

に解剖学的特徴，安全性，手術時間などを考えながら挙上する特殊な皮弁である。しかし，本皮弁の持つ多様性は複雑な欠損にも対応でき，形成再建外科医として大きな手技的武器であることは間違いない。今後のさらなる応用が期待できる。

引用文献

- 1) Koshima I, Yamamoto H, Hosoda M, et al: Free combined composite flaps using the lateral circumflex femoral system for repair of massive defects of the head and neck regions; An introduction to the chimeric flap principle. *Plast Reconstr Surg* 92:411-420, 1993
- 2) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Versatility of the free anterolateral thigh flap for reconstruction of head and neck defects. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 123:1325-1331, 1997
- 3) Koshima I, Fukuda S, Yamamoto H, et al: Free anterolateral thigh flaps for reconstruction of head and neck defects. *Plast Reconstr Surg* 92:421-430, 1993
- 4) Zhou G, Qiao Q, Chen GY, et al: Clinical experience and surgical anatomy of 32 free anterolateral thigh flap transplantations. *Br J Plast Surg* 44:91-96, 1991
- 5) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Anatomic variations and technical problems of the anterolateral thigh flap; A report of 74 cases. *Plast Reconstr Surg* 102:1517-1523, 1998
- 6) Celik N, Wei F, Lin C, et al: Technique and strategy in anterolateral thigh perforator flap surgery, based on an analysis of 15 complete and partial failures in 439 cases. *Plast Reconstr Surg* 109:2211-2216, 2002
- 7) Kimata Y, Sakuraba M, Uchiyama K: Discussion. *Plast Reconstr Surg* 109:2217-2218, 2002
- 8) Song YG, Chen GZ, Song YL: The free thigh flap; A new free flap concept based on the septocutaneous artery. *Br J Plast Surg* 37:149-159, 1984
- 9) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Comparison study of innervated and noninnervated free flaps in oral reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 104:1307-1313, 1999
- 10) Kimata Y, Sakuraba M, Hishinuma S, et al: Free vascularized nerve grafting for immediate facial nerve reconstruction. *Laryngoscope* 115:331-336, 2005
- 11) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Anterolateral thigh flap donor-site complications and morbidity. *Plast Reconstr Surg* 104:584-586, 2000

ABSTRACT

Personal Method for Anterolateral Thigh Flap Elevation

*Yoshihiro Kimata, MD**

The anterolateral thigh (AL-T) flap has many advantages for reconstructing several kinds of defects. This is due to its long and wide vascular pedicle, relatively thin skin, and good pliability. The AL-T flap can be used as a thinned flap, adipofascial flap, sensate flap, and combined flap with other flaps whose pedicle has been anastomosed to the branches of the AL-T flap pedicle. However, several anatomical variations have been identified and this is the main reason that this flap is not widely used worldwide.

In this paper, a personal method for elevating the AL-T flap safely and reliably is described in detail with respect to variations in its vascular anatomy. It is hoped that many reconstructive surgeons will become familiar with this ideal flap and apply it in various kinds of reconstruction.

**Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences, Okayama 700-8558*

摂食・会話機能を考慮した口腔再建

— より良い術後機能を求めて —

¹⁾ 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科形成再建外科

²⁾ 国立がんセンター東病院 形成外科頭頸部外科

木 股 敬 裕¹⁾ 難 波 祐 三 郎¹⁾ 筒 井 哲 也¹⁾
 杉 山 成 史¹⁾ 徳 山 英 二 郎¹⁾ 櫻 庭 実²⁾
 林 隆 一²⁾ 海 老 原 敏²⁾

論文要旨

口腔・咽頭領域は、摂食・会話機能に最も関わる部位で外科的治療により術後機能の障害が引き起こされる。そして、術後機能は切除範囲によって左右される。では、再建手技や術後のリハビリテーションの目的はどこにあるのだろうか。組織が同じように残されていても、術後の機能が良好な患者さんと不良の患者さんがいることを良く経験する。これは、不適切な再建手技や、嚥下指導なしの訓練、患者さんの意欲などに起因していることが多い。このことから、再建外科の最大の目的は、残存組織の機能を最大限に活かすことに集約される。そのためには、残存組織量に準じた切除範囲の詳細な分類とそれに対する適切な再建手技の開発・改良が必要となって来る。これまでに我々は、様々な欠損に対して分類と機能評価を施行してきた。形成外科として今、何を考えているのか、そして合併症を含め何が課題となっているのかについて述べる。

Key words: 頭頸部腫瘍 (head and neck tumor), 機能再建 (functional reconstruction) 術後合併症 (post-operative complication)

I. はじめに

口腔・咽頭領域は、人の摂食・会話機能に最も関わってくる部位であり、そこに発生した癌を外科的に治療すれば、多かれ少なかれ術後機能の障害が引き起こされる。そして当然のことであるが、術後機能は切除範囲によって左右される。逆を言えば、残存組織の範囲で決定される。機能の維持には適切な再建手技が必要となるが、残存機能を損なう様な再建手技を行うと機能は不良になる (図1)。では、形成再建外科の手技や術後のリハビリテーションの目的はどこにあるのだろうか。しいて言えば、残存組織の機能を最大限に活かすことに集約されると言えよう。本稿では、口腔・咽頭領域における再建の考え方と形成外科の役割について記述する。

II. 口腔・咽頭領域における再建の考え方

組織が同じように残されていても、術後の摂食・会話機能が良好な患者さんと不良の患者さんがいることをよく経験する。これは、残存組織の機能を損なうような再建手技や、嚥下指導なしの訓練、患者さんの意欲などに起因す

ることから来る¹⁾。頭頸部再建が本邦で始められてから20年余り経つが、当初は切除後に生じた欠損を充填または被覆するというのが主たる目的であった。しかしながら、現在では術後の機能を維持した再建へ、そしてより良い機能を求めた再建へと、その目的は進化してきている。

では、機能を考慮した再建手技を行うために必要なことは何であろうか。前述したように術後機能は切除範囲で決定されるために、最初に切除範囲を詳細に分類することが必要となる。次に、過去の症例の術後機能評価に基づき再建の必要性を判断する。不必要な再建手技は、患者にとって苦痛以外の何物でもない。そして再建が必要とされる場合に、最も適切な再建材料と移植手技の選択を行う。このステップにより、術後機能の維持を目指した新しい再建材料ならびに移植手技の開発が初めて可能になる (図2)。

実際に舌切除後の再建について例を挙げる。現在、われわれは舌の切除範囲を6型に分類している (図3)²⁾。舌の部分切除や可動部舌半切までの欠損であれば、再建をしなくても良好な機能が得られることが多い。しかし舌半切以上の欠損に関しては、必ず有茎皮弁術や遊離組織移植術による再建が必要となる。その際、残存舌尖を縫縮して新しい舌尖を作成し、生じた欠損に組織移植を行えば普通食の摂取や電話での会話が充分可能となる。可動部舌亜全摘に関しても、容量のある皮弁で再建すれば良好な機能が維持される。問題なのは舌亜全摘以上の欠損である。選択した

別刷請求先: 〒700-8558 岡山市鹿田町2-5-1

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科

形成再建外科

木股 敬裕

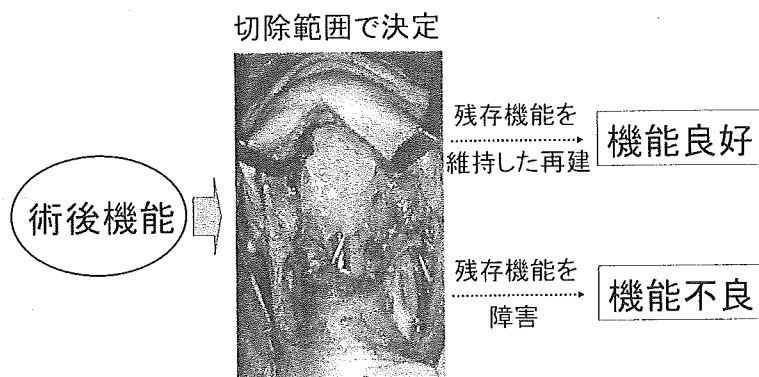


図1 術後機能は切除範囲で決定

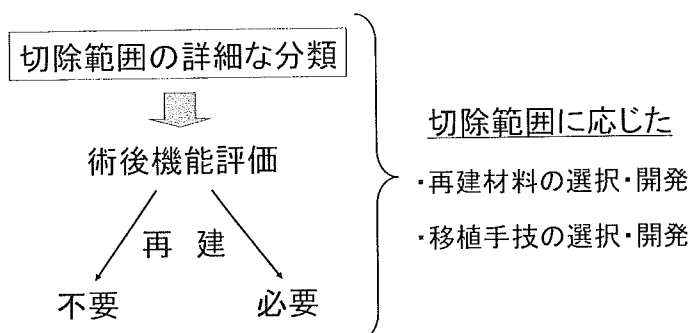


図2 機能を考慮した再建を行うためには

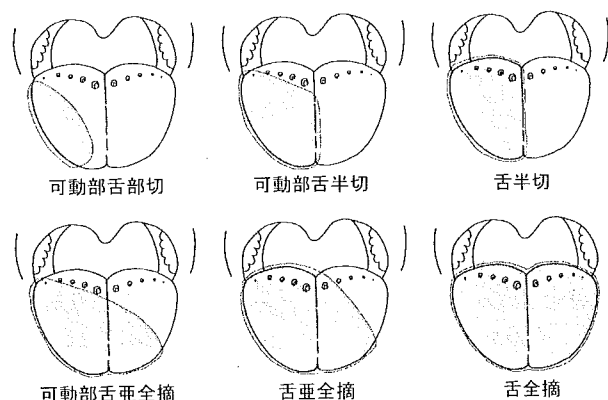


図3 舌切除範囲の分類(文献2から)

移植組織の容量の不足や、術後の喉頭の下垂を防止しないと、喉頭の温存が不可能になることもある(図4)³⁾。この解決法として、隆起型の再建舌を目指した皮弁移植法の改良、また喉頭下垂防止術などにより⁴⁾、喉頭の温存のみならず、従来の再建と比べ、より良い術後機能が維持されるようになる(図5)。現在、舌全摘術でも90%以上で喉頭の温存が可能と考えている。

これまでに、舌を代表として中咽頭上壁欠損、中咽頭上側壁欠損、中咽頭後壁欠損、中咽頭前壁欠損、下咽頭頸部食道欠損、下咽頭部分欠損において切除範囲を詳細に分類し、それに対して適切な再建材料と移植手技の開発を行ってきた⁵⁻⁸⁾。しかしながら、上顎欠損、頬粘膜欠損、下歯肉

欠損、口腔底欠損、口唇欠損などの課題が残っている。さらに、進行癌などにおいては欠損範囲が2領域にまたがる場合もあり、それらの複合型欠損に対する分類と再建手技の開発も課題である。同時に、機能温存を目指した再建の限界となる切除範囲を知ることが重要である。舌においては舌全摘に加えて喉頭蓋が合併切除された場合や、中咽頭が半分以上切除された場合は、喉頭の温存は不可能と考えている¹⁾。逆に言えば、この領域が再建外科医にとって更なる挑戦すべき分野となる。

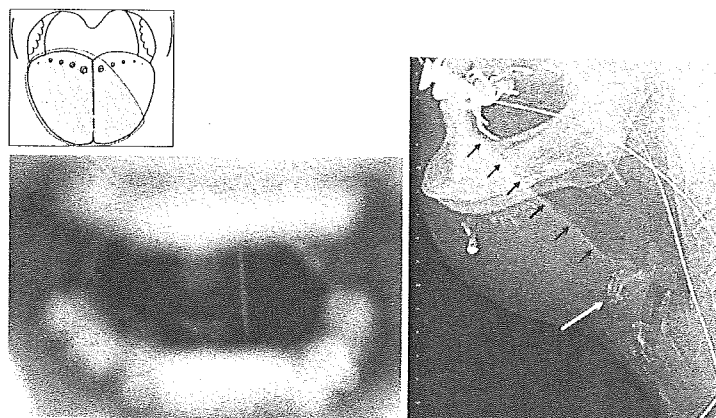


図4 舌再建後、機能不良症例

左：術後の口腔内写真。喉頭蓋が見える。右：X線側面像。喉頭の下垂と移植皮弁の容量不足により再建舌が著明に陥凹。移植皮弁のスロープ（短矢印）。舌骨（長矢印）。

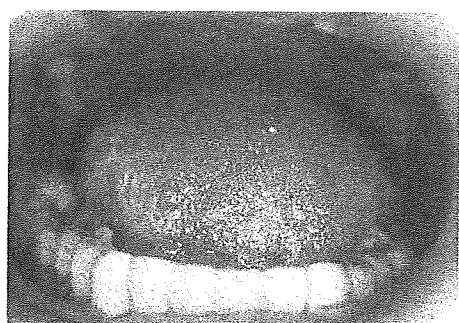


図5 舌亜全摘後の再建症例

58歳男性。左舌根が残る舌亜全摘。腹直筋皮弁で再建。再建舌は隆起型で、電話での会話が可能。

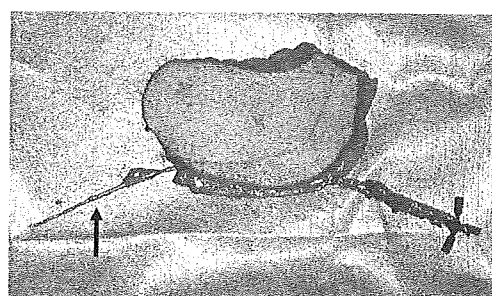


図6 知覚神経付き皮弁

前外側大腿皮弁に外側大腿皮神経の枝（矢印）を付けて挙上し、舌神経と縫合する。

III. より良好な機能を求めて

現段階では、残存組織の機能を維持する以上に、失われた機能を回復させる再建技術は非常に難しい。例えば、単一の筋肉を移植することによる動的な再建は可能である⁹⁾。しかし、舌を代表として口腔・咽頭領域に存在する数々の筋肉を同時に再建することは、手技が複雑になりすぎて実際の臨床への応用は困難と言えよう。では、知覚の再建は如何であろうか。筆者らは、舌再建の際に移植皮弁の知覚神経（図6）と舌神経の断端を縫合し、知覚が再獲得されることを確認してきた。正常には及ばないが、触圧覚、温痛覚などで通常の皮弁と比較して明らかに良好な回復を示した¹⁰⁾。更に、現在では下顎骨の再建に際し、腓骨皮弁に浅腓骨神経を付けて挙上し頤神経の再建を試みている。切除された組織の機能を取り戻すことは、より良い術後機能の獲得を意味しており、形成外科医にとって最も新しい手技の開発が望まれる領域と考えられる。

IV. 形成外科の役割

さて、頭頸部再建における形成外科の役割は大きく3つあると考えている。前述した術後機能を維持した再建手技

の選択・開発、移植材料採取部の犠牲を最小限するなどの、低侵襲の再建手技の選択・開発¹¹⁾、そして、術後合併症を最小限に抑えた標準的な再建手技の確立である。最後の役割はこれまであまり脚光を浴びてきていない点であるが、実は予後不良な再建患者にとっては大きな問題となっている。

術後合併症に代表されるのが局所合併症（定義は確立されていない）である。創部における膿瘍形成だけでなく、口腔から頸部へ交通（瘻孔）が形成されると、感染が頸部の移植血管（図7）や内頸動脈などに波及し、緊急手術や最悪の場合は大血管の破綻などを引き起こす場合がある。また、骨再建で金属プレートを使用した際に膿瘍を形成するとプレートが露出することがある（図8）。舌再建の症例では、通常1週間程度で創部は閉鎖する。しかし、膿瘍または瘻孔を形成すると最初の手術日から創部が完全閉鎖するまでにかかる日数は、中央値でそれぞれ25.5日、36日と延長する。更に、骨切除が加わると50日にまで及び、中には300日を経ても創部が閉鎖しない状況の患者も出てくる（図8）。口腔・咽頭領域の再建患者の5年生存率は、おおよそ40%弱であることを考えると、術後合併症により経口開始時期が遅れ、入院期間が延長することは非常に



図 7 瘻孔による血管の破綻
瘻孔形成により唾液が創部に入り感染を引き起
こす。その結果、移植皮弁の血管が破綻し（矢
印）出血。緊急手術により救済した。

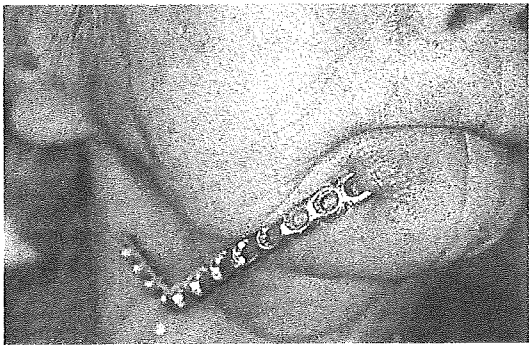
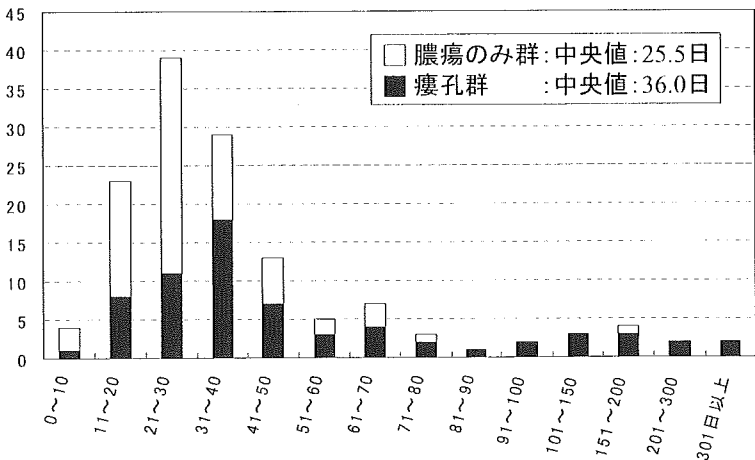


図 8 感染による再建プレートの露出



膿瘍・瘻孔の創部治癒期間
(再建手術日からの治癒日数、舌再建137例より)

図 9 膿瘍・瘻孔形成時の創部治癒日数
創部治癒日数とは、再建手術日から創部が治癒するまでに要した日数（舌再建 137 症例を分析）。膿瘍のみを形成した場合の中央値は 25.5 日。瘻孔形成時は 36 日。

合併症へつながる誘因、原因		
術 前	術 中	術 後
1) 局所の状態 口腔内の不衛生状態 全治療の有無：RT、CT、 手術歴など	1) 長時間手術（出血量、侵襲度） 2) 血行の不安定な組織の移植 3) 血行の不安定な残存組織の温存 4) 血流の不安定な吻合血管の選択 5) 長い阻血時間 6) 組織の血流を悪くする縫着方法 7) 死腔の存在 8) 感染を起こしやすい糸の選択 9) 不用意なドレーンの種類、位置 10) 不十分な止血 11) 全身管理	1) 移植組織の壊死：全壊死、部分壊死、辺縁壊死 2) 口腔内粘膜などの温存した 3) 不用意な抗生物質の使用組織の壊死 4) 創部の安静が保てない 5) 不十分な全身状態の管理
2) 全身の状態 DM、ASO、肝機能障害、 心機能障害 脳梗塞、 静脈血栓症など		

図 10 局所合併症を引き起こす誘因・原因
誘因・原因は手術中のみならず、術前後にも考えられる。

つらい状況に患者を追い込むことになる。また医療経済的にも大きな問題である。

口腔・咽頭領域は他の領域と異なり、創部が汚染される可能性が高いために術後の合併症を引き起こしやすい。しかも、一度起こると、治療側にとっても患者側にとっても厳しい状況になる。これらの現状を調査すること、そして対策を練ることも今後の課題であろう。術後合併症の誘因・要因は術中のみならず、術前、術後にもいくつか存在し枚挙に暇がない（図9）。形成外科というと、手術のみに関与すると考えられていることが多い。しかし、頭頸部再建においては、術前・術中・術後の管理にも積極的に関わり、チーム医療として合併症を減らしていく試みが必要と考える¹²⁾。また、機能を考慮する再建が必要である限りは、術後の機能も十分に評価し次の患者につなげて行くことも形成外科の重要な役割である。

V. さいごに

頭頸部再建における形成外科の役割は、術後機能を維持した再建手技の選択・開発。移植材料採取部の犠牲を最小限にした再建手技の選択・開発、そして、術後合併症を最小限に抑えた標準的な再建手技の確立である。そしてこれらは、頭頸部疾患を扱う医師のみならず Co-medical の方々との円滑なチーム医療があってこそ今後さらに発展できる分野と考えている。

本論分の要旨は第29回日本頭頸部癌学会（2005年、於東京）にて発表した。

引用文献

- 1) Kimata Y. Uchiyama K. et al: Postoperative complications and functional results after total glossectomy with microvascular reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 106 : 1028-1035, 2000.
- 2) 木股敬裕：舌・口腔・咽頭再建。加我君孝，小宗静男，小林俊充編集，先端医療シリーズ36（耳鼻咽喉科・頭頸部外科学の最新医療），2005，先端医療技術研究所，東京，印刷中。
- 3) Kimata Y. Sakuraba M. et al: Analysis of the relationships between the shape of the reconstructed tongue and postoperative functions after subtotal or total glossectomy. *Laryngoscope* 113 : 905-909, 2003.
- 4) 木股敬裕，内山清貴 他：頭頸部領域の再建—口腔・中咽頭。雑誌形成外科 44 : 841-851, 2001.
- 5) Kimata Y. Uchiyama K. et al: Velopharyngeal function after microsurgical reconstruction of lateral and superior oropharyngeal defects. *Laryngoscope* 112 : 1037-1042, 2002.
- 6) 木股敬裕，桜庭 実 他：中咽頭前壁癌における切除範囲，再建方法における術後機能評価。頭頸部腫瘍 29 : 1-8, 2003.
- 7) Kimata Y. Uchiyama K. et al: Simple reconstruction of large pharyngeal defects with free jejunal transfer. *Laryngoscope* 110 : 1230-1233, 2000.
- 8) 海老原敏，波利井清紀 他：下咽頭部分切除と誤嚥防止。JOHNS 15 : 1227-1229, 1999.
- 9) Haughey BH.: Tongue reconstruction: Concepts and practice. *Laryngoscope* 103 : 1132-1141, 1993.
- 10) Kimata Y. Uchiyama K. et al: Comparison of innervated and noninnervated free flaps in oral reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 104 : 1307-1313, 1999.
- 11) 内山清貴，木股敬裕 他：低侵襲を目指した頭頸部再建，頭頸部腫瘍 28 : 525-530, 2002.
- 12) 伊藤裕之，佐藤房雄 他：耳鼻咽喉科から見た嚥下障害のチーム医療，ENTONI 9 : 50-55, 2002.

ROLE OF RECONSTRUCTIVE SURGERY FOR HEAD AND NECK CANCER

Yoshihiro KIMATA¹⁾, Yuzaburo NAMBA¹⁾, Tetuya TUTUI¹⁾,
Narushi SUGIYAMA¹⁾, Eijiro TOKUYAMA¹⁾, Minoru SAKURABA²⁾,
Ryuichi HAYASHI²⁾, and Satoshi EBIHARA²⁾

¹⁾ Division of Plastic and Reconstructive Surgery, Okayama University Graduate School of Medicine,
Dentistry and Pharmaceutical Sciences

²⁾ Divisions of Plastic and Reconstructive Surgery, and of Head and Neck Surgery,
National Cancer Center Hospital East

The role of reconstructive surgery in the management of head and neck tumors involves three points: (1) Development of reconstructive procedures to maintain the postoperative swallowing and speech functions. (2) Decreasing the degree of surgical invasiveness and donor-site morbidity. (3) Minimizing early postoperative complications that may prolong hospitalization and become life-threatening. Furthermore, surgeons should always consider the prognosis when selecting reconstructive methods for patients who have undergone resection of a head and neck tumor, because the survival rate of these patients is generally low.

In this paper we report our views on reconstructive procedures to maintain the postoperative functions and discuss several problems and difficulties that must still be resolved.

特集 前外側大腿皮弁の徹底討論

前外側大腿皮弁の開発の歴史

光嶋 勲* 緒方 英* 茂木精一郎* 長瀬 敬*
権太浩一* 朝戸裕貴* 吉村浩太郎*

Key words: 前外側大腿皮弁 穿通枝皮弁 外側大腿回旋動脈

はじめに

前外側大腿皮弁 (anterolateral thigh flap 以下, ALT 皮弁と略す) は 1984 年に, Song ら¹⁾によって報告された。外側大腿回旋動脈下行枝から分岐する筋間中隔穿通枝皮弁を前大腿皮弁とし, 特に, 大腿直筋外側の筋間中隔よりの穿通枝による皮弁を ALT 皮弁, 大腿直筋の内側と縫工筋の間の筋間中隔よりの穿通枝を利用した皮弁を前内側大腿皮弁 (anteromedial thigh flap; AMT flap) として報告した。臨床例は頸部瘢痕拘縮例で ALT 皮弁を応用している。また, 彼らは同時に深大腿動脈から大腿後面に穿通する数本の穿通枝の存在を示し, 後大腿皮弁についても詳説している。その前年 (1983 年), 当時ニューヨークにいた Baek (その後, ソウルに帰国) は大腿直筋と縫工筋の間の筋間中隔からの穿通枝皮弁 (内側大腿皮弁) の解剖と臨床応用を報告している²⁾。しかし, その後の海外からの追加報告はほとんどされていなかった。

わが国では, 1985 年 4 月の形成外科学会総会において, 筆頭著者ら³⁾と梶山ら⁴⁾によってその有用性が報告された。Song ら¹⁾は, 本皮弁を外側下行枝から派生する筋間中隔穿通枝皮弁として報告していた。しかしその

後, 筋間中隔穿通枝の型をとるものは比較的に少なく, 外側広筋の筋内穿通枝であったり, その穿通枝の走行位置がかなり末梢の大腿中央部にある。外側大腿回旋動脈の下行枝から分岐した穿通枝が筋間中隔を穿通するものが多いことが判明した^{5)~8)}。また, 外側下行枝が欠損する例では, 内側下行枝からの穿通枝が内側の筋間中隔を穿通し, 前内側大腿皮弁に変更する必要があるといった解剖学的変異が多いことが報告された^{5)~8)}。

このように, それまでの遊離 (筋) 皮弁と異なり本皮弁の穿通枝は解剖学的な変異が多く, 皮弁挙上に際しても筋肉内での血管剥離を要するため手技的にやや難しく, 90 年代後半までは広く使用されなかった。

その後, 大腿部は, 血管走行にバリエーションがあるものの, たくさんの皮弁の栄養血管があることがわかり, 本皮弁の安全性と有用性が広く認められ, 最近では海外でも広く使用される皮弁となっている。

I ALT 皮弁の開発の歴史

ALT 皮弁は, 腹壁の広範囲欠損の再建に非常に有用である。その理由として, 非常に強靱な大腿筋膜を用いることにより腹壁欠損による腸管の脱出が予防できることが挙げられる。また, 腹壁から会陰部にかけての広範囲再建にも使われている。1986 年 Koshima

* 東京大学医学部形成外科

ら⁹⁾¹⁰⁾は巨大な睾丸腫瘍切除後の会陰部欠損創を島状の ALT 筋膜皮弁を用いて被覆し、腹壁癒痕ヘルニアを前内側大腿筋膜皮弁で再建した。1988 年 Hayashi ら¹¹⁾も腫瘍摘出後の鼠径部欠損の再建例を述べた。

1980 年代中頃、頭頸部再建例においては、腫瘍を切除した後に皮弁の挙上移植がなされており、特に複合型移植の例（肩甲骨皮弁移植など）では、腫瘍切除を行った後に体位変換が必要となるため、手術終了までに長時間を要していた。ALT 皮弁は頭頸部からの距離が離れているため、体位変換することなく、腫瘍切除と同時に皮弁を挙上することが可能であり、手術時間を短縮できた¹²⁾¹³⁾。その後、頭頸部再建において ALT 皮弁のさまざまな臨床応用が生まれた。

1989 年 Koshima ら¹²⁾は下顎部全層欠損症例に対して血管柄付き腸骨移植片を加えた ALT 皮弁再建を報告した。その後、頭頸部再建における本皮弁の有用性¹³⁾と一期的に除脂肪術を加え、薄くした ALT 皮弁 (free thin ALT flap) の有用性を強調した¹³⁾。Kimura ら¹⁴⁾¹⁵⁾は、顕微鏡下で直視下に micro-dissection を行い、皮弁内の axial vessels を温存しながら脂肪をトリミングして thinning しており、さらに確実でかつ安全な皮弁挙上法を開発した。

1993 年、頭頸部の広範な骨軟部組織欠損例に対して、本皮弁による三次元的な形態と機能の動的再建を目的としたキメラ型合併組織移植術 (chimera flap)¹⁶⁾が初めて報告された。たとえば、下顎欠損を伴った口腔底からおとがい部にかけての大きな軟部組織の再建に対して、ALT 皮弁に血管付きの腓骨や腸骨といった血管柄付き骨移植を合併させたり、栄養血管を外側大腿回旋動脈系の筋枝に吻合するといったさまざまな方法が生まれてきた。これらの方法は、陳旧例で、吻合する血管が 1 本しか存在しないような症例に有用であった。これを応用して、Koshima ら¹⁷⁾、

Ao ら¹⁸⁾は、下顎の全層欠損創に対して ALT 皮弁に血管柄付き腓骨移植片を加えたキメラ型合併組織移植再建の報告を行った。Wei ら¹⁹⁾も下顎部全層欠損の再建材料としてのキメラ型骨皮弁の有効性を報告している。このような利点により、頭頸部再建の皮弁の選択肢として、腹直筋皮弁や前腕皮弁に勝るとも劣らない皮弁となっていった^{20)~23)}。

1990 年代になると、頭頸部だけでなく、上腕、または下腿から足の皮膚欠損の再建に対しても本皮弁が有用であることが報告され始めた。その理由としては、外側大腿回旋動脈の下行枝は極めて長く、flow-through 型として 20 cm 採取でき、橈骨動脈に匹敵する太さがあることが挙げられる。この下行枝を用いれば、主要な動静脈が失われた四肢の広範囲の軟部組織欠損に対して、血行再建を伴う軟部組織の再建が可能である。現在では、四肢の神経、血管の欠損を伴った広範囲の軟部組織の欠損に対して、この flow-through 型の ALT 皮弁が極めて重要な再建材料となっている²⁴⁾。また、最近ではこの ALT 皮弁の穿通枝が外側大腿皮神経を栄養することがわかり、外側大腿皮神経を血管柄付き神経移植に用いることが可能になった。これは、採皮部の犠牲が少ない神経移植である。また、下行枝に併走する外側広筋の運動神経である大腿神経を用いれば、四肢の 20 cm 程度の長い神経欠損に対しても血管柄付き神経移植による再建が可能である²⁵⁾。さらに、ALT 皮弁に大腿筋膜を含めることによって、血管柄付き筋膜移植が可能となった。最近では、特に、上肢の伸筋腱や屈筋腱の欠損を伴う広範囲の皮膚欠損で、主要な動静脈や神経の欠損を伴う、これまでの方法では機能の再建が困難な症例に対して、血管柄付き筋膜を用いた動的再建も可能になった。また、ALT 皮弁に大腿直筋を合併させれば、筋肉欠損に対しても機能的な動的再建が可能である。たとえば、上腕二頭筋の欠損²⁴⁾や、

顔面の筋肉を含んだ全層欠損の再建材料として利用できる。

最近では、Sasaki ら²⁶⁾ と Kimata ら²⁷⁾ は、本皮弁を用いた腹壁の広範な欠損再建例を報告している。Luo ら²⁸⁾ も会陰部再建に有用であることを報告した。最近では、ALT 皮弁を用いて、従来前腕皮弁で行われていた陰茎と尿道の再建が行われ始めている²⁹⁾。下行枝が十分に長ければ島状皮弁で陰茎と尿道の再建が可能であるが、下行枝が短い場合は遊離皮弁として血管吻合を要する。その際に、外側大腿皮神経を知覚神経として陰茎背部の神経に吻合すれば、知覚の再建も可能となる。

II 遊離 ALT 皮弁の新しい展開

従来の ALT flap は、下行枝を大腿直筋の栄養血管が分岐する中枢レベルまで長く (15~20 cm) 剥離していた。その結果われわれの経験では、特に高齢者において、大腿直筋の栄養血管を切断して大腿直筋が壊死した症例が見られた。四肢の再建例では、穿通枝が分岐する部の下行枝を数 cm のみ採取し、採取部の下行枝をほとんど温存し、かつ flow-through 型で移植すれば、採取部の動脈も温存できる。著者らは、これを短茎型 ALT flap と命名した (2004 年)³⁰⁾。従来の長い下行枝を茎とするものは長茎型 ALT flap と名付け、短茎型と区別している³⁰⁾。

さらに穿通枝の径が 1 mm 前後で比較的太く、recipient vessel が皮膚欠損部近くにあれば、recipient vessel を筋膜レベルで切断し、皮弁の穿通枝と吻合することができる。これが true perforator flap³⁰⁾³¹⁾、あるいは perforator-to-perforator flap であり、長茎型遊離皮弁よりさらに手術侵襲が少なく、短時間で皮弁挙上ができる利点がある。また、遊離大腿筋膜張筋穿通枝皮弁 free tensor fasciae lata perforator (TFLP) flap³²⁾ も

報告されている。

ALT 皮弁はすでに欧米においても多くの臨床応用がなされている。その背景として、欧米では近年、ALT 皮弁、DIEP 皮弁、GAP 皮弁、TAP 皮弁などの穿通枝皮弁の国際的な普及とさらなる発展を目的として、1997 年 6 月 11~14 日、live surgery を中心とした第 1 回「穿通皮弁と静脈皮弁に関する講習会」がベルギー・ゲント大学において開催された。この時、著者が ALT 皮弁による下腿潰瘍の再建術を行った。第 2 回穿通枝皮弁講習会は 1998 年 11 月ニューオーリンズ (100 名) で開催された。第 3 回ミュンヘン (1999 年, 300 名)、第 4 回グラスゴー (2000 年, 50 名)、第 5 回ゲント (2001 年, 200 名)、第 6 回台北 (2002 年 10 月)、第 7 回ロンドン (2003 年 10 月)、第 8 回サンパウロ (2004 年 9 月)、第 9 回バルセロナ (2005 年 10 月) で開催され、毎回、ALT 皮弁を用いた頭頸部・四肢の再建例が複数例供覧され続けている。その効果もあり、最近ではアメリカでもアンダーソン癌センター、シカゴ大学などで本皮弁による頭頸部再建がなされている³³⁾。

このように、ALT 皮弁は、腹壁の広範囲欠損の再建から始まり、頭頸部、下肢再建、さらに最近では上肢、陰茎の再建に至るまで、ますますその重要性が認識されつつある。今後の皮弁移植は、低侵襲かつ局所麻酔下での手術が増えるであろう。ALT 皮弁はその先駆的な皮弁として新しい再建方法を提供するものと確信している。

まとめ

ALT 皮弁が発表されてからこれまでの開発の歴史について述べた。

本皮弁は今後も頭頸部と四肢の再建術に有用な皮弁としてさらなる応用の可能性がある。

引用文献

- 1) Song YG, Chen GZ, Song YL: The free thigh flaps; A new free flap concept based on septocutaneous artery. *Br J Plast Surg* 37: 149-159, 1984
- 2) Baek SM: Two new cutaneous free flaps; The medial and lateral thigh flaps. *Plast Reconstr Surg* 71: 354-363, 1983
- 3) 光嶋勲, 遠藤隆志, 内田彰子ほか: Free anterolateral thigh flap の経験. *日形会誌* 6: 260-267, 1986
- 4) 梶山研三, 川嶋孝雄: Free anterolateral thigh flap の経験. *形成外科* 29: 398-404, 1986
- 5) Xu DC, Zhong SZ, Kong JM, et al: Applied anatomy of the anterolateral femoral flap. *Plast Reconstr Surg* 82: 305-310, 1988
- 6) Koshima I, Fukuda H, Utsunomiya R, et al: The anterolateral thigh flap; Variations in its vascular pedicle. *Br J Plast Surg* 42: 260-262, 1989
- 7) Koshima I, Nakayama Y, Soeda S, et al: Anterior thigh flaps; Their septocutaneous arterial origin and versatility. *J Jpn Plast Reconstr Surg* 33: 1071-1079, 1990
- 8) Zhou G, Qiao Q, Chen GY, et al: Clinical experience and surgical anatomy of 32 free anterolateral thigh flap transplantations. *Br J Plast Surg* 44: 91-96, 1991
- 9) Koshima I, Tai T, Yamasaki M: One-stage reconstruction of the penis using an innervated radial forearm osteocutaneous flap. *Reconstr MicroSurg* 3: 19-24, 1986
- 10) Koshima I, Soeda S, Yamasaki M, et al: The free or pedicled anteromedial thigh flap. *Ann Plast Surg* 21: 480-485, 1988
- 11) Hayashi A, Maruyama Y: The use of the anteromedial thigh fasciocutaneous flap in the reconstruction of the lower abdomen and inguinal region; A report of two cases. *Br J Plast Surg* 41: 633-638, 1988
- 12) Koshima I, Fukuda H, Soeda S: Free combined anterolateral thigh flap and vascularized iliac bone graft with double vascular pedicle. *J Reconstr MicroSurg* 5: 55-61, 1989
- 13) Koshima I, Fukuda H, Yamamoto H, et al: Free anterolateral thigh flaps for reconstruction of head and neck defects. *Plast Reconstr Surg* 92: 421-428, 1993
- 14) Kimura N, Satoh K: Consideration of a thin flap as an entity and clinical application of the thin anterolateral thigh flap. *Plast Reconstr Surg* 97: 985-992, 1996
- 15) Kimura N, Satoh K, Hasumi T, et al: Clinical application of the free thin anterolateral thigh flap in 31 consecutive patients. *Plast Reconstr Surg* 108: 1197-1208, 2001
- 16) Koshima I, Yamamoto H, Hosoda M, et al: Free combined composite flaps using the lateral circumflex femoral system for repair of massive defects of the head and neck regions; An introduction to the chimeric flap principle. *Plast Reconstr Surg* 92: 411-420, 1993
- 17) Koshima I, Hosoda M, Inagawa K, et al: Free combined anterolateral thigh flap and vascularized fibula for wide through-and-through oromandibular defects. *Reconstr Microsurg* 14: 529-534, 1998
- 18) Ao M, Maeta M, Nakagawa F, et al: Combined anterolateral thigh flaps and vascularized fibular graft for reconstruction of massive composite oromandibular defects. *Br J Plast Surg* 51: 350-355, 1998
- 19) Wei FW, Celik N, Chen HC, et al: Combined anterolateral thigh flap and vascularized fibula osteocutaneous flap in reconstruction of extensive composite mandibular defects. *Plast Reconstr Surg* 109: 45-52, 2002
- 20) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Versatility of the free anterolateral thigh flap for reconstruction of head and neck defects. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 123: 1325-1331, 1997
- 21) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Anatomic variations and technical problems of the anterolateral thigh flap; A report of 74 cases. *Plast Reconstr Surg* 102: 1517-1523, 1998
- 22) Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, et al: Anterolateral thigh flap donor-site complications and morbidity. *Plast Reconstr Surg* 106: 584-589, 2000
- 23) Celik N, Wei FC, Lin CH, et al: Technique and strategy in anterolateral thigh perforator

- flap surgery based on an analysis of 15 complete and partial failures in 439 cases. *Plast Reconstr Surg* 109:2211-2216, 2002
- 24) Koshima I, Kawada S, Etoh H, et al: Flow-through anterior thigh flaps for one-stage reconstruction of soft-tissue defects and revascularization of ischemic extremities. *Plast Reconstr Surg* 95:252-260 1995
 - 25) Koshima I: Vascularized cross face nerve graft using lateral femoral cutaneous nerve. Presented in the Asian Pasific Plastic and Reconstructive Surgery (Mumbai, March 23, 2005)
 - 26) Sasaki K, Nozaki M, Nakazawa H, et al: Reconstruction of a large abdominal wall defect using combined free tensor fasciae latae musculocutaneous flap and anterolateral thigh flap. *Plast Reconstr Surg* 102:2244-2252, 1998
 - 27) Kimata Y, Uchiyama K, Sekido M, et al: Anterolateral thigh flap for abdominal reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 103:1191-1197, 1999
 - 28) Luo S, Raffoul W, Piagnet F, et al: Anterolateral thigh fasciocutaneous flap in the difficult perineogenital reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 105:171-173, 2000
 - 29) Koshima I: New penile reconstruction with ALT flap and superficial circumflex iliac artery perforator (SCIP) flap. Presented at the 8th International Course on Perforator Flaps. (Sao Paulo, September 6, 2004)
 - 30) Koshima I, Fujitsu M, Ushio S, et al: Flow-through anterior thigh flaps with a short pedicle for reconstruction of lower leg and foot defects. *Plast Reconstr Surg* 115:155-162, 2005
 - 31) Koshima I, Nanba Y, Tsutsui T, et al: New anterolateral thigh perforator flap with a short pedicle for reconstruction of defects in the upper extremities. *Ann Plast Surg* 51:30-36, 2003
 - 32) Koshima I, Urushibara K, Inagawa K, et al:

- Free tensor fasciae latae perforator flap for the reconstruction of defects in the extremities. *Plast Reconstr Surg* 107:1759-1765, 2001
- 33) Presented in the 2005 American Society of Reconstructive Microsurgery (Puerto Rico, January 15, 2005)

ABSTRACT

History of the Development of the Anterolateral Thigh Flap

Isao Koshima, MD, Ei Ogata, MD*,
Seiichiro Motegi, MD*, Takashi Nagase, MD*,
Koichi Gonda, MD*, Hirotaka Asado, MD*
and Kotaro Yoshimura, MD**

The anterolateral thigh flap (ALT flap) was first reported by Song et al. in 1984. This flap was not popular in the beginning because of anatomical variations and technical difficulty during pedicle perforator dissection. However, the ALT flap is historically significant for the following reasons. In the mid 1980s the authors discovered that an ALT flap without fascia had the same vascular territory as the ALT fasciocutaneous flap. Next, "perforator flaps" including the DIEP flap (1989), GAP flap (1993), and TAP flap (1995) were developed that provided the same clinical results as the ALT flap [Unclear. Is this the intended meaning?]. This flap is indicated for genital and abdominal reconstructions (1986), head and neck reconstructions (1993) with a chimeric combined flap with a single source vessel (ALT flap-vascularized fibula graft, 1993), a flow-through ALT flap for ischemic extremities (1996), vascularized femoral or lateral femoral cutaneous nerve graft with a ALT pedicle vessel (in press) for long nerve gaps, and penile reconstruction (in press).

**Department of Plastic and Reconstructive Surgery,
Graduate School of Medicine, University of Tokyo,
Tokyo 113-8655*

家兔肋骨骨膜付き広背筋弁と多孔性ハイドロキシアパタイトからなる血管柄付き人工骨内の骨形成に関する研究

平田 晶子^{1)*} 丸 山 優¹⁾
林 明 照¹⁾ 渋谷 和俊²⁾

¹⁾ 東邦大学医学部形成外科学講座

²⁾ 東邦大学医学部病院病理学講座

要約

目的：自家骨を用いない血管柄付き人工骨の開発を目的に，家兔を用いて血管柄付き骨膜と多孔性ハイドロキシアパタイト（PHA）からなる PHA 圧着肋骨骨膜付き広背筋弁モデルを作製し，PHA 内の骨新生について検討した。今回は本モデルの骨膜血行と PHA 気孔内の経時的な組織学的変化について検討した。

方法および結果：家兔肋骨骨膜は胸背動静脈と肋間動静脈の直接交通枝と，広背筋と骨膜間の微細吻合枝に栄養されることが観察された。骨膜圧着 PHA では，組織学的に気孔内に線維性結合組織の形成と経時的に進行する骨新生が観察されたが，広背筋圧着ブロックでは PHA 気孔内に新生骨形成は認めなかった。

結語：Living periosteum transfer の実験モデルの 1 つとして有用と思われた。血管柄付き骨膜弁と PHA の組み合わせで，自家骨を用いない新たな骨組織再建が可能であることが示唆された。

東邦医会誌 52(3・4)：212-219, 2005

索引用語：肋骨骨膜付き広背筋弁，多孔性ハイドロキシアパタイト，血管柄付き骨膜弁，血管柄付き人工骨，ハイブリッド型人工骨

自家骨移植，特に血管柄付き骨移植術は，悪性腫瘍切除後や外傷等に伴う骨欠損の再建法として有用である。しかし，補填すべき骨欠損が大きい場合や複雑な形状が要求される場合には，過大な手術侵襲をきたすため必要量の採取や加工が不可能である。近年，自家骨に代わる骨補填材として様々な人工材料が開発されている。ハイドロキシアパタイト（HA）は優れた生体親和性を持ち，代用骨としてすでに広く臨床応用されているが¹⁻⁴⁾，感染や強度の面で適応には限界があった。

われわれは新たな骨組織再建材料として，骨伝導能を有するとされる多孔性 HA（PHA）と骨再生能を持つ血管柄

付き骨膜に着目し，両者を組み合わせたハイブリッド型人工骨の研究，開発を行っている。本法の利点は，自家骨を犠牲にしないことであり，侵襲の程度は低いことである。血管柄付き骨膜弁では，骨芽細胞にも分化しうる未分化間葉系細胞の供給源となる骨膜に血液が持続的に供給されている⁵⁻⁹⁾。このため，人工素材単体を用いた場合と比較して，速やかな骨組織の形成が可能であり，血流が豊富なことから，感染の予防や放射線照射後の阻血部位への応用などが期待される。さらに必要な欠損の形状に加工した PHA を作製することが可能である。これらの点から，custom-made に適する自由度の高い再建素材と考えてい

1, 2) 〒143-8541 東京都大田区大森西 6-11-1
受付：2005 年 4 月 8 日，受理：2005 年 6 月 2 日
*Corresponding Author：tel：03 (3762) 4151
e-mail：akikohirat@yahoo.co.jp

東邦医学会雑誌 第 52 巻第 3・4 号，2005 年 7 月 1 日
ISSN 0040-8670, CODEN：TOIZAG

る。本研究では、家兎血管柄付き肋骨骨膜付き広背筋弁とPHAブロックを用いて、PHA気孔内の骨形成過程や骨膜圧着面とPHA気孔内新生骨組織相互の連続性や方向性について詳細な検討を行い、若干の考察を加え報告する。

実験材料および方法

1. 実験動物および麻酔方法

同一環境で飼育した日本白色家兎（体重約3 kg, 雄性）を用いた。飼育中に創部感染を合併したり自傷したりした個体を除外した。麻酔は、耳介静脈からペントバルビタールナトリウム注射液（ネンブタール注射液、大日本製薬）25 mg/kgを静注して導入し、エーテル吸入麻酔で維持を行った。全実験期間を通じて東邦大学動物実験規約を遵守し、動物愛護に努めた。

2. 家兎肋骨付き広背筋弁における肋骨骨膜血行の観察

15羽を用い、右側臥位で左前肢から腰部まで剃毛した。胸背動静脈が広背筋下に現れる部位（肩甲骨と前肢後縁の交差部）を標識し、これを頭側端として尾側方向へ約10 cmの横切開を加え、広背筋前面を露出した（Photo 1a）。次に第8-10肋骨を含む肋骨付き広背筋弁を挙上し、有茎骨付き筋弁の状態で胸背動脈と肋間動脈の走行および両者間の吻合について肉眼およびルーペで観察を行った（Photo 1b）。

3. PHA圧着肋骨骨膜付き広背筋弁モデルの作成

肩甲骨と前肢後縁の交差部を基部に含めた約4×9 cmの矩形弁をデザインし（Photo 2a）、第8-11肋骨骨膜付き広背筋皮弁を挙上した（Photo 2b）。骨膜は肋骨の上縁ならびに下縁に沿ってメスを用いて割を入れ、肋間動静脈を含めずに肋骨から剥離し広背筋裏面に付着させて挙上した。これにより幅5 mm（第8, 9肋骨）-3 mm（第10, 11肋骨）、長さ25-30 mmの骨膜弁が得られたが、第10, 11肋骨はねじれが強いため損傷を回避した骨膜の採取が困難であり、今回の実験では用いなかった。滅菌した8×4×2 mmの気孔率50%のPHAブロック（アバセラム[®], PENTAX）を第8, 9肋骨骨膜面（カンビウム層側）および広背筋裏面に5-0ナイロン糸で圧着して縫着した。使用したPHA（アバセラム[®]）は、直径100-500 μ mの大気孔を直径数 μ mの小気孔が連通する構造になっている。下床の肋骨、肋間筋などからの影響を遮断するため、広背筋弁採取部の剥離面にシリコンフィルム（Opsite[®], Smith & Nephew, USA）を縫着固定した後、筋層、皮膚の2層で閉創した（Photo 2c）。

15羽を用い、1羽につき骨膜および筋肉面に2個ずつ計4個のPHAブロックを縫着して圧着し、術後4, 8, 12週にそれぞれ5羽ずつから静脈麻酔後、PHAブロックを摘出した。

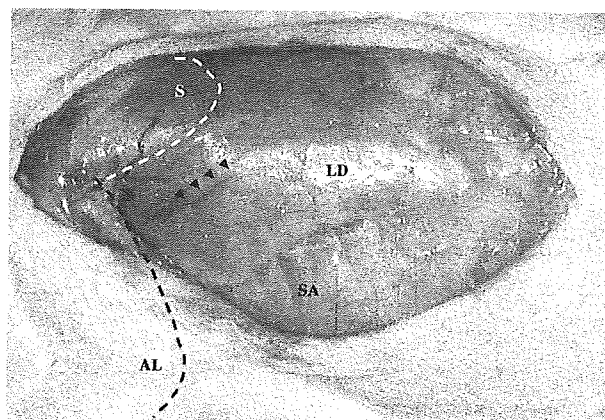


Photo 1a External appearance of latissimus dorsi. Thoracodorsal vessels are shown emanating from the cross point (*) of scapula and posterior rim of forefoot. ▲ : Thoracodorsal vessels, LD : Latissimus dorsi muscle, SA : Serratus anterior muscle, S : Scapula, AL : Anterior leg

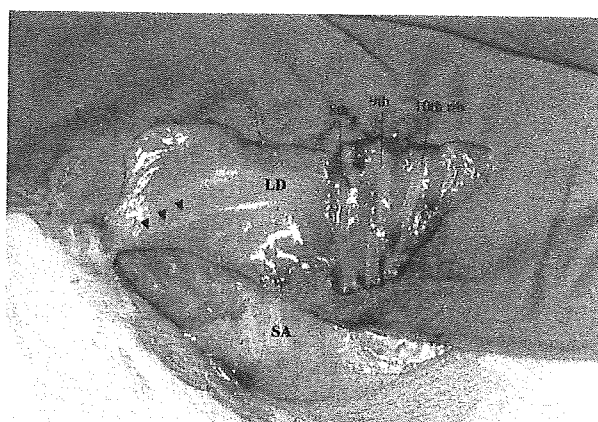


Photo 1b Rib-latissimus dorsi flap. Rib-latissimus dorsi flap was elevated and turned inside out. Thoracodorsal vessels (▲) are shown at back of the latissimus dorsi muscle.

4. 病理組織学的検討

Villanueva bone stainで非脱灰骨標本作製、普通光と蛍光で組織学的に検討した。プレバラーの作製は高橋¹⁰⁾の方法に従い、以下の要領で行った。摘出直後より検体を、Villanueva bone stain solutionで7日間固定・染色後、エタノールで脱水・脱脂した後、エタノールをアセトンと置換処理する。これを methyl methacrylate monomer, methyl methacrylate semimer, polymer resinで包埋処理し、薄切機でブロックから100-150 μ mの切片を切り出し、さらに耐水研磨紙法で厚さ10 μ mまで研磨し、この標本を光学顕微鏡検鏡下で観察した¹⁰⁾。

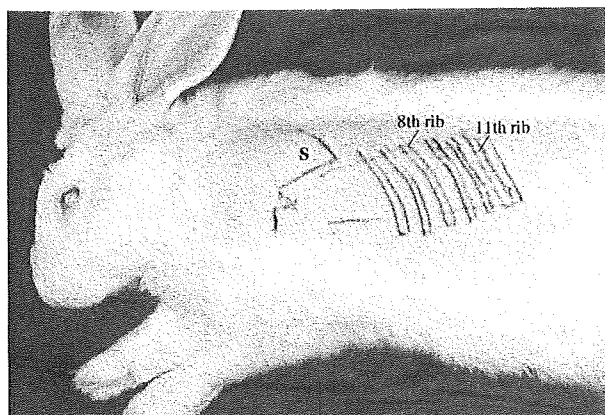


Photo 2a Design of rib-latissimus dorsi musculo-periosteal flap.
S: Scapula

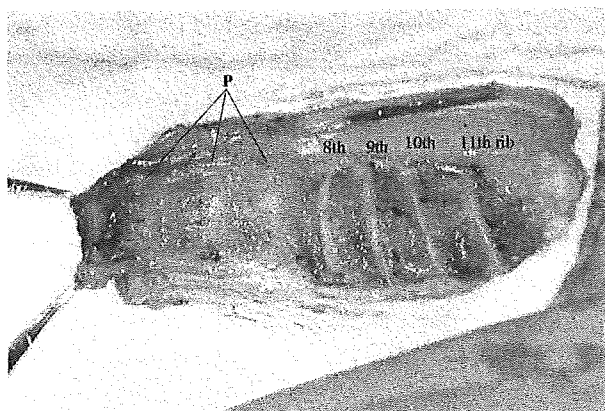


Photo 2b Rib-latissimus dorsi periosteal-muscle flap was elevated and turned inside out.
P: Periosteum

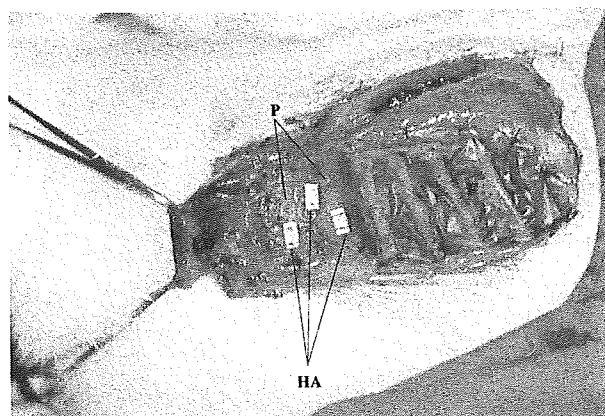


Photo 2c Hydroxyapatite blocks with flap attachment.
Hydroxyapatite blocks (HA) are attached to periosteum (P) or to muscle of the flap.
LD: Latissimus dorsi, F: Film

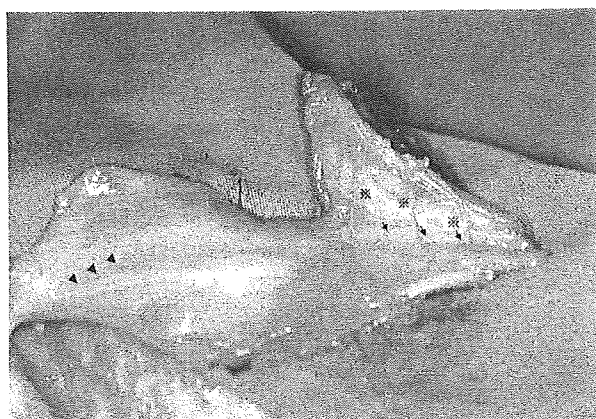


Photo 3a Communication between thoracodorsal vessels and intracostal vessels. Anastomosis of these vessels can be seen upon rib elevation at the stage of Photo 1b, as the rib-latissimus dorsi flap is turned inside out. The branches of the 8th, 9th and 10th intracostal arteries (*) flow into the thoracodorsal artery ($\blacktriangle$) on the underside of latissimus dorsi. Another branch (→) can be seen from the thoracodorsal artery to periosteum on this side.

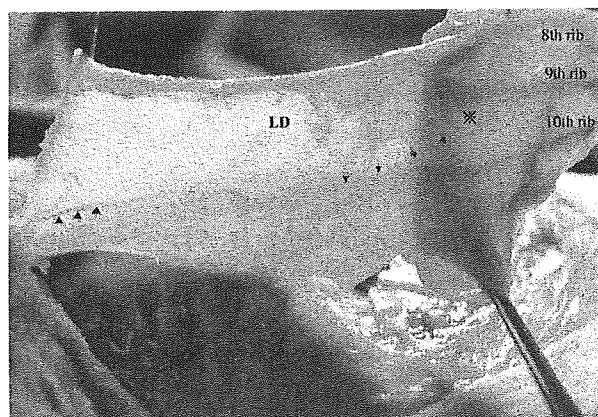


Photo 3b Openwork of rib-latissimus dorsi flap.
Anastomosis (→) between branches of thoracodorsal vessels ($\blacktriangle$) and intracostal vessels (*) can be seen.

結 果

1. 家兔肋骨付き広背筋弁の血管走行

胸背動静脈は肩甲骨と前肢後縁の交差部で広背筋停止部付近の裏面に至り、そこから主要枝がほぼ直線状に尾側方向へ走行し、途中で筋肉内へ入る多数の分枝を出した後、数本の終末枝に分かれていた。これらは下位肋間動静脈からの分枝と直接吻合し、肋骨部では骨膜上を走行していた。広背筋裏面と第8以下の下位肋骨骨膜は直接あるいは疎性

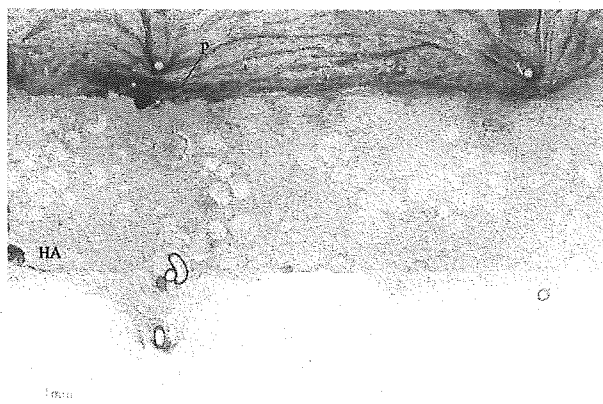


Photo 4a Pores of PHA with attached periosteum 4 weeks after implantation. The pores are filled with scarce fibrous tissue (Villanueva bone stain, $\times 20$).
HA : Hydroxyapatite, P : Periosteum

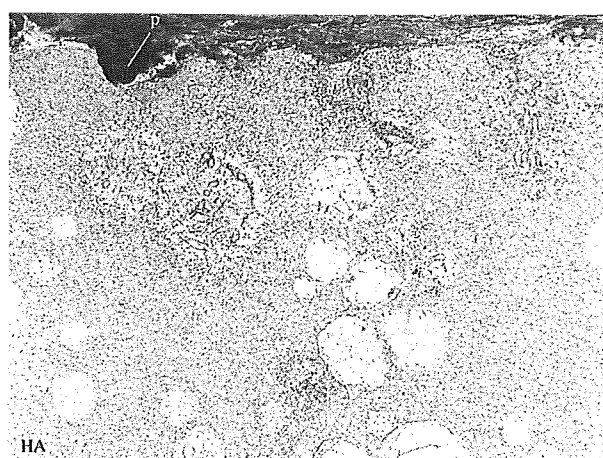


Photo 4b Pores of PHA are filled with loose fibrous tissue (Villanueva bone stain, $\times 100$).
HA : Hydroxyapatite, P : Periosteum

結合組織を介して接しており、その間に微細な動静脈吻合枝が観察された。すなわち家兔肋骨付き広背筋弁では、胸背動静脈と肋間動静脈の直接交通枝から肋骨骨膜に分布するもの、および広背筋と肋骨骨膜との接着面で広背筋から供給される微細吻合枝の二者が periosteal circulation を形成し、これにより肋骨が栄養されていることが観察された (Photo 3a, b)。

2. 病理組織学的所見

肋骨骨膜圧着 PHA では、4 週目において気孔内に疎な線維性結合組織が認められたが (Photo 4a, b)、骨形成は認めなかった。8 週目では、PHA ブロック骨膜圧着面のごく一部に新生骨形成を認めた。気孔内の線維性結合組織の増生は顕著となり、一部に類骨、石灰化骨が混在した島状



Photo 5 Pores of PHA with attached periosteum 8 weeks after implantation. The pores are filled with dense fibrous tissue, and induced bone islets are shown in some pores. Distance from periosteum to the pore, in which bone formation is evident, reached 0.5 mm (Villanueva bonestain, $\times 20$).
NB : new bone

の新生骨形成が観察された (Photo 5)。12 週目では新生骨形成はさらに進行し、気孔内には線維性結合組織が充満し、石灰化骨が線維性結合組織を取り囲むように気孔壁に沿って観察された (Photo 6a, b)。強拡大では骨細胞および類骨、石灰化骨などが観察された (Photo 7)。骨膜圧着面から新生骨形成を認めた気孔までの距離は、8 週で最長 0.52 mm、12 週で最長 1.36 mm であり、経時的に新生骨形成が進行している様子が観察された。なお、いずれの検体においても、シリコンフィルムで遮断した下床組織から PHA に連続する膠原線維や新生骨形成は認められなかった。

一方、広背筋に圧着した PHA では、4, 8, 12 週目のいずれの検体においても PHA 気孔内に線維性結合組織の形成はみるものの、新生骨形成は認められなかった (Photo 8a, b)。

考 察

1. 家兔肋骨骨膜付き広背筋弁の骨膜の血管走行

ヒトにおける肋骨付き広背筋皮弁は、硬組織再建に広く臨床応用されている^{11, 12)}。この筋皮弁では、胸背動静脈と肋間動静脈の直接吻合枝および広背筋と肋骨骨膜間の微細吻合枝が periosteal circulation を形成し、肋骨を栄養している¹³⁾。家兔にも胸背動静脈と肋間動静脈の直接交通枝が存在し^{14, 15)}、われわれの家兔肋骨付き広背筋弁での観察結果から、肋骨前面部の骨膜は、胸背動静脈と肋間動静脈の直接吻合枝および広背筋から骨膜への微細吻合枝に栄養されており、家兔においてもヒトと同様な periosteal circulation が形成されていることが推測された。家兔肋骨骨膜付き広背筋弁は、血管柄付き骨膜弁のモ



Photo 6a Pores of PHA with attached periosteum 12 weeks after implantation. Gradual progression of bone formation (Villanueva bone stain, $\times 20$).

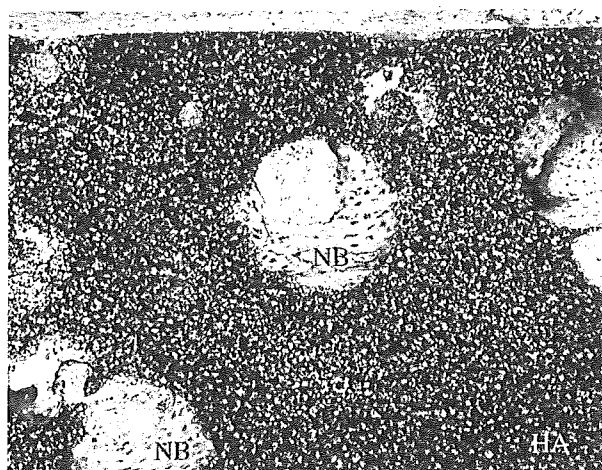


Photo 6b Bone formation is evident in outlying the pores (Villanueva bone stain, $\times 100$).
HA: Hydroxyapatite, NB: New bone



Photo 7 PHA pores with attached periosteum 12 weeks after implantation. Fibrous tissue filling the pores is encompassed by sloughing bone; Osteoid ($\rightarrow$) and mineralized bone (light brown) are connected by the interporous canal (Villanueva bone stain, $\times 200$).

ウム層は、間葉系幹細胞や骨芽細胞の供給源と考えることができる。肋間動静脈を茎とする血管柄付き肋骨骨膜弁の骨形成能は、4-6週で元の肋骨と同径になり、形成された新生骨は組織学的に層板構造を示す石灰化骨であると報告されている^{16,17)}。臨床応用を考慮した場合、骨膜単独では欠損に応じて必要とされる骨組織の量や形態が正確に再現されるわけではなく、強度に関する問題も挙げられ、形態を維持するための何らかの足場が必要となってくる。今回用いたPHAは、3次元の多孔質連通性構造体であり、良好な細胞接着性に加えて、細胞を立体的に配置し、十分な酸素や栄養の供給路を確保できるため、足場としての条件を満たす素材となりうる。PHAの物理的強度や気孔内への骨形成に関与する因子としては、気孔率や気孔径、およびそれらの連通性の有無などが挙げられよう。PHA気孔内への新生骨形成には、気孔径は $100\mu\text{m}$ 以上が望ましいとされ^{1,20)}、強度的に十分かつ良好な気孔内の新生骨形成が認められる気孔率は、50-60%であると報告されている²⁾。

われわれの実験モデルは、血管柄付き骨膜弁として肋骨骨膜付き広背筋弁に足場材として選択したPHA（アパセラム[®]）を圧着させることで、人工的な骨組織の再生を試みた。本法では、HAと新生骨を融合させたハイブリッド型の骨再生を目指した組織再生法の1つと考えることができる。結果としてPHA気孔内に4週目には線維性結合組織が形成され、8週目には線維性結合組織内に島状に類骨や石灰化骨が形成された。経時的に骨形成が進行し、12週後には気孔内の新生骨が類骨から石灰化骨へ成熟する像が観察された。今回の実験では、PHAブロックの一面に骨膜

デルになる。今回のように肋骨前面の骨膜のみを採取する方法は、術野が確保しやすく、肋間動静脈を採取しないことから手技が比較的容易であり、気胸や肺損傷など合併副損傷の危険性も低く、家兎の第8,9肋骨から幅4-5mm、長さ30mm程度の骨膜弁を採取することが可能である。同様の皮弁で肋間動静脈を含めれば骨膜弁の血行はより良いものとなると考えられるが、手技が複雑となり侵襲も大きくなる。また、他の血管柄付き骨膜弁として肋間動静脈を茎とする肋骨骨膜弁が挙げられるが^{16,17)}、われわれのモデルとの血管走行の違いによって予想される骨形成速度等の相違は興味深く、今後の検討課題としたい。

2. 血管柄付き肋骨骨膜弁とPHAによる骨再生の可能性

間葉系幹細胞は、骨皮質に密着している骨膜内層（カンビウム層）、骨内膜面、骨梁表層や中心管周囲に骨原性細胞として休止状態で存在することから^{18,19)}、骨膜カンビ

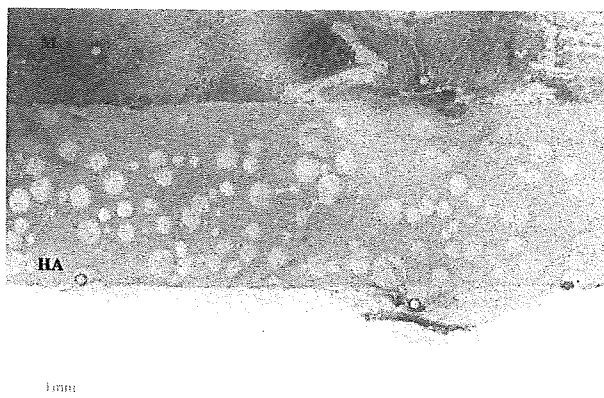


Photo 8a PHA pores with attached muscle 4 weeks after implantation. The pores are nearly empty (Villanueva bone stain, $\times 20$).
M: muscle

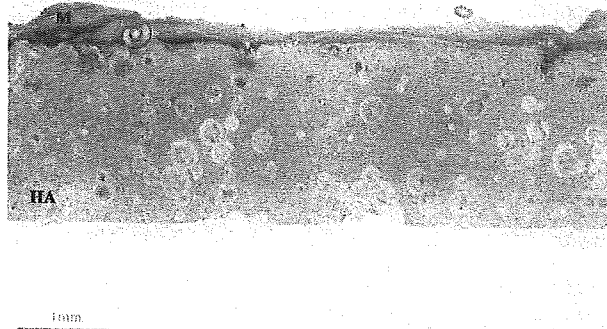


Photo 8b PHA pores with attached muscle 12 weeks after implantation. The pores are filled only with fibrous tissue; no bone formation is evident (Villanueva bone stain, $\times 20$).

を圧着し、対側面はシリコンシートで周囲組織と遮蔽したことにより、骨膜側から方向性を持って骨新生が進行していく様子が観察された。また、骨膜圧着面から新生骨の認められた気孔までの距離は、12週で最長 1.36 mm であった。家兎肋骨径が 1.5-2.5 mm であることを考慮すると、3 カ月で本来の肋骨の 3 分の 2 に近い厚さにまで骨形成が生じたことになる。実際には、肋骨全周が骨膜で被覆されていることから、骨量の定量的解析は今後の課題である。臨床応用に際しては、PHA ブロックを骨膜で全周性に包み込む方法がより確実で安全に骨新生が得られると推定される。

肋骨骨膜付き広背筋弁に圧着した PHA ブロックの気孔内に新生骨を認め、経時的に骨形成が進行していくことが

ら、本法による自家骨を用いない骨再生の可能性が示唆された。

新生骨の長期にわたる組織学的形態・動態観察と強度変化、さらに骨形成因子等との併用効果^{21, 22)}については、今後の研究課題である。

まとめ

自家骨を用いない血管柄付き人工骨の開発を目的に、家兎を用いて血管柄付き骨膜と多孔性ハイドロキシアパタイトを組み合わせた PHA 圧着肋骨骨膜付き広背筋弁モデルを作成し、その骨膜血行と PHA 気孔内の経時的な組織学的変化について検討した。その結果、骨膜圧着 PHA では気孔内に線維性結合組織の形成と経時的に進行する骨新生が観察された。

家兎肋骨骨膜付き広背筋弁は living periosteum transfer の実験モデルとして有用であり、血管柄付き骨膜弁と PHA の組み合わせにより、自家骨を用いない新たな骨組織再建の可能性が示唆された。

実験に際し、材料提供ならびにご協力いただいた(株) PENTAX 社ニュー・セラミックス部諸兄に深謝いたします。

なお、本論文の要旨は第 9 回日本形成外科学会基礎学術集会(2000 年 10 月 5 日、名古屋)で発表した。

文 献

- 1) 引地尚子, 米原啓之, 高戸 毅, 須佐美隆史, 森 良之, 松本重之, 中津留誠, 中塚貴志: 高気孔体水酸アパタイト・リン酸三カルシウム複合体の骨親和性および骨誘導能に関する研究 (2) 頭蓋骨再建に関する実験的研究. 形成外科 42: 139-144, 1999
- 2) 楠本健司, 小川 豊: 骨補填材の体内埋入の問題点その展望, ハイドロキシアパタイトを中心に. 形成外科 38: 395-400, 1995
- 3) 松野治雄, 井上 亨, 浜田泰宏, 道祖尾伯史, 大城真也, 詠田眞治, 水上正美: 水酸アパタイトとリン酸三カルシウムの複合セラミックス(セラタイト)を用いた頭蓋形成術. 脳外速報 2: 413-417, 1992
- 4) 三浦修一, 藤本淳一郎, 秋山晃一, 村井 聡, 金子康司, 村田景一, 吉本恵則, 宮内義純, 矢島弘嗣, 玉井 進: 骨折治療に対する水酸アパタイト骨補填剤の臨床応用. 骨折 17: 289-295, 1995
- 5) Canalis RF, Burstein FD: Osteogenesis in vascularized periosteum. Interactions with underlying bone. Arch Otolaryngol 111: 511-516, 1985
- 6) Finley JM, Acland RD, Wood MB: Revascularized periosteal grafts: A new method to produce functional new bone without bone grafting. Plast Reconstr Surg 61: 1-6, 1978
- 7) Hammerle CH, Schmid J, Lang NP, Olah AJ: Temporal dynamics of healing in rabbit cranial defects using guided bone regeneration. J Oral Maxillofac Surg 53: 167-174, 1995
- 8) Puckett CL, Hurvitz JS, Metzler MH, Silver D: Bone

- formation by revascularized periosteal and bone grafts, compared with traditional bone grafts. *Plast Reconstr Surg* 64 : 361-365, 1979
- 9) Ritsilä V, Alhopuro S, Rintala A : Bone formation with free periosteum. *Scand J Plast Reconstr Surg* 6 : 51-56, 1972
- 10) 高橋栄明 : 骨形態計測ハンドブック (2版) p 11-25. 西村書店, 新潟, 1997
- 11) Maruyama Y, Urita Y, Ohnishi K : Rib-latissimus dorsi osteomyocutaneous flap in reconstruction of a mandibular defect. *Br J Plast Surg* 38 : 234-237, 1985
- 12) 大西 清, 丸山 優, 張 正忠, 岩平佳子, 岡島行一, 吉田武晃, 茂手木三男, 大目 亨 : 肋骨広背筋皮弁の応用と評価. *日形会誌* 7 : 402-416, 1987
- 13) Ariyan S : The viability of rib grafts transplanted with the periosteal blood supply. *Plast Reconstr Surg* 65 : 140-151, 1980
- 14) Taylor GI, Palmer JH : The vascular territories (angiosomes) of the body : Experimental study and clinical applications. *Br J Plast Surg* 40 : 113-141, 1987
- 15) Taylor GI, Minabe T : The angiosomes of the mammals and other vertebrates. *Plast Reconstr Surg* 89 : 181-215, 1992
- 16) 高戸 毅, 波利井清紀, 白土基次, 佐々木敏博 : 血管柄付骨膜の骨形成能に関する研究 (1) 家兎頸骨および肋骨骨膜の血行形態と血管柄付骨膜弁の作成について. *日形会誌* 5 : 113-122, 1985
- 17) 高戸 毅, 波利井清紀, 中塚貴志, 白土基次, 佐々木敏博 : 血管柄付骨膜の骨形性能に関する研究 (2) 家兎肋骨骨膜の骨形成について. *日形会誌* 5 : 123-136, 1985
- 18) 小澤英浩 : 骨芽細胞と破骨細胞の超微細構造と機能. *実験医* 16 : 1414-1425, 1998
- 19) Ross MH, Kaye GI, Pawlina W : *Histology : A Text and Atlas* (4th ed.) p 186-188. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2003
- 20) 米原啓之, 高戸 毅, 引地尚子, 鈴木 敦, 中塚貴志 : 高気孔体水酸アパタイト・リン酸三カルシウム複合体の骨親和性および骨誘導能に関する研究 (3) 気孔体の性状の相違による移植後の変化について. *形成外科* 43 : 981-987, 2000
- 21) 小野一郎, 舘下 亨 : rhBMP を添加した Hydroxyapatite の生体内における強度の増強効果についての研究. *Prog Med* 17 : 2588-2590, 1997
- 22) Vogelin MDE, Jones NF, Lieberman JR, Baker JM, Tsingotjidou AS, Brekke JH : Prefabrication of bone by use of a vascularized periosteal flap and bone morphogenic protein. *Plast Reconstr Surg* 109 : 190-198, 2002

Study on Osteogenesis in Artificial Bone Comprised of Porous Hydroxyapatite Block with Attached Rib-Latissimus Dorsi Periosto-Muscle Flap in Rabbits

Akiko Hirata¹⁾ Yu Maruyama¹⁾

Akiteru Hayashi¹⁾ and Kazutoshi Shibuya²⁾

¹⁾ Department of Plastic and Reconstructive Surgery, School of Medicine, Faculty of Medicine, Toho University

²⁾ Department of Surgical Pathology, School of Medicine, Faculty of Medicine, Toho University

ABSTRACT

Background: Bone formation *in vivo* was investigated in the repair of bone defects using porous hydroxyapatite (PHA) block in combination with attached vascularized periosteal flaps.

Methods: We examined the vascularization of rib-periosteum in rabbits before implanting PHA blocks (porosity; 50%, dimensions; 8×4×2 mm) with attached periosteum and elevation of a latissimus dorsi periosto-muscle flap. The blocks were removed 4, 8, and 12 weeks after implantation for histological examination.

Results: Two routes of blood circulation from the thoracodorsal artery to the periosteum were evident in rib-periosteum, via intercostal arteries, or by intervention of the muscular capillary beds. On histological examination, PHA block pores with attached periosteal flaps were filled with loose fibrous tissue at week 4. By the 8 week, the fibrous tissue formation had increased, and bone islets were observed in some pores. The area of induced bone formation in pores with attached periosteal flaps continued to increase until the end of the experiment protocol. However, no bone formation was found in the pores with attached muscle by the end of the experiment.

Conclusion: Our findings show that circulation in rabbit rib-periosteum is very similar to that in human. Use of a periosteal flap and the accompanying procedure appears to be a promising experimental model for the investigation of vascularized artificial bone utilizing a combination of PHA blocks and attached vascularized periosteal flaps.

J Med Soc Toho 52(3・4) : 212-219, 2005

KEYWORDS: rib-latissimus dorsi periosto-muscle flap, porous hydroxyapatite, vascularized periosteal flap, vascularized artificial bone, hybrid type of artificial bone