

図6 SEPS 前後の血管超音波所見  
術後、不全穿通枝の筋膜下での切離を確認した。

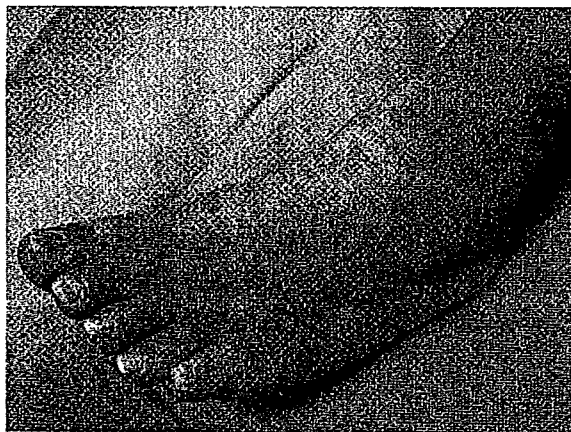


図7 術後2ヵ月目  
植皮の生着は良好で、再発はみられない。

発率に差がないうえに、創合併症が少ない<sup>10)</sup>。

わが国では1994年の小櫃ら<sup>10)</sup>の報告以来、国内でも複数の報告が散見される。しかし、その大部分は血管外科領域のものであり、形成外科医によるSEPSに関する報告はない。

2006年の飯田らの報告によると、わが国で報告されたSEPSのうち重症例(CEAP分類のC5, C6症例, 表2)への施行は全体の16%であった<sup>9)</sup>。これは欧米の77%と比較して、少ない。わが国に重症例が少ない可能性も考えうるが、下肢潰瘍診療に関するシステムの違いが原因と推察される。欧米では足病医により集学的な治療がなされるのに対し、わが国では皮膚症状がない症例は血管外科、皮膚症状を有する症例は皮膚科もしくは形成外科の医師が治療を担当する。しか

表2 CEAP分類

C(clinical)	E(Etiologic)	A(Anatomic)	P(Pathophysiologic)
↓			
C0: 静脈疾患を認めない			
C1: 毛細血管拡張または網目状静脈			
C2: 静脈瘤			
C3: 浮腫			
C4a: 色素沈着や湿疹			
C4b: 皮膚脂肪硬化や白色皮膚萎縮			
C5: 治癒後の潰瘍			
C6: 活動性潰瘍			
S: 症状あり A: 無症状			

[文献9)より引用]

し潰瘍の治療に当たる形成外科医の不全穿通枝に関する認識は低く、不全穿通枝処理の最もよい適応となるC5以上の患者に対し、その処理が行われていない現状がうかがわれる。潰瘍治療に当たる形成外科医は、静脈性潰瘍における不全穿通枝の関与や切離の意義を認識する必要がある。またSEPSは、比較的手技も容易で、安全性が高く、一般的な内視鏡の器具のみで施行可能な手術である。形成外科領域でも施行可能な術式と考えられる。

### 結 語

ストリッピングや硬化療法、深部静脈弁形成術施行後も、症状の残存、潰瘍の治癒遅延、再発がみられる症例では、不全穿通枝の検索、処理を検討する必要がある。SEPSは、比較的手技も容易で合併症が少なく、不全穿通枝処理の有用な一手段である。今後、長期結果の検証が課題となる。

佐野仁美

埼玉医科大学形成外科

〒350-0495 埼玉県入間郡毛呂山町大字毛呂

本郷 38

E-mail : sasasa116sasasa@hotmail.com

## 文 献

- 1) Linton, R.R. : The communicating veins of the lower leg and the operative technique for their ligation. *Ann. Surg.*, **107** : 582 ~ 593, 1938.
- 2) Hauer, G., Barkun, J., Wisser, I., et al. : Endoscopic subfascial discussion of perforating vein. *Surg. Endosc.*, **2** : 5 ~ 12, 1988.
- 3) Warburg, F.E., Danielsen, L., Madsen, S.M., et al. : Vein surgery with or without skin grafting versus conservative treatment for leg ulcers. A randomized prospective study. *Acta Derm. Venereol.*, **74** : 307 ~ 309, 1994.
- 4) Gloviczki, P., Bergan, J.J., Rhodes, J.M., et al. : Mid-term results of endoscopic perforator vein interruption for chronic venous insufficiency : lessons learned from the North American subfascial endoscopic perforator surgery registry. The North American Study Group. *J. Vasc. Surg.*, **29** (3) : 489 ~ 502, 1999.
- 5) Sybrandy, J.E., van Gent, W.B., Pierik, E.G., et al. : Endoscopic versus open subfascial division of incompetent perforating veins in the treatment of venous leg ulceration : long-term follow-up. *J. Vasc. Surg.*, **33** : 1028 ~ 1032, 2001.
- 6) Kalra, M., Gloviczki, P. : Surgical treatment of venous ulcers : Role of subfascial endoscopic perforator vein ligation. *Surg. Clin. North Am.*, **83** : 671 ~ 705, 2003.
- 7) Baron, H.C., Wayne, M.G., Santiago, C.A., et al. : Endoscopic subfascial perforator vein surgery for patients with severe, chronic venous insufficiency. *Vasc. Endovasc. Surg.*, **38** : 439 ~ 442, 2004.
- 8) 近藤啓介, 佐藤 紀, 下村一之, ほか : 静脈うっ滞性潰瘍および色素沈着に対する内視鏡下筋膜下穿通枝切離術 (SEPS) -手術手技の手順とポイント-. *手術*, **54** (11) : 1603 ~ 1607, 2000.
- 9) 飯田茂穂, 足立 巖, 佐藤裕英, ほか : 欧米での SEPS の評価と我が国での現状. *日鏡外会誌*, **11** (3) : 263 ~ 268, 2006.
- 10) Hanrahan, L.M., Araki, C.T., Rodriguez, A.A., et al. : Distribution of valvular incompetence in patients with venous stasis ulceration. *J. Vasc. Surg.*, **13** : 805 ~ 812, 1991.
- 11) Hauer, G. : Endoscopic subfascial discussion of perforating veins-preliminary report. *Vasa*, **14** : 59 ~ 61, 1985.
- 12) Hauer, G. : Surgical technic of endoscopic subfascial disscision of perforans veins. *Chirurg.*, **58** : 172 ~ 175, 1987.
- 13) Conrad, P. : Endoscopic exploration of the subfascial space of the lower leg with perforator vein interruption using laparoscopic equipment : a preliminary report. *Phlebology*, **9** : 154 ~ 157, 1994.
- 14) Gloviczki, P., Cambria, R.A., Rhee, R.Y., et al. : Surgical technique and preliminary results of endoscopic subfascial division of perforating vein. *J. Vasc. Surg.*, **23** : 517 ~ 523, 1996.
- 15) Pierik, E.G., van Urk, H., Hop, W.C., et al. : Endoscopic versus open subfascial division of incompetent perforating veins in the treatment of venous leg ulceration : a randomized trial. *J. Vasc. Surg.*, **26** : 1049 ~ 1054, 1997.
- 16) 小櫃由樹生, 土井 信, 矢野浩巳, ほか : 内視鏡的筋膜下交通枝切離術の経験. *静脈学*, **5** (2) : 229 ~ 233, 1994.

<原 著>

## 炭酸泉浴による創傷治癒効果の実験的検討

南村 愛\*・市岡 滋\*・佐野仁美\*・中塚貴志\*

### The Efficacy of CO<sub>2</sub>-Enriched Water Bathing in Wound Healing ~ An *in vivo* Experimental Study ~

Ai MINAMIMURA, M.D.\*, Shigeru ICHIOKA, M.D.\*,  
Hitomi SANO, M.D.\* and Takashi NAKATSUKA, M.D.\*

\*Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Saitama Medical University, Saitama, 350-0495

#### 和文要旨

<目的>マウスにおいて炭酸泉浴による創傷治癒効果を検討する。

<対象> ddy マウス (雄, 9 週齢) 13 匹。

<方法> 両側の大腿動脈を結紮し, 両下腿に全層皮膚欠損創を作製し, 下腿虚血肢潰瘍モデルとした。創傷作製直後, 1 日後, 2 日後に一側下肢には 35 °C の温水浴, 他側下肢には 35 °C の炭酸泉浴を同時に 15 分間施行し, 温水浴を行った下肢を温水浴側, 炭酸泉浴を行った下肢を炭酸泉浴側とした。創傷作製直後, 2 日後, 4 日後に創の大きさを計測し, 創傷作製直後の創傷面積を基準とした創傷面積縮小率を算出し, 両側間で比較検討した。

<結果> 2 日後の創傷面積は炭酸泉浴側で有意に高い縮小率を示した。

<まとめ> 炭酸泉浴による創傷治癒効果の可能性が示唆された。

Key Words : 炭酸泉浴, 下肢浴, 創傷治癒, 虚血肢モデル, 潰瘍

#### 英文アブストラクト

This study experimentally estimated the efficacy of CO<sub>2</sub> bathing in wound healing. We generated an ischemic limb model using mice. The bilateral femoral arteries of 13 mice were ligated, and a full-thickness skin defect was created on each leg. Immediately after defect creation, on the 1st and 2nd postoperative days, one of the legs was soaked in water, and the other in CO<sub>2</sub> water simultaneously for 15 minutes. Sizes of skin defects were measured on the 2nd and 4th days. On the CO<sub>2</sub>-bathed side, the reduction rate of the skin defect on the 4th day was significantly higher than that on the 2nd day. On the other hand, the difference was not significant on the normal water-bathed side. The reduction rate of the skin defect on the CO<sub>2</sub>-bathed side was significantly higher than that on the normal water-bathed side on the 2nd day (p=0.045).

The results of our study suggest that CO<sub>2</sub> enriched-water bathing treatment promotes the wound healing process.

Key Words : CO<sub>2</sub> bathing, foot bathing, wound healing, ischemic limb model, ulceration

#### 背景・目的

欧州には天然の高濃度炭酸泉が多く存在し, 炭酸泉浴のもつ末梢血管拡張作用, 皮膚血流増加作用などが

注目され, 古くから末梢循環障害, 微小循環障害, 循環器疾患, 難治性の外傷や潰瘍, 自律神経機能障害などの物理療法の一つとして炭酸泉浴が行われてきた。一方, 日本には天然高濃度炭酸泉が少なく, 炭酸泉浴

\* 埼玉医科大学形成外科

2008 年 7 月 7 日受領

2008 年 10 月 13 日掲載決定

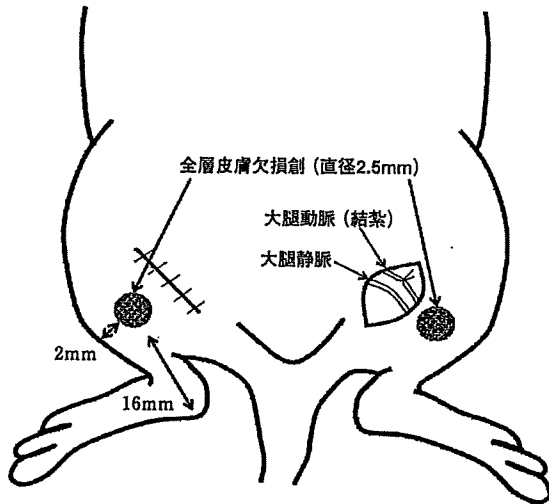


図1 マウスの下腿虚血肢潰瘍モデル

両側大腿動脈を結紮し下腿虚血肢モデルとした。さらに踵部より16mm近位で膝関節部の2mm内側に直径2.5mmの全層皮膚欠損創を作製し、下腿虚血肢潰瘍モデルとした。

縮小率

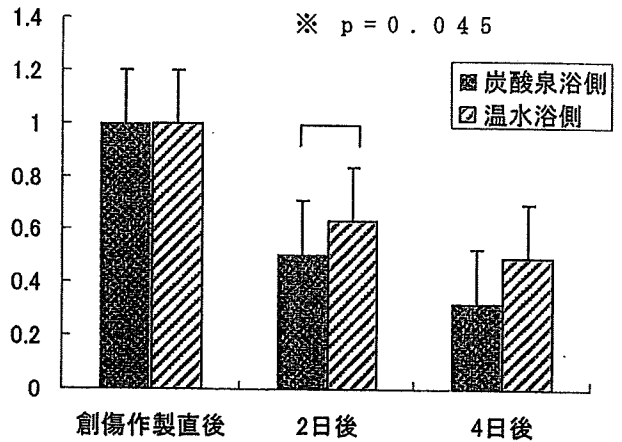


図2 マウス下腿虚血肢潰瘍モデルにおける創傷面積の縮小率

炭酸泉浴側において、2日後の創傷面積は有意に縮小した。

への馴染みは薄かったが、近年高濃度炭酸泉を人工的に作製できる機器や炭酸泉浴剤が開発され、下腿虚血性潰瘍の多い透析病院を中心に、医療機関において炭酸泉浴が普及しつつある。われわれの施設でも、糖尿病性足病変などの難治性下腿潰瘍に対し、血流促進や創の清浄化、微小循環の改善、創傷治癒の促進を目的とした炭酸泉足浴を施行している。

このような炭酸泉浴の普及とともに、褥瘡や下腿潰瘍の治療に炭酸泉浴を用い、その有用性を示唆する臨床報告を散見するようになったが、その創傷治癒促進効果を定量的に評価した報告<sup>2,3)</sup>は少ない。そこで今回われわれは、炭酸泉浴の創傷治癒促進効果を定量的に検証する目的で、マウスの下腿虚血肢潰瘍モデルを作製し、炭酸泉浴の有用性について検討したので報告する。

対象と方法

1. 下腿虚血肢潰瘍モデルの作製

雄の ddy マウス (9 週齢, 体重約 50g) を対象とした。麻酔は吸入麻酔剤イソフルラン (エスカイン®; マイラン製薬) を、麻酔器は THE UNIVENTOR 400 (ANESTHESIA®: UNITUNIVENTOR 社) を使用した。エア流量 100ml/分のもとイソフルラン濃度 1.5~2.0%で麻酔を維持し、下腹部より遠位を剃毛したうえで両側の大腿動脈を露出し、手術用顕微鏡 (TEPCOM OMS-75: OLYMPUS 社) を用いて鼠径部よりやや遠位で、7-0 ナイロン糸で結紮した。次に、踵より 16mm 近位で膝関節部 2mm 内側に直径

2.5mm の全層皮膚欠損創を作製し、これを下腿虚血肢潰瘍モデルとした (図 1)。

2. 高濃度人工炭酸泉の調製

抗菌炭酸泉足温剤 (AS ケア®: アグリス社, 以下 AS ケア) 0.45g を 35℃ の水道水 30ml に溶かし、二酸化炭素濃度 800~1,300ppm として使用した。

3. 下肢浴

35℃ に設定した恒温槽内に 35℃ の炭酸泉および 35℃ の温水を満たした容器を設置した。室温 26℃ のもと、両下腿虚血肢潰瘍モデルのマウスをエア流量 100ml/分, イソフルラン濃度 1.5~2.0% で麻酔を維持し、一側下肢に炭酸泉浴, 他側に温水浴を同時に 15 分間, 実験開始当日, 1 日後, 2 日後に施行した。

4. 創傷の評価

炭酸泉浴を行った下肢 (n=13) を炭酸泉浴側とし、温水浴を行った下肢 (n=13) を温水浴側とした。それぞれ創傷作製直後, 2 日後, 4 日後に創傷面積を測定した。創傷面積は食品包装用ラップフィルム (やさしいラップ®: オカモト社) を介して創傷をトレースし, スキャナー (ES 10000G®: EPSON 社) に取り込み, 画像解析ソフト (Photoshop5.5®: Adobe 社 および Scion Image®: Scion 社) を用いて算出した。

5. 統計

創傷作製直後の面積を基準にして, 2 日後, 4 日後の創傷面積縮小率を算出した。経時的創傷面積縮小率について分散分析 (repeated analysis of variance) および多重比較 (Wilcoxon t-test) を行った。両側間で 2 日後および 4 日後の創傷面積縮小率を paired t-

test を用いて比較した。 $p < 0.05$  を有意差ありとした。

## 結 果

炭酸泉浴側において、創傷作製直後と2日後、2日後と4日後との間で創傷面積縮小率に有意差を認めた（おのおの  $p = 0.0015$ ,  $p = 0.011$ ）。温水浴側においては創傷作製直後と2日後では有意な縮小率を示したが、2日後と4日後では有意差を認めなかった（おのおの  $p = 0.038$ , 4日後  $p = 0.076$ ）。

また、両側間の比較では、2日後の創傷面積縮小率は温水浴側にくらべて炭酸泉浴側で有意に高く（ $p = 0.045$ ）、4日後では有意差は認めなかった（ $p = 0.058$ ）（図2）。

## 考 察

今回われわれは、日々の診療で行っている高濃度人工炭酸泉足浴の創傷治癒促進効果について検証した。使用した部分浴用の高濃度人工炭酸泉剤 AS ケアは、一包 150g の粉末を 10l の湯に溶かすと 1,000 ~ 1,300ppm の高濃度人工炭酸泉となり、15分経過後も 800ppm ほどの高濃度を維持する。有効成分は、硫酸塩、炭酸塩、有機酸、ジクロロイソシアヌル酸ナトリウムであり、これを水に溶解すると炭酸塩と有機酸がすみやかに反応し、適度な溶存炭酸ガスを生成するとともに、ジクロロイソシアヌル酸ナトリウムが加水分解して次亜塩素酸が生成される。おもな効能は、血流の促進、皮膚血行の改善、発汗の促進、保温、除菌、脱臭・不快臭の防止、である。使用方法は簡便で、価格も比較的廉価であるため、手軽に施行可能である。このように容易に高濃度人工炭酸泉浴の作製が可能になって以来、炭酸泉浴の効能が広く知られるようになってきた。しかし、形成外科で治療の対象となる難治性潰瘍に対する炭酸泉浴の治癒促進効果に関する実験的研究は、われわれの渉猟した範囲では見当たらない。

本研究では、マウスの大腿動脈を結紮した虚血肢に全層皮膚欠損創を作製することで下腿虚血肢潰瘍モデルとした。同一個体の一側に炭酸泉浴、他側に温水浴を施し創傷面積の縮小率を算出した。その結果創傷作製2日後において、炭酸泉浴側で温水浴側にくらべて有意に高い縮小率をみた。また温水浴側が2日後と4日後の間で有意な縮小がなかったのに対し、炭酸泉浴側では2日後から4日後にかけても有意な創縮小が継続した。これらの所見は、炭酸泉浴が虚血創傷に対してなんらかの治癒促進効果を及ぼしたことを示唆する。

炭酸泉浴の創傷治癒促進機序については、微小循環改善効果が考えられる。炭酸泉浴による血流増加作用

は、経皮的に浸入した二酸化炭素により細胞外アシドーシスが生じ、これによって血管平滑筋が弛緩し血管が拡張する<sup>4)</sup>、と考えられている。田邊ら<sup>5)</sup>はラットを用いた研究で、炭酸泉浴を施行した創傷肉芽組織中の血管内皮細胞増殖因子（vascular endothelial growth factor：以下 VEGF）を定量し、炭酸泉浴が血管内皮細胞の VEGF 産生を局所的に活性化し、血管新生に促進的に働くことを報告している。河本・古元<sup>6)</sup>は、ウサギに炭酸ガス浴を施行し、二酸化炭素の経皮浸入による組織二酸化炭素の上昇と、これに基づく組織酸素分圧の上昇を組織レベルで証明したうえで、炭酸ガス浴による微小組織循環の改善を指摘し、炭酸ガス浴の適応に難治性潰瘍、末梢循環障害、退行性病変をあげている。古元ら<sup>7)</sup>は、人工炭酸泉浴による組織循環の改善が、虚血性の慢性疼痛の緩和に有効であり、創傷治癒にも有効に作用する、と指摘している。

## ま と め

これらの報告および今回の基礎研究の結果より、炭酸泉浴は虚血性難治性潰瘍の治療において、創傷治癒を促進させる一助となりうるものと考えられた。

南村 愛

埼玉医科大学形成外科

〒350-0495 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷 38

E-mail : minamimura\_ai@yahoo.co.jp

この論文の要旨は第16回日本形成外科学会基礎学術集会（2007年10月11日、於神戸）にて発表した。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、多大なご協力をいただきました埼玉医科大学形成外科実験助手関谷直美氏に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Schmid, K.L., 入夾正射訳：炭酸浴（炭酸泉）. 炭酸泉誌, 1 : 5 ~ 9, 1998.
- 2) Toriyama, T., Kumada, Y., Matsubara, T., et al. : Effect of artificial carbon dioxide foot bathing on critical limb ischemia (Fontaine IV) in peripheral arterial disease patients. International angiology, 21 (4) : 367 ~ 373, 2002.
- 3) 林 久恵, 中村真弓, 石黒正樹, ほか：重症虚血肢に対する人工炭酸泉足浴の効果. 心臓リハ, 8 (1) : 75 ~ 77, 2003.

- 4) Aalkjær, C. & Peng, H.L.: pH and smooth muscle. *Acta Physiol. Scand.*, **161** : 557 ~ 566, 1997.
  - 5) 田邊 毅, 大塚尚治, 神崎温子, ほか: 人工炭酸泉浴による血管新生促進効果 - 創傷肉芽組織中 VEGF 定量による評価 -. *褥瘡会誌*, **4** (1) : 29 ~ 33, 2002.
  - 6) 河本知二, 古元嘉昭: 炭酸ガス浴における組織ガス分圧の変動. *日温気物医誌*, **46** : 76 ~ 83, 1982.
  - 7) 古元嘉昭, 河本知二, 砂川 満, ほか: 虚血肢に対する人工炭酸泉浴の効果について. *慢性疼痛*, **4** (1) : 8 ~ 11, 1985.
-



# Determinants of wound healing in bone marrow-impregnated collagen matrix treatment: Impact of microcirculatory response to surgical debridement

Shigeru Ichioka, MD<sup>1</sup>; Hidaki Yokogawa, MD<sup>1</sup>; Naomi Sekiya, MT<sup>1</sup>; Sachio Kouraba, MD<sup>2</sup>; Ai Minamimura, MD<sup>1</sup>; Norihiko Ohura, MD<sup>3</sup>; Hiromi Hasegawa<sup>1</sup>, MD; Takashi Nakatsuka, MD<sup>1</sup>

1. Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Saitama Medical University, Saitama, Japan,
2. Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Graduate School of Medicine, Hokkaido University, Sapporo, Japan, and
3. Department of Traumatology and Critical Care Medicine, School of Medicine, Kyorin University, Tokyo, Japan

## Reprint requests:

Shigeru Ichioka, MD, Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Saitama Medical University, 38 Morohongo, Moroyama, Iruma-gun, Saitama 350-0495, Japan.  
Tel: +81 492 76 1299;  
Fax: +81 492 76 1230;  
Email: ichioka-stm@umin.ac.jp

Manuscript received: March 3, 2008  
Accepted in final form: April 22, 2009

DOI:10.1111/j.1524-475X.2009.00508.x

## ABSTRACT

Although previous reports have suggested the efficacy of autologous bone marrow-impregnated collagen matrix experimentally and clinically, we occasionally encounter difficult wounds that fail to respond to the treatment. The current study retrospectively investigated the factors that affect clinical outcomes based on the hypothesis that periwound microcirculation may play a significant role. Fifty-three patients with chronic wounds received surgical debridement, followed by application of an autologous bone marrow-impregnated collagen matrix. The periwound transcutaneous oxygen tension (TcPO<sub>2</sub>) was evaluated ( $n=39$ ). The patients were retrospectively divided into successful and unsuccessful subgroups. Successful treatment was defined as wound closure by spontaneous healing or skin graft. The TcPO<sub>2</sub> of the unsuccessful subgroup significantly decreased after debridement while that of the successful subgroup increased. Among various parameters, the TcPO<sub>2</sub> at 4 days after debridement showed the strongest association with the success of the treatment. As reference data, we collected the information of the patients ( $n=22$ ) who received standard wound care, and they showed the same trend wherein the TcPO<sub>2</sub> of the unsuccessful subgroup markedly decreased after debridement. Reactivity of the wound microcirculation to increased wound perfusion in response to the surgical debridement might be a key determinant for successful wound healing.

Treatments of chronic wounds frequently require procedures that provide healing to a level that is not possible at present with standard care measures. For this purpose, application of bone marrow cells to the wound has been documented to possibly promote wound healing.<sup>1-4</sup> We have combined autologous bone marrow cells with a commercially available collagen matrix utilized for the treatment of chronic and acute wounds as a scaffold biomaterial<sup>5,6</sup> and the procedure has been clinically practiced by plastic surgeons in Japan.<sup>7,8</sup>

In spite of the impressive effects of an autologous bone marrow-impregnated collagen matrix, the technique does not always provide satisfactory results. We desired predictors for the efficacy of our therapy in successful wound healing. The current study investigated the factors that affect clinical outcomes. In our efforts to find the differences between responders and nonresponders, we noticed that the microcirculatory response to surgical debridement, which is obviously an essential procedure in wound management,<sup>9</sup> might play a key role. It is likely that the response of the periwound microcirculation to injury or invasion contributes to the initiation of a proper wound-healing process, but hemodynamic changes after surgical debridement remain uninvestigated to date.

## PATIENTS, MATERIALS, AND METHODS

Procedures of autologous bone marrow-impregnated collagen matrix treatment were approved by the Institutional Review Board (IRB) of Saitama Medical University. Between October 2004, and August 2007, among patients with chronic wounds who were referred to the Wound Healing Center of Saitama Medical University, 53 patients consented to bone marrow-collagen treatments and received surgical debridement, followed by the application of an autologous bone marrow-impregnated collagen matrix. The patients ranged in age from 30 to 91 years (mean: 64.7 years). This series of patients was named the bone marrow-collagen group, and the patient data are summarized in Table 1.

As reference data, we collected the information of the patients who received standard wound care. During the same period, 22 patients with chronic wounds who had consulted the department of plastic surgery of Saitama Medical University underwent surgical debridement, followed by standard wound care. The IRB had approved access of patient medical records for retrospective reviews. The patients ranged in age from 33 to 88 years (mean: 61.2

**Table 1.** Patient data of the bone marrow-collagen group

Type of wound	Number of patients	Gender (number of male patients)	Age in years (average)	Diabetes	Dialysis
Diabetic foot ulcer	31	23	53–86 (67.9)	31	16
Traumatic ulcer	6	4	30–91 (52.8)	0	0
Venous leg ulcer	4	1	36, 49, 55, 59	0	0
Radiation ulcer	4	1	62, 67, 71, 72	0	0
Leg ulcer due to collagen disease	3	1	60, 74, 77	0	0
Foot ulcer due to Buerger's disease	2	2	68, 73	0	1
Leg ulcer due to lymph edema	1	0	82	0	0
Foot ulcer due to congenital insensitivity to pain with anhidrosis	1	0	34	0	0
Ischial pressure ulcer	1	1	59	1	0

years). This group of patients was referred to the standard care group. The patient data are summarized in Table 2.

In the cases of foot ulcers with peripheral arterial disease (PAD) or critical limb ischemia (CLI), which warranted arterial reconstruction, only the patients who underwent successful revascularization were included. These patients received the treatments described below approximately 3 weeks after revascularization because the previous investigation has reported that it takes 3–4 weeks for cutaneous oxygenation to improve and reach the optimal levels for wound healing.<sup>10</sup>

### Treatment protocol

#### Treatment of the bone marrow-collagen group

Firstly, areas of necrotic and devitalized tissue were surgically debrided. The bone marrow was aspirated (5–15 mL) from the iliac crest into a syringe containing a small amount of heparinized saline solution (40 heparin units/mL) to prepare bone marrow suspensions. General, spinal, or local anesthesia was appropriately selected depending on the wound size and general status. The collagen matrix (Terdermis; Olympus Termo Biomaterial, Tokyo, Japan) was sufficiently impregnated with the bone marrow suspension, placed on the debrided skin defect, and was covered with polyurethane film dressing (Opsite; Smith

and Nephew, London, UK) to ensure positive contact between the matrix and the wound surface.

The dressing was kept occlusive until the fourth postoperative day. Thereafter, the wound was irrigated and covered with wound dressings (alginate dressing [Kurabio FG; Koyo Sangyo, Tokyo, Japan] or polyurethane foam dressing [Hydrosite; Smith and Nephew]) every day to maintain a moist environment. We continued this wound management until healthy granulation tissue eventually filled the defects and allowed a skin graft or attained spontaneous closure.

#### Treatment of the standard care group

All areas of necrotic and devitalized tissue were surgically removed until bleeding was macroscopically recognized. The dressing was opened at the fourth postoperative day; the wound was irrigated and covered with wound dressings in the same manner as the bone marrow-collagen group.

#### Assessment of microcirculation

Periwound microcirculation was assessed with transcutaneous oxygen tension (TcPO<sub>2</sub>). Thirty-nine patients in the bone marrow-collagen group and 22 patients in the standard care group were evaluated by the TcPO<sub>2</sub> measured at the periwound areas before, 4, and 14 days after surgical debridement. TcPO<sub>2</sub> was determined using Clark-type oxygen-sensing electrodes (TCM400, Radiometer Medical, Brønshøj, Denmark). The electrodes were heated up to 44 °C.

#### Assessment of clinical outcomes

In both the groups, we retrospectively divided those for whom the treatment was successful (successful subgroup) from those who obtained unsuccessful results (unsuccessful subgroup). Successful treatment was defined as wound closure by spontaneous healing or skin graft on the induced vascularized granulation tissue.

**Table 2.** Patient data of the standard care group

Type of wound	Number of patients	Gender		Age in years (average)	Diabetes	Dialysis
		(number of male patients)				
Diabetic foot ulcer	18	15		46–88 (64.6)	18	7
Traumatic ulcer	2	1		33, 53	0	0
Pressure ulcer	2	1		36, 61	0	0



**Statistical analysis**

Statistical analysis was performed using SPSS 15.0J software (SPSS Japan, Tokyo, Japan) for personal computers. To analyze changes in the TcPO<sub>2</sub>, we used an analysis of variance for repeated measurements and the mean was used for comparisons. For post hoc multiple comparisons of the mean, the Bonferroni test was used for equal variance. A logistic regression analysis was used to examine the relative contributions of several variables to the outcomes (successful or unsuccessful). Chi-square analysis was used for categorical data. Data are expressed as mean ± standard deviation. *p* < 0.05 was considered as significant.

**RESULTS**

**Results of the bone marrow-collagen group**

**Clinical outcomes**

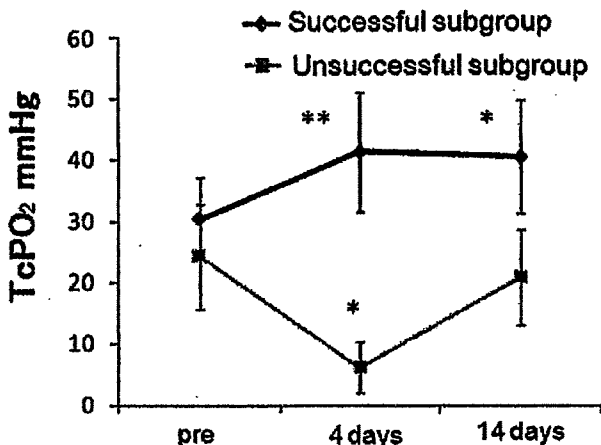
There were no complications of bone marrow aspiration. Forty-four patients (83%) were included in the successful subgroup. Nine patients were included in the unsuccessful subgroup. In this subgroup seven patients with diabetic foot ulcers eventually underwent major amputations. One patient with an ischial pressure ulcer and one with a radiation ulcer of the chest did not show trends toward appropriate healing and required secondary vascularized flap transfer.

**Microcirculatory response**

**(1) TcPO<sub>2</sub> before treatment**

The initial TcPO<sub>2</sub> value before treatment was 29.1 ± 14.2 mmHg (median: 31 mmHg, range: 1–53 mmHg) (*n*=39).

The initial TcPO<sub>2</sub> in the successful subgroup (*n*=30) was 30.5 ± 13.3 mmHg (median: 32 mmHg, range: 1–53 mmHg), and that in the unsuccessful subgroup (*n*=9) was 24.3 ± 17.0 mmHg (median: 21 mmHg, range: 2–53 mmHg).



**Figure 1.** Changes in transcutaneous oxygen tension (TcPO<sub>2</sub>) in the successful subgroup (*n*=30) and the unsuccessful subgroup (*n*=9) of the bone marrow-collagen group. \**p* < 0.05 vs. pretreatment values. \*\**p* < 0.005 vs. pretreatment values.

**(2) Changes in TcPO<sub>2</sub> (Figure 1)**

Repeated measures analysis indicated that the interaction between the subgroups was highly significant (*p* < 0.001). In other words, the two subgroups were changing over time and they were changing in different ways. In the graph the lines of the subgroups were not parallel.

In the successful subgroup, multiple comparisons revealed that the TcPO<sub>2</sub> values at 4 and 14 days after debridement significantly increased as compared with the TcPO<sub>2</sub> before treatment (*p*=0.002 and 0.006, respectively), while the TcPO<sub>2</sub> at 4 days after treatment significantly decreased in the unsuccessful subgroup (*p*=0.02).

**Factors affecting success in bone marrow-collagen treatment**

To predict the success of bone marrow-collagen treatment and to detect the factors contributing to the outcomes, a logistic regression analysis was used to examine the relative contributions of age, gender, diabetes mellitus, dialysis (renal failure), TcPO<sub>2</sub> before treatment, TcPO<sub>2</sub> at 4 days after treatment, TcPO<sub>2</sub> at 14 days after treatment, and relative changes in TcPO<sub>2</sub> (4 and 14 days/baseline). Dialysis (*p*=0.003), TcPO<sub>2</sub> at 4 days after treatment (*p* < 0.001), and TcPO<sub>2</sub> at 14 days after treatment (*p*=0.009) made significant contributions to the prediction of the outcome.

Chi-square analysis also revealed that there was a significant association between dialysis and negative outcome. Expressed in terms of a risk ratio, dialysis was associated with a 14-fold increased risk for failure in bone marrow-collagen treatment.

The strongest association was seen between the TcPO<sub>2</sub> at 4 days and the success of the bone marrow-collagen treatment. Logistic regression analysis was used to calculate the probability of success in the bone marrow-collagen treatment for a given TcPO<sub>2</sub> at 4 days. The probability is expressed by the following equation:

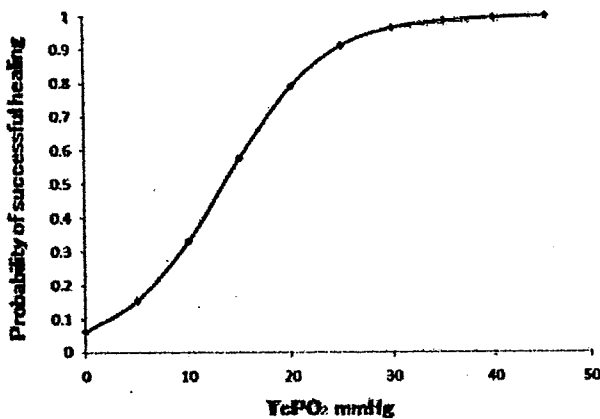
$$28p = \exp(0.202X - 2.721) / [1 + \exp(0.202X - 2.721)]$$

where *p* is the probability of success, exp is exponential, and *X* is the TcPO<sub>2</sub> at 4 days after treatment. Figure 2 displays the results of the calculation and indicates that a TcPO<sub>2</sub> of 20 mmHg 4 days after bone marrow-collagen application could predict an approximate success rate of 80%.

**Results of the standard care group**

Nineteen patients (86%) were included in the successful subgroup and three patients in the unsuccessful subgroup. These three patients with diabetic foot ulcers did not respond to the treatment. They suffered from further necrosis and eventually underwent major amputations due to uncontrollable infection or pain or both. The initial TcPO<sub>2</sub> value before treatment was 37.4 ± 24.7 mmHg (median: 36 mmHg, range: 1–83 mmHg) (*n*=22), and that in the successful subgroup (*n*=19) was 35.8 ± 24.5 mmHg (median: 39 mmHg, range: 1–83 mmHg). The initial TcPO<sub>2</sub> values in the unsuccessful subgroup (*n*=3) were 29, 33, and 45 mmHg.

The TcPO<sub>2</sub> strikingly decreased at 4 days after treatment in all three cases of the unsuccessful subgroup (Figure 3A),

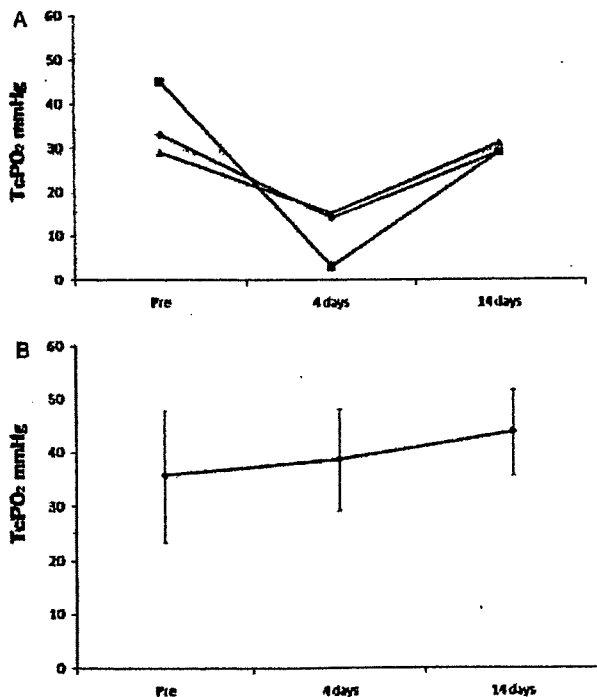


**Figure 2.** Logistic regression analysis of patients in the bone marrow-collagen group correlating a given transcutaneous oxygen tension (TcPO<sub>2</sub>) at 4 days with the probability of successful wound healing.

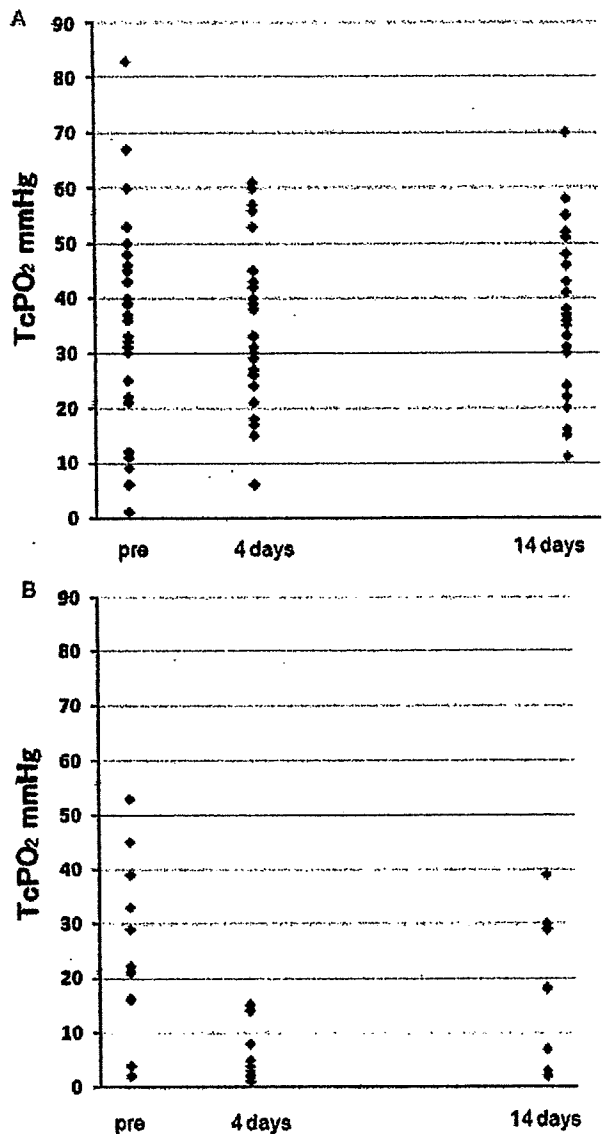
while the successful subgroup showed an increasing TcPO<sub>2</sub> trend with time (Figure 3B).

**Analysis of diabetic foot patients**

Because most of the wounds in this study had resulted from diabetic foot ulcers, we specifically analyzed data of



**Figure 3.** Changes in transcutaneous oxygen tension (TcPO<sub>2</sub>) in the standard care group. (A) Time courses of three patients in the unsuccessful subgroup. (B) Time courses in the successful subgroup (n=19).



**Figure 4.** Scatter plots for changes in transcutaneous oxygen tension (TcPO<sub>2</sub>) of diabetic foot patients. (A) Time courses of successful cases in both bone marrow-collagen group and standard care group. (B) Time courses of unsuccessful cases in both groups.

these patients. To survey the whole microcirculatory status, all the TcPO<sub>2</sub> values of the successful subgroups in both bone marrow-collagen and standard care groups (n=32) were shown in a scatter plot graph (Figure 4A). Data of the unsuccessful subgroups in both groups (n=10) were also plotted in the same manner (Figure 4B).

The initial TcPO<sub>2</sub> in the successful subgroup was 34.5 ± 19.2 mmHg (median: 37 mmHg, range: 1–83 mmHg), and that in the unsuccessful subgroup was 26.4 ± 16.7 mmHg (median: 26 mmHg, range: 2–53 mmHg). The scatter-plotted diagrams indicated a trend wherein the unsuccessful subgroup had lower TcPO<sub>2</sub> before the treatment.

A logistic regression analysis revealed that TcPO<sub>2</sub> at 4 days ( $p < 0.001$ ) and 14 days ( $p=0.002$ ) after treatment strongly contributed to the prediction of the outcome while TcPO<sub>2</sub> before the treatment did not reach a statistically significant level ( $p=0.453$ ).

## DISCUSSION

In our strategy for the treatment of chronic wounds, we combined a fresh autologous unfractionated bone marrow with a collagen matrix to support wound microcirculation and enhance angiogenesis. However, we occasionally encountered difficult wounds that failed to respond to the treatment especially in diabetic patients. We were greatly concerned with key factors affecting the clinical outcomes and attempted to detect the determinants. Although at first we expected that the TcPO<sub>2</sub> before treatment could predict the outcomes, statistical analysis in the present study revealed that the TcPO<sub>2</sub> at 4 days after debridement showed the strongest contribution toward the success of the bone marrow-collagen treatment.

Time courses of the periwound TcPO<sub>2</sub> after debridement clearly differed between the successful and the unsuccessful subgroups. The TcPO<sub>2</sub> of the unsuccessful subgroups strikingly decreased 4 days after debridement while that of the successful subgroups increased. The logistic regression analysis showed that the TcPO<sub>2</sub> at 4 days had the strongest association with outcomes of the bone marrow-collagen treatment. Statistical calculation indicated that a TcPO<sub>2</sub> of 20 mmHg 4 days after bone marrow collagen application was predictive of a success rate of approximately 80%. These findings indicate that one of the key factors contributing to the success of wound healing is the early response of the microcirculation to increase wound perfusion in response to surgical debridement.

Surgical debridement is an essential procedure that converts chronic wounds to acute wounds in order to initiate an adequate wound-healing process. Wounds of nonresponders might fail to respond to surgical stimulation, resulting in wound-healing failure. During the course of wound repair, blood vessels undergo rapid vasoconstriction in the initial phase. The vessels then dilate very quickly with increased capillary permeability because the subsequent inflammation and tissue formation phases require an increased blood supply.<sup>11</sup> We hypothesized that healing failure following surgical debridement may be associated with the inability of the wound microcirculation to increase blood flow due to an impaired response to surgical intervention. Reference data of standard care patients suggested that the hypothesis might be valid in the usual treatment without bone marrow application.

We speculate that microvascular dysfunctions, chiefly due to diabetes, may play a significant role in an insufficient vascular response. Eight patients out of nine suffered from diabetes in the unsuccessful subgroup of the bone marrow-collagen group and all three patients had diabetes in the unsuccessful subgroup of the standard care group. It has been recognized that microvascular changes in diabetes impair the ability of the microcirculation to react and vasodilate in response to stress or injury.<sup>12,13</sup> Such inadequate microcirculatory reactions most likely contribute to failure in wound healing.

Because most of the wounds in the current study had resulted from diabetic foot ulcers, we specifically analyzed data of these patients. The analysis also revealed the strongest contribution of TcPO<sub>2</sub> 4 days after treatment while TcPO<sub>2</sub> before the treatment did not reach a statistically significant level. However, the scatter-plotting of all the data showed a trend wherein the unsuccessful subgroup had lower TcPO<sub>2</sub> before the treatment. This suggested that a less than good perfusion might be a risk factor for a poor response to debridement.

Dialysis also significantly contributed to the prediction of a negative outcome. It was associated with a 14-fold increased risk for healing failure in bone marrow-collagen treatment. The finding coincided with the previous report to evaluate the factors associated with successful healing in the management of ischemic heel ulceration and gangrene.<sup>14</sup> The report confirmed that patients with renal insufficiency or renal failure are at a significantly increased risk for limb loss. Another study reported that renal failure due to diabetes emerged as one of the important risk factors for ischemic foot ulcers.<sup>15</sup>

In conclusion, the reactivity of the wound microcirculation to increase perfusion in response to surgical debridement might be one of the major determinant factors for successful wound healing in the treatment with an autologous bone marrow-impregnated collagen matrix as well as standard wound care for chronic wounds.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Professor Kenji Ikebuchi and Associate Professor Ryuhei Tanaka (Department of Transfusion and Cell Therapy, Saitama Medical University) for technical advice. This study was supported by the Japanese Ministry of Education, Sports and Culture grant no. 20592105.

## REFERENCES

1. Badiavas EV, Falanga V. Treatment of chronic wounds with bone marrow-derived cells. *Arch Dermatol* 2003; 139: 510-6.
2. Falanga V, Iwamoto S, Chartier M, Yufit T, Butmarc J, Kouttab N, Shroyer D, Carson P. Autologous bone marrow-derived cultured mesenchymal stem cells delivered in a fibrin spray accelerate healing in murine and human cutaneous wounds. *Tissue Eng* 2007; 13: 1299-312.
3. Humpert PM, Bartsch U, Konrade I, Hammes HP, Morcos M, Kasper M, Bierhaus A, Nawroth PP. Locally applied mononuclear bone marrow cells restore angiogenesis and promote wound healing in a type 2 diabetic patient. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 2005; 113: 538-40.
4. Wu Y, Wang J, Scott P, Tredget E. Bone marrow-derived stem cells in wound healing: a review. *Wound Repair Regen* 2007; 15: S18-26.
5. Ichioka S, Ohura N, Sekiya N, Shibata M, Nakatsuka T. Regenerative surgery for sacral pressure ulcers using collagen matrix substitute dermis (artificial dermis). *Ann Plast Surg* 2003; 51: 383-9.
6. Ichioka S, Kouraba S, Sekiya N, Ohura N, Nakatsuka T. Bone marrow-impregnated collagen matrix for wound healing: experimental evaluation in a microcirculatory model of

- angiogenesis, and clinical experience. *Br J Plast Surg* 2005; 58: 1124–30.
7. Kouraba S, Sakamoto T, Yasuda M, Yamamoto Y, Kumakiri M. Wound bed regeneration with bone marrow-impregnated collagen matrix for the treatment of the leg ulcer associated with cryoglobulinemia. *J Jpn Plast Reconstr Surg* 2006; 26: 825–30.
  8. Mizuno H, Akaishi S, Koike S, Hyakusoku H, Miyamoto M. Clinical application of collagen matrix impregnated with bone marrow-derived mononuclear cells for ischemic refractory skin ulcers. *J Jpn Plast Reconstr Surg* 2006; 26: 726–32.
  9. Granick M, Boykin J, Gamelli R, Schultz G, Tenenhaus M. Toward a common language: surgical wound bed preparation and debridement. *Wound Repair Regen* 2006; 14 (Suppl. 1): S1–10.
  10. Caselli A, Latini V, Lapenna A, Di Carlo S, Pirozzi F, Benvenuto A, Uccioli L. Transcutaneous oxygen tension monitoring after successful revascularization in diabetic patients with ischemic foot ulcers. *Diabetes Med* 2005; 22: 460–5.
  11. Shai A, Maibach H. Natural course of wound repair versus impaired healing in chronic skin ulcers. In: Shai A, Maibach H, editors. *Wound healing and ulcers of the skin*. Berlin: Springer, 2005: 7–17.
  12. Dinh T, Veves A. Microcirculation of the diabetic foot. *Curr Pharm Des* 2005; 11: 2301–9.
  13. Dinh TL, Veves A. A review of the mechanisms implicated in the pathogenesis of the diabetic foot. *Int J Low Extrem Wounds* 2005; 4: 154–9.
  14. Treiman GS, Oderich GS, Ashrafi A, Schneider PA. Management of ischemic heel ulceration and gangrene: an evaluation of factors associated with successful healing. *J Vasc Surg* 2000; 31: 1110–8.
  15. Yasuhara H, Naka S, Yanagie H, Nagawa H. Influence of diabetes on persistent nonhealing ischemic foot ulcer in end-stage renal disease. *World J Surg* 2002; 26: 1360–4.

ISSN 1349-645X  
文献略称 PEPARS

# PEPARS No. 23 別刷

---

切開とアプローチの基本戦略  
2008年 9月 15日発行

---

株式会社 全日本病院出版会



◆特集/切開とアプローチの基本戦略

## 4. 手術手技別の切開とアプローチ 神経採取のための切開とアプローチ法

多久嶋亮彦\*1 波利井清紀\*2

Key Words: 神経移植(nerve graft), 再建(reconstruction), マイクロサージャリー(microsurgery), 腓腹神経(sural nerve), 大耳介神経(great auricular nerve)

**Abstract** 神経欠損による機能低下が予想される場合に、一般的に遊離自家神経移植による再建が行われる。その際、移植神経を採取する部位としては、神経が解剖学的に安定して存在しており、また、採取による犠牲が少ない神経を選択する必要がある。腓腹神経は下腿の小切開から長く、太い神経として採取することができ、採取による感覚障害の領域は狭く、日常生活にはほとんど差し支えないという大きな利点がある。この他に、耳下腺腫瘍切除後の顔面神経欠損では同じ術野内の頸神経叢を利用することや、神経と同時に皮膚・軟部組織の再建が必要な時には皮弁採取部から同時に神経を採取することも考慮すべきである。

### はじめに

外傷や腫瘍切除後などの神経欠損に対して、機能再建を目標とした遊離自家神経移植を行うのが一般的である<sup>1)</sup>。その際、移植神経の採取部の条件として、神経が欠損部に必要な太さと長さを持っていること、解剖学的に安定しており、確実に採取ができること、採取による機能的な犠牲が小さいこと、採取部の瘢痕や変形が少ないこと、などが挙げられる。これらの条件を満たす代表的なものに腓腹神経がある。神経移植が必要な部位としては、顔面、上肢の場合が多いが、腓腹神経であれば移植部の手術操作と同時に採取が可能であることも利用される頻度が高い理由である。次に、耳下腺腫瘍切除時の顔面神経欠損に対しては、同じ術野に存在する頸神経叢(特に大耳介神経)が用いられることも多い。さらに、神経と同時に皮膚・軟部組織の再建が必要な際には、皮弁採取部から犠牲の少ない神経を同時に採取して用いれば、余分な術野を必要とせず、神経再建が可能であ

る。これらの他にも、内・外側前腕皮神経、橈骨神経皮枝、外側大腿皮神経などの報告は見られるが<sup>2)</sup>、感覚障害の大きさなどから現在ではあまり用いられていないと思われる。本稿では、現在、遊離自家神経移植として用いられている主な神経の採取に関して、神経採取に必要な皮切を中心に述べる。

### 腓腹神経

腓腹神経は、内側腓腹皮神経と総腓骨神経からの皮枝である腓腹神経への交通枝が合流した感覚神経で、足関節外顆から足背部外側にかけての感覚を支配している。過去においては腓腹神経の走行に沿って皮膚を全切開し、神経を採取していたと思われるが、瘢痕拘縮を防ぐ意味でも、現在では神経の走行に従って、数か所の小切開をおく方法が一般的である。以下に神経採取の方法を述べる。

#### 1. 腓腹神経の走行(図1)

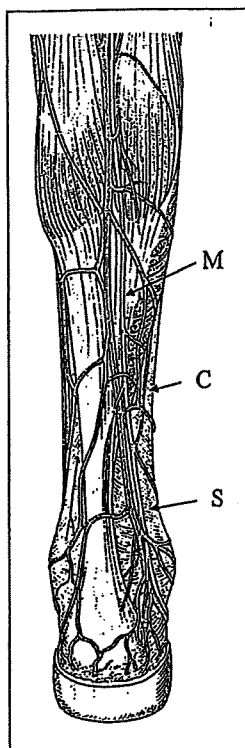
膝窩を通過する脛骨神経から分枝した内側腓腹皮神経は、腓腹筋の外側および内側頭の間を下降し、下腿の1/2の高さ、あるいはもう少し高いレベルで下腿筋膜を貫き、筋膜上をさらに下降する。そして、総腓骨神経の腓腹神経との交通枝と合流し腓腹神経となり、アキレス腱の外側を下降し、

\*1 Akihiko TAKUSHIMA, 〒181-8611 三鷹市新川 6-20-2 杏林大学医学部形成外科, 准教授

\*2 Kiyonori HARIU, 同, 教授

図 1.  
腓腹神経の走行を示す  
シエーマ

M：内側腓腹皮神経  
C：交通枝  
S：腓腹神経



外顆の後縁を回り込んで足の外側縁に出る。

## 2. 採取方法

大腿部に駆血ターニケットを巻いた上で、膝関節以下を清潔野とし、下腿の外側から後面が視野に入るように術野を確保する。最初の皮切は、足関節外顆の後縁とアキレス腱部の間にある陥凹部から開始する<sup>3)</sup>。この部位から開始するのはこの位置が一番腓腹神経を露出しやすいからである。この部位で腓腹神経は外顆を回り込むようにして足背部へ向かっているの、皮切は外顆の形に合わせて、少し弯曲させてデザインする。皮膚切開を行った後、皮下脂肪組織内、筋膜上で小伏在静脈と伴走する腓腹神経が容易に確認できる。これより遠位で足背に向かって腓腹神経はいくつかの分枝に分かれるので、指神経の再建など細く、短い神経が必要な場合は、その分枝のいずれかを用いる。この際、分枝がかなり遠位側に存在している場合があり、その場合は足背部に皮膚切開を追加することになるが、足背部の瘢痕は目立つため、切開はできるだけ避けた方がよい。ある程度以上の長さで太さの神経が必要な時は、分枝手前より近位側で神経を採取する。

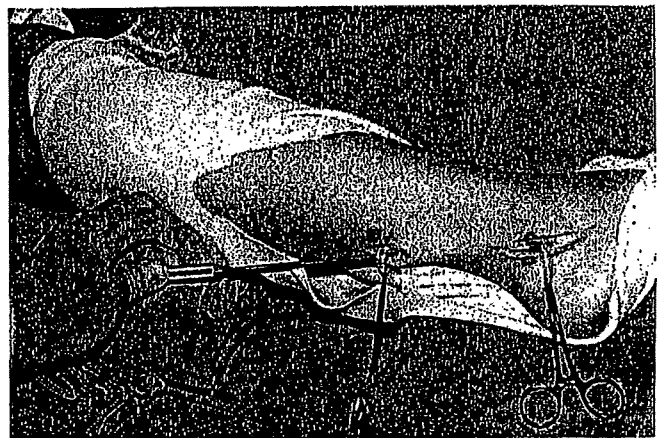


図 2. 剝離子を用いて神経周囲の剝離を行う。

まず、最初の皮切から神経を血管テープなどで確保し、中枢側に向かって剝離を進める。この際、腓腹神経と伴走している小伏在静脈を損傷しないように注意する。腓腹神経は外顆外側縁から下腿後面の正中に向かって走行しているが、ある程度剝離が進めば、血管テープに軽く緊張をかけるだけで触診によって腓腹神経がどのあたりを走行しているかがわかる。これを利用して2番目の皮切をおくが、我々は、だいたい1番目の皮切より8～10 cm 程度中枢側で、下腿長軸に沿って縦方向に約2 cm の皮切をおいている。横方向に皮膚切開をおくべきであると考える人もいるが、横方向の皮切では神経に沿った術野が縦切開より展開しにくいので、1つの切開部から剝離できる神経の長さが限られる。この2番目の皮切から脂肪組織内で神経を露出後、必要に応じて神経剝離子などを用いて遠位側に剝離を行い、1番目の皮切との間の神経剝離を完全にする(図2)。そして、近位側に剝離を行うが、ほぼその途中で腓腹神経は下腿後面の正中に向かう内側腓腹皮神経と外側を走行する交通枝に分かれる<sup>4)</sup>(図3)。

通常は内側腓腹皮神経を用いるが、交通枝の分枝後に内側腓腹皮神経は、下腿のほぼ正中から少し外側寄り腓腹筋筋膜を貫いて、膝窩へと深層に向かう。筋膜を貫通するところより遠位では、前と同様に血管テープで緊張をかけることにより神経の走行はわかるので、それに従って3番目の皮切をおく。緊張をかけても神経の走行がはっきりしないようであれば、その近辺で筋膜を貫いて

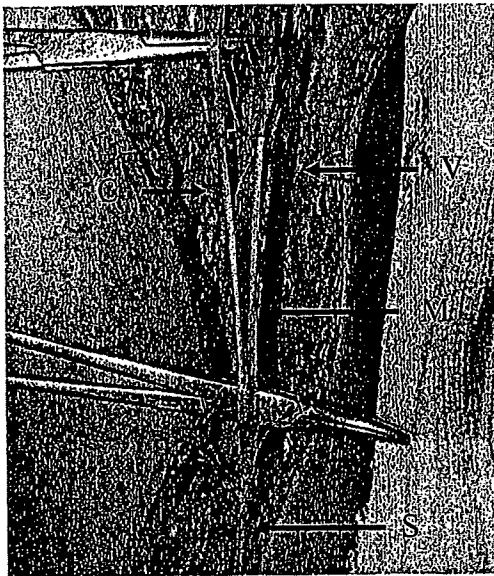
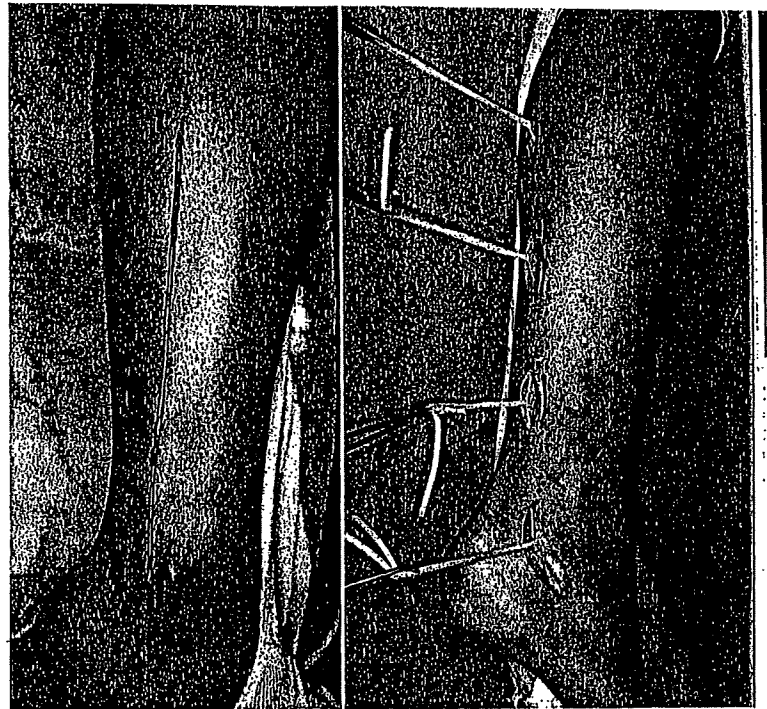


図 3. 左下腿を後面から見た場合の、内側腓腹皮神経(M)と外側を走行する交通枝(C), 腓腹神経(S), および小伏在静脈(V)の位置関係を示す。

神経採取の際にこの様な長い皮切はおかないので、このように見えるわけではない。



a. 3か所の皮膚切開を行い、約20 cmの神経採取を行った。 b. 4か所の皮膚切開を行い、約25 cmの神経採取を行った。

図 4. 腓腹神経採取のための皮膚切開を示す。



図 5. 腓腹神経採取を内視鏡下に行えば2か所の皮切で十分である。

いる証拠なので下腿正中に切開をおき、筋膜を貫通している部位を探す。このようにして、合計3ないし4か所の皮切をおくことにより、20~30 cmの長さの神経を採取することができる(図4)。神経を最終的に採取する上で重要なことは、神経を切離する前に、神経周囲の剝離が完全であること、分枝が完全に切断されていることを確認すること

である。剝離が不十分な段階で神経の遠・近位端を切離してしまうと、採取が非常に難しくなる。

一方、1990年代に入って腹腔鏡下胆嚢摘出術が外科領域に導入されて以降、形成外科・美容外科領域でも鏡視下手術は急速に広まり、腓腹神経の採取においても内視鏡を利用した報告が見られる<sup>9)</sup>。我々は、内視鏡を用いれば下腿中央に1か所の切開をおくのみで採取が可能であるとする報告を行った<sup>9)</sup>。しかし、腓腹神経の走行は下腿中央付近では変異が多く、下腿中央の皮切から腓腹神経を露出するのは神経採取に慣れた者でも容易ではない。また、その一か所だけから必要な長さの腓腹神経を剝離し、採取することも容易ではなく、かなりの採取時間、労力を要する。最近では、内視鏡を用いる場合でも、最初の切開はやはり外顆後縁から行い、まず直視下に剝離を行い、次に内視鏡を挿入した上で剝離を行う。十分に近位側に剝離が行われた段階で、下腿中央付近にもう1か所の皮切をおき、内視鏡補助下に腓腹神経を採取する(図5)。この方法は、皮切が二か所にはな



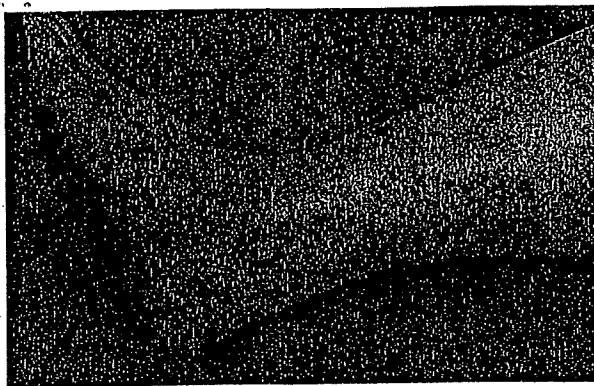


図 6. 腓腹神経採取から1年後の瘢痕を示す。

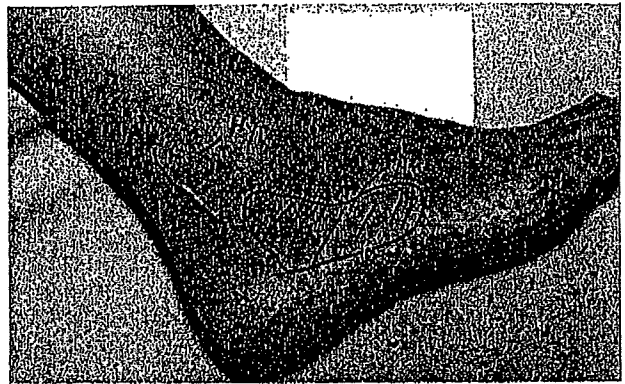


図 7. この症例における腓腹神経採取後の感覚低下部分 (Hyp)と無感覚部分4(Ane)を示す。

るものの、通常の方法と採取に要する時間も変わらず、十分に内視鏡の利点を生かしたものであると考えている。

### 3. 瘢痕と後遺症

神経採取の際には筋鉤などで皮膚を牽引しながら剝離を行うためか、皮切の瘢痕は比較的目立つことが多い(図6)。できるだけ短い長さの皮切で採取を行い、できれば内視鏡を用いて一か所でも皮切の数を減らす努力が必要であろう。

腓腹神経採取による知覚麻痺・鈍麻領域は、術直後より時間が経過すれば次第に減少し、ほとんど生活に支障をきたすことはないが、それでも靴などがあたる時の違和感を訴える患者も見られる(図7)。

## 頸神経叢

### 1. 頸神経叢の走行(図8)

頸神経叢の知覚神経は、胸鎖乳突筋の後縁、筋体中央の高さで筋膜を貫いて、ここでいわゆる神経点を作る。ここから分枝する大耳介神経は、胸鎖乳突筋を乗り越えて上行し、通常2枝に分かれて耳介に分布する。頸横神経は神経点から胸鎖乳突筋と外頸静脈の間を横走し、顔面神経の頸枝とともに頸神経ワナを形成する。大耳介神経や頸神経ワナの分枝を利用して、顔面神経の再建が行われる。

### 2. 採取方法

頸神経叢とその分枝である大耳介神経を移植神経として用いるのは、専ら耳下腺腫瘍切除時における顔面神経の欠損に対してである。特に、大耳介神経の採取により生じる耳介周囲の感覚障害は

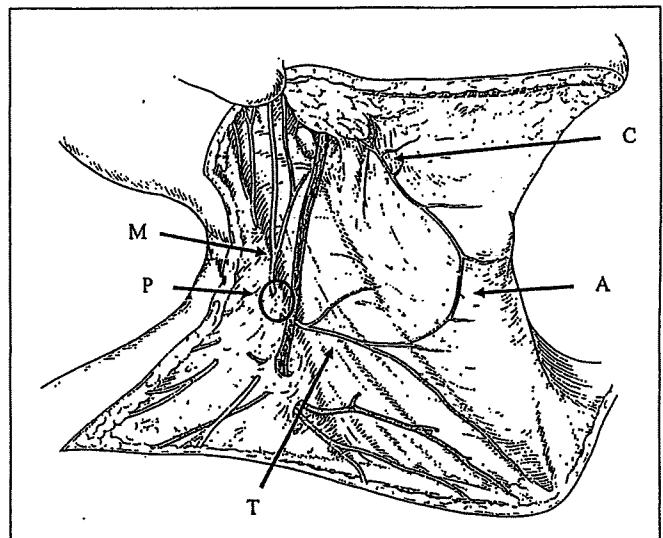


図 8. 頸神経叢の走行を示すシエーマ  
P: 神経点, M: 大耳介神経, T: 頸横神経  
C: 顔面神経の頸枝, A: 頸神経ワナ

患者にとって煩わしいものであるため、他部位の神経欠損に対して大耳介神経を移植床神経として用いることはない。したがって、大耳介神経の採取は、耳下腺腫瘍を摘出するための皮膚切開から採取が可能であり、新たな皮膚切開をおく必要がないのが利点である。しかし、顔面神経のすべての分枝を再建するためには、数本の移植神経が必要であり、大耳介神経では長さが不足することも多い。その場合には、皮切を延長して頸神経ワナを含めて採取するか、あるいは腓腹神経を移植神経として用いる。我々は、長く採取できて、顔面神経の各分枝ごとに分割して移植できる腓腹神経を用いることにより、異常共同運動が起こるのを

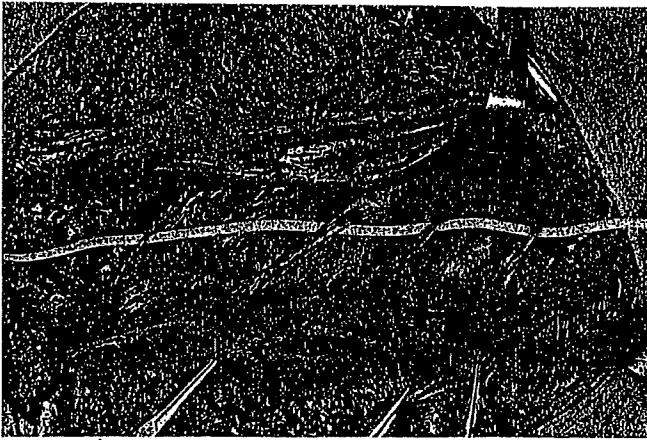


図 9. 腹直筋皮弁の採取と同時に肋間神経を採取しているところ

できるだけ阻止している。

#### 皮弁採取部の神経

神経移植のみが必要であれば上述した腓腹神経や大耳介神経が移植神経の中心となる。しかし、神経だけでなく、皮膚・軟部組織欠損があり、皮弁などによる再建が必要な場合、その皮弁を採取する部位から神経を採取することを考慮すべきである。そうすれば神経を採取するための新たな皮切をおく必要はない。ただし、運動神経を採取することによる運動機能の低下がないこと、感覚神経であれば感覚障害が最小限であることを考慮した上でこの方法は成立する。具体的には我々は、耳下腺悪性腫瘍摘出後の皮膚・軟部組織欠損を伴う顔面神経欠損に対して、腹直筋皮弁と同時に肋間神経を採取し、これを用いて顔面神経の再建を行っている<sup>7)8)</sup>(図9)。

#### まとめ

神経欠損に対して自家遊離神経移植を行う際には、必要な神経の太さと長さを考慮して選択する必要がある。腓腹神経はこの条件を満たすものとして多用されるので、本稿ではその採取方法を中心に述べた。皮切は採取する長さによって、3~4か所を下腿におき採取するが、内視鏡下を用いればその数を減らすことができる。腓腹神経以外では頸神経叢(特に大耳介神経)が用いられるが、耳

下腺腫瘍切除時には、腫瘍切除に必要な皮切から神経を採取することができる。この他には、皮弁を採取するところから移植神経を採取することも考慮すべきである。

#### 文 献

- 1) Seddon, H. J. : The use of autogenous grafts for the repair of large gaps in peripheral nerves. *Br J Surg.* 35 : 151-167, 1947.  
Summary ケーブルグラフトの詳細を記した初期の文献である。
- 2) Seddon, H. J. : *Surgical disorders of the peripheral nerves.* pp.297-310, Churchill Livingstone, Edinburgh, 1975.
- 3) Hill, H. L., Vasconez, L. O., Jurkiewicz, M. J. : Method for obtaining a sural nerve graft. *Plast Reconstr Surg.* 61 : 177-179, 1978.  
Summary 現在でも標準的な腓腹神経の採取方法をわかりやすく解説している。
- 4) Strauch, B., Goldberg, N., Herman, C. K. : Sural nerve harvest : anatomy and technique. *J Reconstr Microsurg.* 21 : 133-136, 2005.  
Summary 腓腹神経の採取に沿った解剖とストリッパーを用いた採取方法を解説している。
- 5) Capek, L., Clarke, H. M., Zuker, R. M. : Endoscopic sural nerve harvest in the pediatric patient. *Plast Reconstr Surg.* 98 : 884-888, 1996.
- 6) 菅原康志, 波利井清紀, 朝戸裕貴 : 内視鏡を用いた腓腹神経採取の経験. *日形会誌.* 16 : 7-11, 1996.  
Summary 顔面交差神経移植を行うための腓腹神経採取を内視鏡を用いて行った経験の詳細を報告している。
- 7) Takushima, A., Asato, H., Harii, K., et al. : Simultaneous harvest of intercostal nerves and elevation of rectus abdominis musculocutaneous flap for facial nerve cable grafting. *Plast Reconstr Surg.* 110 : 541-544, 2002.  
Summary 移植神経の新しい採取部として、遊離腹直筋皮弁を採取する際に、同時に肋間神経を採取する方法を述べている。
- 8) Iida, T., Takushima, A., Asato, H., et al. : Extensive actinomycosis of the face requiring radical resection and facial nerve reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 59 : 1372-1376, 2006.

特集 顔面非対称の治療戦略

## 顔面非対称の治療

—軟部組織再建の治療法について—

多久嶋亮彦 岡崎 睦 波利井清紀

---

The Japanese Journal of Plastic  
Surgery, Vol. 51, No. 11, 2008  
形 成 外 科  
第 51 卷 第 11 号 別 刷  
克 誠 堂 出 版 株 式 会 社

## 特集 顔面非対称の治療戦略

## 顔面非対称の治療

— 軟部組織再建の治療法について —

多久嶋亮彦\* 岡崎 陸\* 波利井清紀\*

Key words : 非対称 脂肪移植 脂肪注入 遊離組織移植 マイクロサージャリー

## はじめに

顔面の非対称は機能的に問題がない場合でも他人に奇異な印象を与えるため、患者のQOLを著しく損なう要因となる。また、顔面は形態的にまったくの左右対称ではないことが多いが、小さな非対称であっても患者にとっては大きなストレスになっていることもあり、これらは形成外科医として積極的に治療すべき対象となる。顔面非対称の原因としては、hemifacial microsomia (HFM) などの先天異常、ロンバーグ病、強皮症などの変性疾患、外傷、腫瘍切除後、顔面神経麻痺などの多くの疾患が挙げられる。しかし、原因が何であれ、形態的な治療は硬組織と軟部組織の再建に大別される。

原則としては、硬組織の低形成に対しては硬組織による再建を行うべきであり<sup>1)</sup>、特にHFMにおける咬合不全など機能的な問題が大きい場合は、咬合の改善などを目的として、骨切りや骨延長術が治療の中心となる。また、上顎欠損による眼位の異常や、下顎欠損に対しては骨移植が行われない限り、機能的、整容的な修復は難しい<sup>2)</sup>。しかし、軽度の硬組織の低形成などであれば、軟部組織のみを再建するだけで、整容的には十分に改善できる

ことも多い。これとは逆に、硬組織の再建のみでは整容的な改善は十分ではないこともあり、硬組織再建後に治療の仕上げとして軟部組織の再建を必要とすることも多く、軟部組織の再建の重要性を示している<sup>3)</sup>。

本稿では、顔面非対称における軟部組織の再建に関して、手術の適応、時期、治療法を選択を中心に述べる。

## I 軟部組織再建の適応と時期

顔面非対称の原因となっている組織の低形成や欠損に対して、まず硬組織再建が必要かどうかを検討する。HFMなど先天性疾患を中心に、幼小児の患者に対して軟部組織、硬組織の両方に外科的治療が必要な場合、硬組織再建を優先させ、それが終了した後に軟部組織の再建を行うのが一般的である<sup>4)</sup>。しかし、下顎骨の低形成が軽度である場合などは、侵襲の大きな硬組織の再建を行っても整容的改善は効果的でない場合も多く、軟部組織の再建のみの方が形態的には対称に近づき、良好な結果が得られる<sup>5)</sup>。また、ロンバーグ病などでは、多少の硬組織の低形成が見られる場合でも、多くは軟部組織再建によって非対称性は改善される<sup>6)</sup>。そして手術時期に関しては、対象疾患にもよるが、患者や家族の精神的負担を考慮すれば、軟部組織の再建は必ずしも成人になるまで待つ必要はなく、成長過

\*杏林大学医学部形成外科