Chirurgia per Insitionem. Venezia, Roberto Meietti, 1597 より転載

はなくなるが、すぐに血流は再開し、植皮のように血管再生を数日間待つ必要はない。なお、遊離皮弁ではない皮弁を遊離皮弁と対比して有茎皮弁 (pedicled flap) と呼ぶことがある。

### 2. 局所皮弁とは

有茎皮弁の中でも、欠損部に隣接して、若しくは近傍に作られる皮弁を局所皮弁 (local flap) と呼ぶ。数 cm 大までの皮膚欠損で、単純に縫合できない創を閉鎖するために頻用される。植皮が生着しない血流の乏しい創、すなわち腱や骨、軟骨が露出している創にも皮弁自身の血流があるため生着する。また、凹凸のある深い創にも、皮弁は厚みがあるため使用可能である。術後の整容面で比較すると、植皮は腹部や大腿など欠損部とは離れた部位から採取されるため色調や質感がマッチしないのと、植皮自体の性質として術後の色素沈着や拘縮が起こりやすいため、局所皮弁の方が最終的な整容性に優れることが多い。

局所皮弁をデザインするときを考えるべき重要な要素は、形状、血流、緊張の分散の3つである。皮弁が欠損にびたりとはまるような形で、かつ皮弁全体が生きるように隅々まで十分な量の血流が流入するようにデザインすること。そして、皮弁移動後の皮弁と欠損辺縁の皮膚との縫合、そして皮弁採取部の縫合いずれにも過度

の緊張がかからないように、予測してデザインする必要がある。図3は Limberg flap と呼ばれる局所皮弁の一種だが、欠損を縫縮する緊張が緩和され、代償として皮弁採取部を縫縮する緊張が生じている。この緊張の移動・分散を利用するのが皮弁手術の本質ともいえる。

### 3. 局所皮弁の3タイプ

皮弁のデザイン法として代表的な横転皮弁 (transposition flap)、回転皮弁 (rotation flap)、前進皮弁 (advancement flap) について解説する。

#### 1) 横転皮弁 (transposition flap)

前述の Limberg flap は横転皮弁の代表例である。欠損を菱形に見立て、同形の菱形皮弁をデザインし、45度から90度程度向きを変えて欠損に移動する。ちょうど60度回転するのが1963年にロシア人医師 Limberg によって発表された歴史的皮弁、Limberg flap である (図3)。

次の症例では、頬部の皮膚癌切除後の欠損に対して、側方に皮弁を作成し約50度横転させ欠損部に移動した。この移動形式の皮弁を横転皮弁と呼ぶ (図4)。

2つの菱形皮弁を組み合わせ、より遠くのゆとりのある部位に緊張を分散させることもできる (図5)。

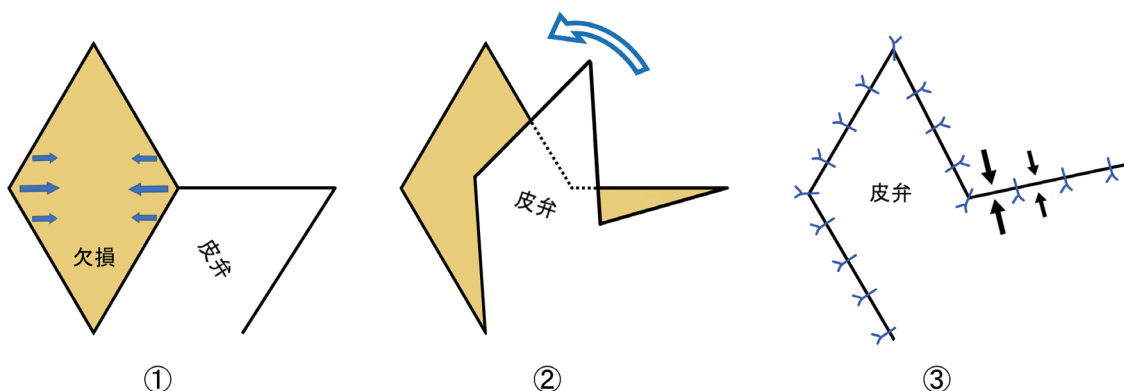


図3. Limberg flap のイメージ。黄色の菱形は欠損を示す。①単純に縫縮しようとしても、青矢印の緊張が強く縫縮できない。②皮弁を作成し移動すると、③新たに黒矢印の緊張が生じる。皮膚の総面積は一定だが、縫合線全体に緊張が分散され、創の閉鎖が可能である。

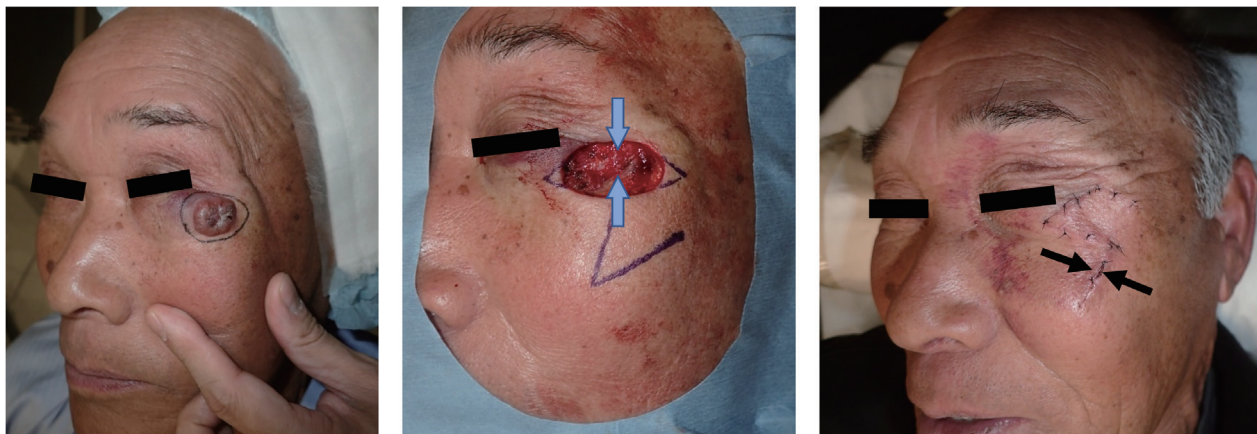


図4. 頬部の欠損に対して用いられた横転皮弁。皮弁を用いずにそのまま縫縮することも可能ではあるが、その場合下眼瞼が外下方に引っ張られ、閉瞼できなくなる危険性が高い。欠損をそのまま縫合しようとした場合の緊張（青矢印）が、皮弁採取部を縫縮する際の緊張（黒矢印）に転換されている。緊張の位置が皮膚のゆとりのある頬部に移り、まだ縫合の角度が、下眼瞼を引っ張らないような方向に転換されていることに注目。

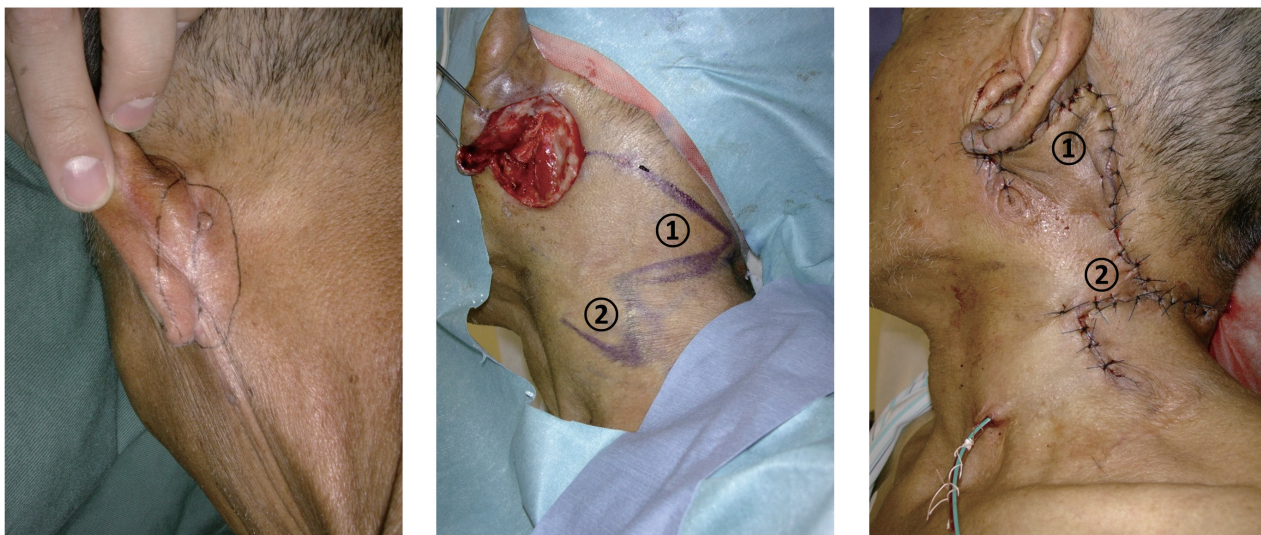


図5. 耳後部の皮膚癌切除後の欠損に対して用いた双葉皮弁。双葉皮弁は一つの皮弁で緊張が分散しきれない場合に有効である。①の皮弁が欠損部に移動し、①の採取部に②の皮弁が移動している。②の皮弁は①よりは小さく、また耳後部という皮膚にゆとりがない場所から、頸部に広く緊張が分散されているため、全ての縫合は過度の緊張なく行える。

2) 回転皮弁 (rotation flap)

次の症例では後頭部の皮膚癌を切除した欠損から長い弧状の皮膚切開を入れ、皮下を広く剥離し、皮弁を作成した。この形式を回転皮弁と呼ぶ。回転皮弁は横転皮弁と比べて、皮弁が大

きくなるという欠点があるが、血流は安定しやすい。また皮弁の向きの変化が少なく、特に頭皮の再建では毛流の向きを変えたくないの使いやすい(図6,7)。



図6. 後頭部に作成した回転皮弁。水平方向からの血流(白矢印)によって栄養される。血流の入る部分の幅を十分残す必要がある。緊張を十分に分散させるために弧状切開の長さは欠損の幅の4倍以上とするのが安全である。

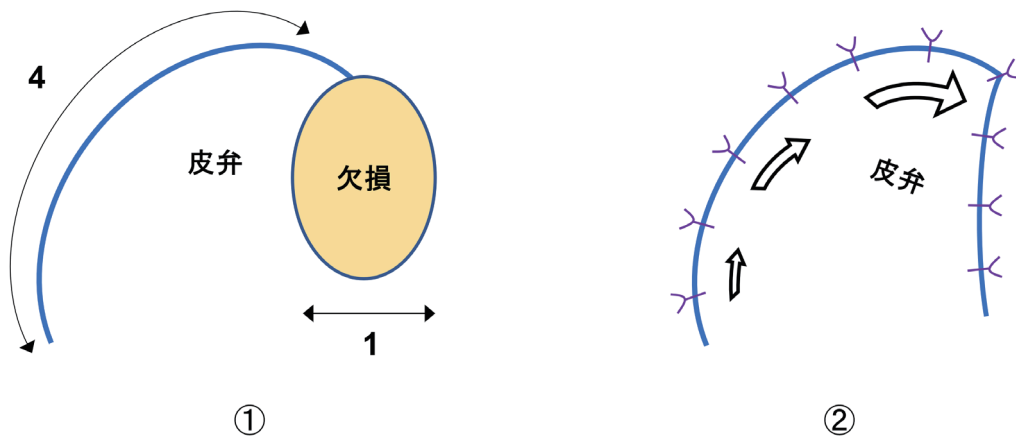


図7. 回転皮弁のシェーマ。皮弁の端から先端まで徐々にずらしながら縫っていくことにより、欠損を埋めるためのゆとりを生む。そのため欠損の幅に対して4倍以上の長さの弧が必要。

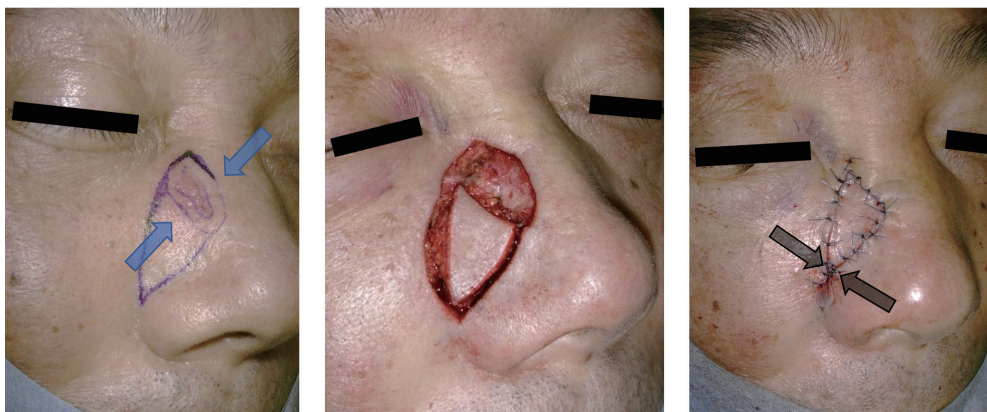


図8. もとものの欠損を単純に縫縮すると過度の緊張(青矢印)がかかり、術後創離開や外鼻の変形の恐れがある。三角形の皮弁を前進させることにより、青矢印の緊張は緩和され、その代償として黒矢印を縫縮するという別の緊張に転換されている。

### 3) 前進皮弁 (advancement flap)

次の症例は鼻背側方の皮膚癌を切除した欠損の隣に三角形の皮弁を作成し、欠損部方向に前進させて創閉鎖した症例である。切開線の形 (V) と縫合後の形 (Y) から V-Y 前進皮弁と呼ばれる。なお、皮弁の全周が周囲皮膚から切り離される場合、島状皮弁と呼ぶ。島状皮弁は水平方向からの血流はゼロとなる。V-Y 前進皮弁も島状皮弁なので、皮弁下面からの垂直方向の血流が十分あるときにのみ作成できる。一方、回転皮弁や横転皮弁は下面からの血流が乏しい場合でも作成可能だが、その代わりに水平方向から血流流入路を十分確保する必要がある (図 8)。

### 4. 穿通枝皮弁 (perforator flap)

皮弁手術における穿通枝とは、深部の主要血管から分岐し筋膜を貫いて皮膚に至る直径 1 mm 程度の細い動静脈を指し、皮膚の栄養血管とはほぼ同義に考えて差し支えない。あらゆる皮弁手術で穿通枝を意識して、皮弁に十分な血流が入るようにデザインすることが重要であるが、特に V-Y 前進皮弁のような島状皮弁では水平方向からの血流はないため、必ず穿通枝が入るようにする必要がある。例外として、顔面や手掌のような皮下の血管が密な部位では穿通枝の位置を意識しなくても、皮下組織を介して皮弁が深部と連続していれば血流は問題なく皮

弁に流入する。逆に背部や下腿など、皮下血管の疎な部位では、穿通枝の位置を意識して皮弁を作成しなければ、皮弁を安全に生かすことはできない (図 9)。

これまでの解剖学的知見から、全身で 60 程度の穿通枝が常に存在していることが分かっている。それらは固有の名称をつけられ、皮弁手術に活用されている。以下代表的な穿通枝皮弁を示す。

#### 1) 胸背動脈穿通枝皮弁

胸背動脈は鎖骨下動脈の枝である肩甲下動脈から分岐し、広背筋の裏面を尾側に向かって走行し、広背筋や前鋸筋の主な栄養血管となっている。広背筋に向かう血管の一部は広背筋を貫いて直上の皮膚を栄養する。その位置は腋窩から約 8 cm 尾側の広背筋前縁に存在する<sup>4)</sup> (図 10, 11)。

#### 2) 橈骨動脈穿通枝皮弁

橈骨動脈は、手掌と前腕の境界の皺から約 4 cm 近位に 2, 3 本の皮膚栄養血管を分枝する。

これを利用した皮弁が橈骨動脈穿通枝皮弁である<sup>5)</sup> (図 12)。

#### 3) 膝窩動脈穿通枝皮弁

膝の周囲には豊富な穿通枝が存在し、とくに膝窩の近位に穿通枝皮弁を作ると皮膚に余裕のある大腿から皮膚に余裕のない膝に皮弁を移動することができるので有用である<sup>6)</sup> (図 13)。



図 9. 穿通枝を含めることを意識して作成した V-Y 前進皮弁。特に下腿は皮下血管が疎であるため、穿通枝を意識的に皮弁に含めるデザインをする。穿通枝位置を緑サークルで示す。

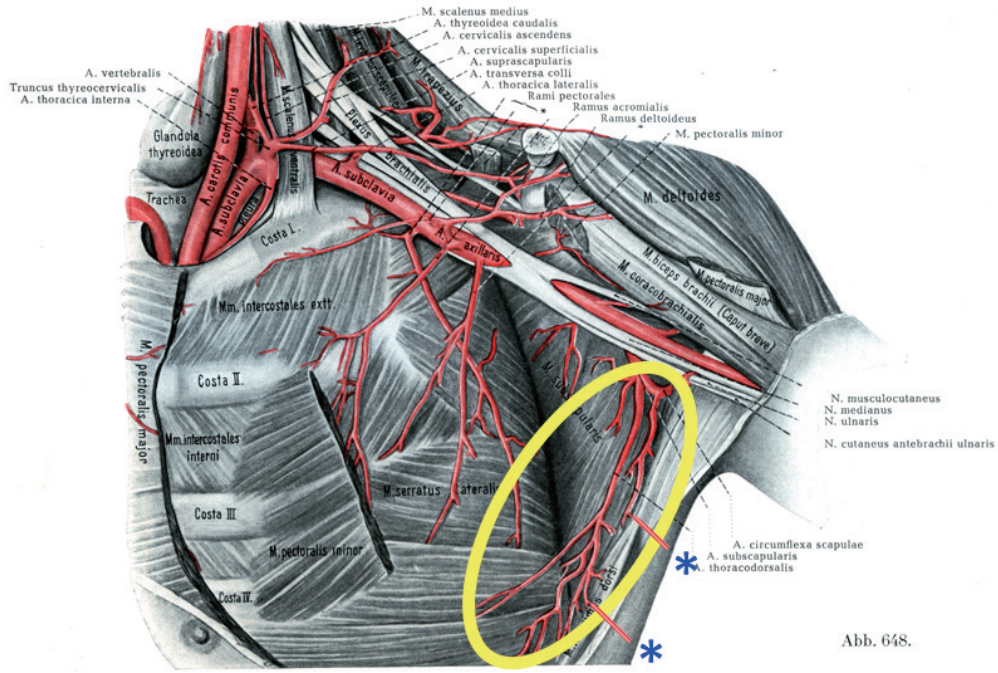


図10. 左胸背動脈を黄色サークルで示す。  
 \*は広背筋を貫き皮膚に至る穿通枝を示す。

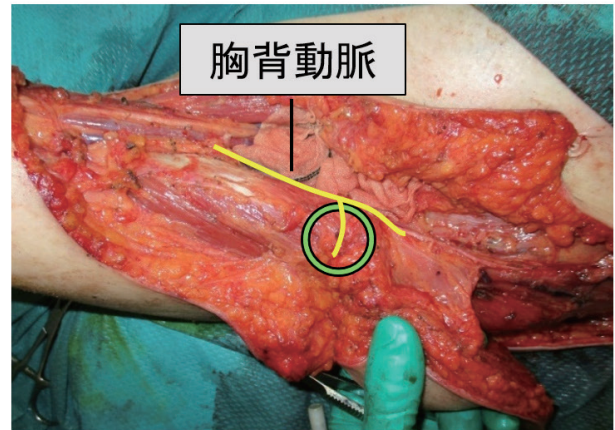


図11. 左腋窩に生じた副乳癌を切除し、欠損を胸背動脈穿通枝皮弁で被覆した。穿通枝は広背筋を貫いているが、穿通枝から丁寧に広背筋を分離し、運動神経も温存するので、広背筋の機能は保たれる。緑サークル：穿通枝。

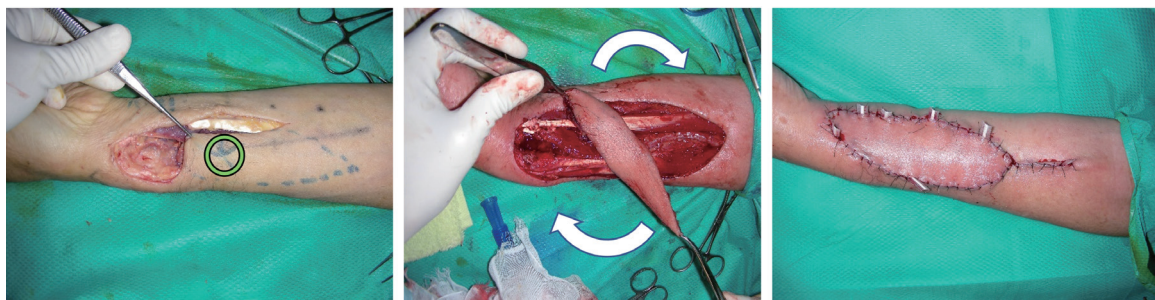


図 12. 左前腕の外傷性皮膚欠損に対して、欠損部の近位側に島状皮弁を作成し被覆した。穿通枝を軸として皮弁を180度回転する移動形式で、穿通枝自体皮弁で覆われる。これをプロペラ皮弁とよぶ。緑サークル：穿通枝。

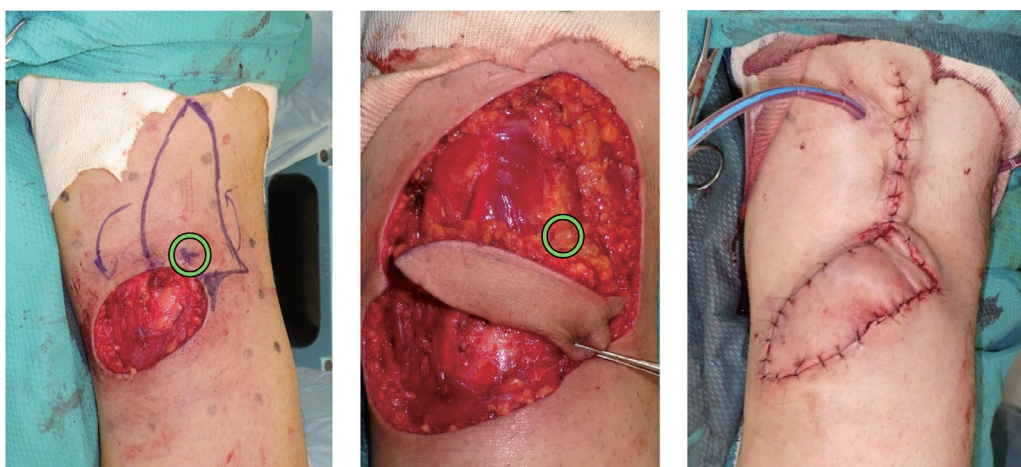


図 13. 膝窩の血管腫切除後の皮膚欠損に対し、膝窩動脈から分枝する穿通枝を茎とした島状皮弁をプロペラ皮弁の形で回転させ、被覆。緑サークル：穿通枝。

#### 4) 遠位茎腓腹皮弁

腓骨動脈は腓骨の前方および後方に複数の穿通枝を出す。腓骨の後方，外果より5 cm 近位にはほぼ確実に穿通枝が存在し，深部から筋膜を貫いて皮下に至った後，近位と遠位へと分枝して皮下を走行する。近位への分枝は，膝窩から下降してくる浅腓腹動脈の末梢と吻合している。浅腓腹動脈は腓腹神経や小伏在静脈と伴走しており，通常これらを含めて皮弁を挙上する<sup>7)</sup>(図 14, 15)。

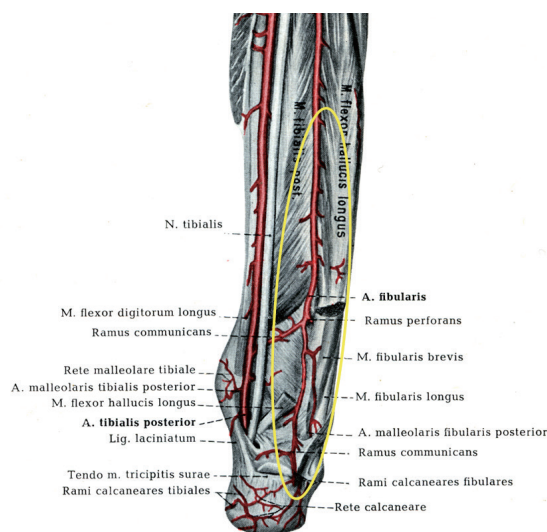


図 14. 右腓骨動脈を黄色サークルで示す。外果周囲で遠位茎腓腹皮弁と後述する外側顆上皮弁，外側踵皮弁の穿通枝を分枝する。





図 15. 踵後方の褥瘡に対して，外果の頭側 5 cm の位置にある穿通枝を茎とする島状皮弁を挙上し，プロペラ皮弁の形で欠損部を被覆した。緑サークル：穿通枝。

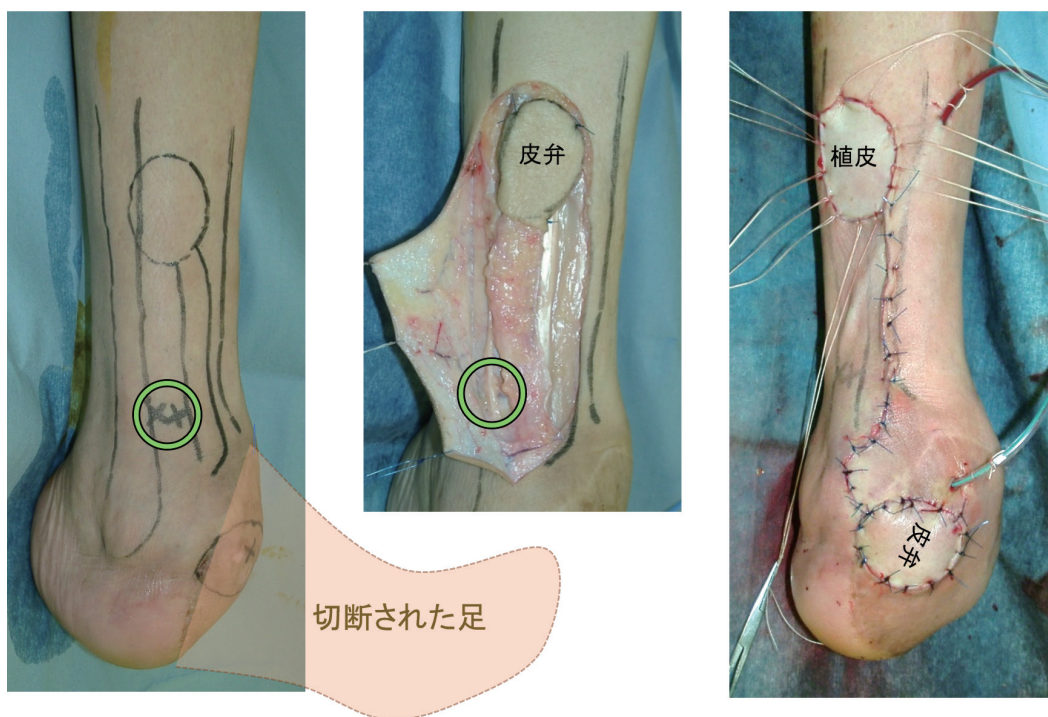


図 16. 過去に糖尿病性足壊疽のためショパール関節切断が行われている。断面の前方突出部に装具が当たるため有痛性潰瘍が発生した。この創を被覆するために外側果上皮弁を使用した。皮弁採取部は縫縮できないため植皮を行った。緑サークル：穿通枝。

5) 外側果上皮弁（腓骨動脈穿通枝皮弁）

遠位茎腓腹皮弁の穿通枝と同じ高さで，腓骨後方にも穿通枝が存在し，やはり皮下で近位遠位へと分かれて皮下を走行する。近位に向かう

動脈は浅腓骨神経と伴走する。浅腓骨神経は足背全体の知覚を司り重要であるので，これを温存し皮弁を挙上する<sup>8)</sup>(図 16)。

## 5. Free style perforator flap

従来の解剖学的知見にとらわれず自由な場所から皮弁を起こす穿通枝皮弁を free style perforator flap と呼ぶ。

### 1) 穿通枝皮弁の利点と不安定性

穿通枝皮弁は、島状皮弁にやすく、回転皮弁や横転皮弁と比べて皮弁移動の自由度が高く、仕上がりの歪みも少ないという利点がある。前項で示したように安定して皮弁に利用できる穿通枝が数多く判明しているが、あらゆる欠損に対して既知の穿通枝皮弁だけで対応できるとは限らない。通常存在しているはずの穿通枝が、外傷や以前の手術の影響で途絶していることもしばしばある。以前は、穿通枝の存在が不確実なまま皮弁の作成を開始し、術中に穿通枝を目視で確認しつつ、必要に応じて切開線など皮弁デザインを修正したり、もし穿通枝が全く存在しなかった場合は別の皮弁に切り替えたり、あるいは皮弁は止めて植皮にするなど、複雑な戦略フローチャートを念頭に手術に臨むのが普通であった。

ところで近年の画像診断技術の進歩によって、CT、超音波、ICG(インドシアニングリーン)血管造影などを用いて術前に穿通枝を検索することが可能になった。術前に画像診断によって穿通枝を確認しておけば、戦略フローチャートを簡素化することができ、予定通りのいわゆる一本道の手術を遂行できる。この安心感は、特に経験浅い外科医にとって大変ありがたいこと

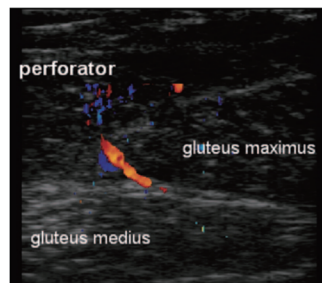
である。熟練した形成外科医にとっても、従来は選択肢に上がらなかったような穿通枝皮弁を積極的に採用できることがある。この2点が自由なところから皮弁を採取する free style perforator flap の利点である。

### 2) 穿通枝皮弁を検索する手段

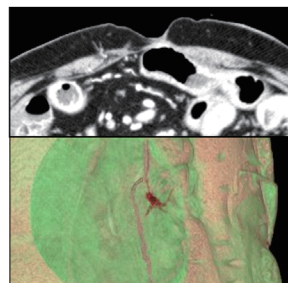
穿通枝の検索手段で最も簡易なのはドップラー聴診器で、深さ3 cm程度までで径1 mm以上の皮下動脈の拍動音を聞くことができる。しかし、もし拍動音は聞こえてもそれが皮膚の栄養血管になり得るのか、筋肉に向かう動脈で皮弁には使えないのか判別ができないという不安は残る。超音波カラードップラーはやはり3 cm程度深さまで0.5 mm程度の動脈を断層図として得ることができるが検査に習熟が必要である。CT血管造影は1 mm以上の動脈を深さ制限なく描出することができるが、最低64列のMDCT (Multi Detector-row CT) が必要で、造影のタイミングなど高い撮影技術も求められる。腎機能が悪い場合は造影剤を使えない。放射線被曝するという欠点もある。インドシアニングリーン血管造影は、深さ約1 cmまでの0.5 mm程度の血管を、皮膚表面からの二次元画像として得ることができ、画像をそのまま皮弁のデザインに活かせる<sup>9)</sup>。撮影装置自体がCTや超音波カラードップラーほどは普及してないが、乳癌や皮膚癌のセンチネルリンパ節検査でも使われるため大学病院規模の病院はほぼ保有している(図17)。



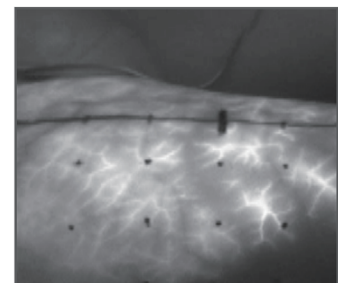
ドップラー聴診器



カラードップラー

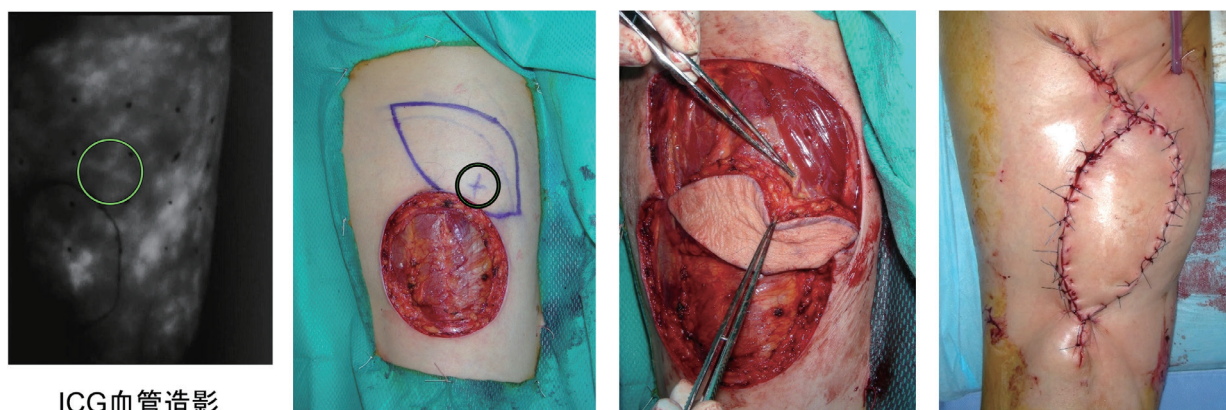


CT血管造影



ICG 血管造影

図 17. 穿通枝を術前検索する診断技術



ICG血管造影

図18. 大腿後面の皮膚癌切除の欠損。術前に ICG 血管造影で穿通枝の位置を確認しておき、近位側に存在する穿通枝を利用した島状皮弁で被覆した。緑サークル：穿通枝。

### 3) 臨床例

Free style perforator flap の一例を示す。穿通枝の位置がピンポイントで分かっているため、皮弁の予定切開線を術前に確定することができる(図18)。

### ま と め

局所皮弁は、植皮と比べて術後の拘縮が少なく整容的にも機能的にも優れている。局所皮弁を成功させる3要素として、形状、血流、緊張の分散がある。古典的な皮弁の移動形式には横転皮弁、回転皮弁、前進皮弁がある。3要素を考慮しつつ欠損や周囲の組織のゆとりに応じて適切な皮弁を選択するのが成功の鍵である。穿通枝皮弁は、皮弁の移動の自由度が高く、移動後の歪みが少ない。画像診断で術前に穿通枝を確認しておくことで、より安全に皮弁手術を行えるだけでなく、皮弁手術自体の適応を広げることができる。

### 症例写真について

症例写真の掲載について、全て患者の文書による了解を取っている。

### 利益相反

本論文に関して開示すべき利益相反はない。

### 文 献

- 1) 倉田喜一郎：植皮の歴史．克誠堂出版．1986, pp4-11.
- 2) 同 pp44-47.
- 3) 同 pp173-183.
- 4) Blondeel PN, Moris SF, Hallock GG, et al.: Perforator flaps Anatomy, technique, & Clinical Applications, Quality Medical Publishing, Inc., St. Louis, 2006, p443.
- 5) 同 p331.
- 6) 同 pp558-563.
- 7) Hasegawa M, Torii S, Katoh H, et al.: The distally based superficial sural artery flap. *Plast. Reconstr. Surg.* 93: 1012-1020, 1994.
- 8) Masquelet AC, Beveridge J, Romana C, et al.: The lateral supramalleolar flap. *Plast. Reconstr. Surg.* 81: 74-81, 1988.
- 9) Azuma R, Morimoto Y, Masumoto K, et al.: Detection of skin perforators by indocyanine green fluorescence nearly infrared angiography. *Plast. Reconstr. Surg.* 122: 1062-1067, 2008.

## Local flap indications and design methods for beginners

Ryuichi AZUMA

*J. Natl. Def. Med. Coll.* (2022) 47 (4) : 208 – 219

**Abstract:** The history of the flap dates back to 600 B.C. when the Indian surgeon Sushruta performed rhinoplasty using a cheek flap. Skin grafting was first performed in the mid-19th century. Flaps are classified as local, distant, or free flaps, depending on the location of the donor site. Local flaps are taken from near the defect and allow for thicker tissue to be grafted compared to skin grafts, resulting in a more cosmetic result. When planning local flap surgery, proper shape, blood flow, and tension management are three important factors to ensure coverage of the defect. Several types of flaps are described here, including advancement flaps, rotation flaps, transposition flaps, and strategies for surgical planning of flaps are presented. In recent years, the development of methods for detecting the skin perforator, in addition to the accumulation of anatomical knowledge, has allowed for more flexible and safer flap planning.

**Key words:** Flap / Perforator