

초미세수술을 이용한 하지재건의 기술적 고찰

이희종, 김성찬, 김규남*, 윤치선, 홍준표*

울산대학교 의과대학 울산대학교병원, *서울아산병원 성형외과학교실

Techniques in Lower Extremity Reconstruction with Supermicrosurgery

Hee Jong Lee, Sung Chan Kim, Kyu Nam Kim*, Chi Seon Yoon, Joon Pio Hong*

Department of Plastic Surgery, Ulsan University Hospital, Ulsan, *Asan Medical Center, Seoul, University of Ulsan College of Medicine, Korea

Purpose: The concept and development of perforator free flaps have led to significant advances in microsurgery. Ongoing developments in perforator free flap surgery are aimed at reducing complications and improving surgical outcomes. The aim of this study was to evaluate the effectiveness and application of supermicrosurgery in free flap surgery.

Materials and Methods: A total of 267 patients with soft tissue defects of the lower extremity due to various etiologies from January, 2007 to January, 2013. The patients received either an anterolateral thigh free flap (n=83), a superficial circumflex iliac artery free flap (n=152), an upper medial thigh free flap (n=19), or a superior gluteal artery perforator free flap (n=13). Microanastomosis was performed using a perforator-to-perforator technique, either end-to-end or end-to-side.

Results: The mean postoperative follow up period was eight months (range: one to 16 months) and flap loss occurred in 11 cases out of 267. All cases of flap loss occurred within two weeks of surgery due to either arterial insufficiency (n=5) or venous congestion (n=6).

Conclusion: Supermicrosurgery enables the selection of the most efficient perforator for microanastomosis at the defect site. It also reduces the time required for dissection of recipient vessels, and reduces the possibility of injury to major vessels. Microsurgery using a vessel of less than 1 mm has been reported to increase the risk of flap failure; however, using the most advanced surgical tools and developing experience in the technique can produce success rates similar to those found in the literature.

Key Words: Supermicrosurgery, Limb salvation, Perforator free flap

Received April 1, 2013
Revised May 1, 2013
Accepted May 4, 2013

Correspondence to: Joon Pio Hong
Department of Plastic Surgery, Asan Medical Center, 388-1, Poongnap 2-dong, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea
Tel: +82-2-3010-3606
Fax: +82-2-476-7471
E-mail: joonphong@amc.seoul.kr

서론

미세수술에 있어서 새로운 도구의 개발과 기술의 발전은 사지구제술의 발전을 이루었고 그 결과 지난 30년에 걸쳐 사지구제술이 효과적으로 상승하였다.¹ 하지재건에 있어 단순한 연부조직재건뿐만 아니라 기능적인 회복 및 미용적 개선을 고려하게 되었으며 이는 미세수술을 통하여 가능하였다. 현재 미세수술은 발전을

거듭하여 천공지피관과 초미세수술을 이용한 유리피관술의 개념까지 확장되었고 이는 수술의 합병증을 줄이고 더 좋은 결과를 얻는 것을 목적으로 한다. 유리피관술은 복합적인 결손의 경우 주변 조직을 이용하여 재건할 수 없을 때 풍부한 혈행성을 바탕으로 선택할 수 있는 재건방법 중 하나이지만, 성공적인 이식을 위해 미세수술 시술자의 능숙능란함과 믿을 수 있는 수여부의 혈관이 존재해야 한다.^{2,3} 특히 적절한 수여부의 혈관을 찾는 것은 기술적으

로나 환자의 상태에 따라 어려울 수 있으며 경우에 따라 추가적인 정맥이식이 필요할 수 있다. 이와 같은 상황에서 초미세수술을 하나의 해결책으로 제시할 수 있다.

초미세수술은 직경 0.8 mm 미만의 미세혈관을 현미경을 이용하여 문합하는 것으로 정의한다.⁴⁻⁷ 이는 림프부종 환자의 치료에서 림프관-정맥 입환술에 주로 이용되었고 그 외에 특정 적응증에 한하여 연부조직의 재건에 산발적으로 이용되었지만 이를 하지재건에 이용한 문헌적 고찰은 없었다.⁶⁻¹² 본 연구는 하지재건 시 초미세수술을 이용한 유리피판술의 효용성 및 적용을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

연부조직의 결손으로 서울아산병원 성형외과에 내원하여 치료를 받은 총 267명의 환자를 대상으로 하였다. 모든 환자들은 초미세수술을 시행받았고 하지재건을 전방외측대퇴부천공지 유리피판술(anterolateral thigh perforator free flap; 83예), 얇은영덩취돌이동맥천공지 유리피판술(superficial circumflex iliac artery perforator free flap; 152예), 상방내측대퇴부천공지 유리피판술(uppermedial thigh perforator free flap; 19예), 상둔동맥천공지 유리피판술(superior gluteal artery perforator free flap; 13예)이 이용되었으며 미세혈관 문합은 천공지와 천공지를 단-단 문합(211예), 단-측 문합(56예)으로 하였다.

수술 전 평가

수술 전 하지 결손의 평가에 있어 이학적 검사를 가장 먼저 시행하는데 결손부의 위치, 크기, 깊이 등을 관찰하여 그 윤곽을 인지하고 원인에 따른 손상 부위(zone of injury)를 평가한다. 공여부와 수여부의 천공지 및 주요 혈관의 평가를 위해 모든 환자에게 하지혈관 조영 컴퓨터 단층 촬영(computed tomography

angiograms of the lower extremity)을 시행하였고, 인공물에 의한 음영이 발생하여 결과의 지장을 초래할 경우 고식적인 혈관조영술을 시행하여 주요 혈관의 개통성을 확인하였다. 비개통성 혈류를 보이는 경우에는 경피적 혈관성형술 및 혈관이식우회로술을 시행하여 말초의 혈류개선을 도모하였다. 초음파 도플러 검사법으로 연부조직 결손 주변부의 수여부가 될 만한 천공지들과 공여부 피판의 천공지들을 표지하고 그 크기로 신호의 강도를 함께 나타내었다. 이후 이면성 초음파검사법(duplex ultrasonography)으로 공여부와 수여부 천공지의 혈류속도를 측정하여 15~20 cm/sec 이상인 천공지를 선택적으로 표지하였다 (Fig. 1).

수술 기법

수술 전 적절한 변연절제술로 결손부의 준비가 필요하며 그 범위는 뼈를 포함하기도 한다. 만약 정형외과적인 뼈 고정술이 필요할 경우 이는 연부조직 재건술을 시행하기 전에 마쳤다. 초음파 검사법을 이용하여 수여부와 공여부의 천공지들을 다시 한 번 확인하여 수술 준비를 마친 후에는 두 개의 팀으로 나눠 동시에 수술을 진행하였다. 우선 광학확대경을 통해 수여부 천공지 주변의 박리를 시작하며 그 위치가 확인된 경우 현미경을 이용하여 박리를 계속하였다. 이후 문합에 이용할 천공지를 선택할 때 손상 부위(zone of injury)에 포함되는지 여부보다는 맥박(pulse)이 강한 것을 우선으로 선택하였다. 만약 천공지의 내경이 작을 경우 근막 아래로 추가적인 박리를 시행하여 적절한 내경을 확보할 수 있다. 수여부 천공지의 깊이에 따라 공여부 피판경(pedicle)의 길이가 결정되는 것이다. 대개 천공지에 동반하는 정맥을 환류에 이용하지만 만약 천공지 박리 과정 중에 표층 정맥이 발견된다면 이를 이용할 수 있으므로 조심스레 분리확보해 두는 것이 좋다. 동시에 두 번째 팀은 공여부의 천공지피판을 거상하며, 필요에 따라 수여부와 마찬가지로 근막 아래로 추가적인 박리를 시행할 수 있

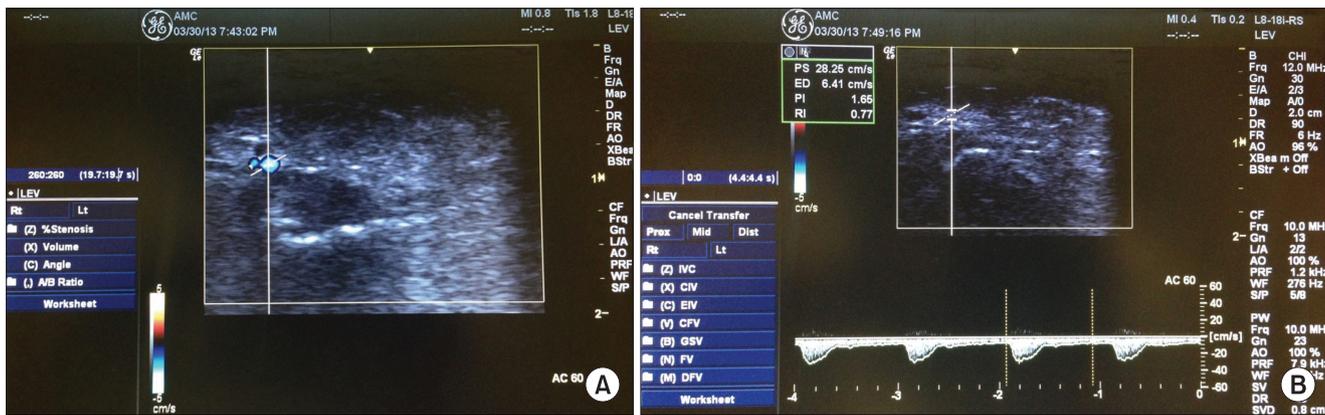


Fig. 1. (A) Pedicle artery is traced using duplex ultrasonography, color mode. The image shows the cursor placed to the traced pedicle artery. (B) Using the doppler mode, the flow is visualized and the peak velocity is calculated after freezing the test.

지만 이 경우 원천동맥(source artery)까지 박리하는 경우는 드물다.^{13,14} 공여부의 피판경을 절단하기 전에 반드시 수여부의 천공지를 먼저 절단하여 강한 박동성의 혈류 흐름을 확인하였다. 초미세수술용 확장기(dilator)를 이용하여 미세문합 전에 천공지의 내경을 0.5~0.8 mm의 너비로 확보한 후 50-에서 30- μ m 바늘(11-0 또는 12-0 나일론)로 봉합하였으며 천공지의 내경이 0.5 mm 이하일 경우에는 12-0 나일론으로 봉합하였다(Fig. 2).

봉합은 천공지 단면의 둘레를 따라 최소 6땀(평균 9땀) 시행하며 봉합 과정 중에 혈관의 연축(spasm)을 예방하기 위해 4% lidocaine solution을 피판경에 수시로 분사하였다. 바늘의 굵기가 가늘기 때문에 초미세수술에 적합한 정교한 수술기구를 이용해야 하며 혈관의 연축(spasm)이 발생할 수 있으므로 천공지를

다룰 때는 각별한 주의가 필요하다. 문합을 끝낸 다음 피판 변연부에서의 출혈 정도와 그 색을 확인한 후 문합부위의 긴장상태가 없는 상태에서 결손 부위를 주의하여 덮어주었다(Fig. 3).

수술 후 지방-프로스타글란딘 E1 (Eglandin; Welfide, Seoul, Korea) 10 μ g을 5% 포도당 용액에 섞은 후 네 시간 이상에 걸쳐 5일 동안 정맥주입했으며, 3,800 IU의 저분자량 헤파린(Fraxiparin; Sanofi-Aventis, Paris, France)도 5일 동안 피하주입하였다. 환자 뼈의 상태에 따라 보행은 수술 후 5일에서 7일 사이에 허용하고 특별한 문제가 없는 경우 10일 이내에 퇴원하였다. 보행을 시작할 무렵까지 8시간 간격으로 하루 세 차례 이면성 초음파검사법으로 미세문합혈관의 혈류속도를 측정하여 그 값이 수술 전과 비교하여 유사한 값을 가지는지 확인하였다.

결 과

환자들의 나이 범주는 16세부터 82세(평균 45세)였으며 결손의 원인은 당뇨발을 포함한 혈관인성 궤양(144예), 외상(51예), 종양 절제(38예), 화상(14예)으로 인해 발생한 반흔 구축의 제거 등이었다. 피판의 평균면적은 11 \times 7 cm이었다(범위, 7 \times 4 cm~30 \times 16 cm).

수여부 천공지를 박리하는 데 소요된 시간은 기존의 고식적 유리피판술보다 약 10분에서 30분 감소하였고 공여부의 피판경을 박리하는 데 소요된 시간은 기존보다 약 20분에서 40분 감소하였다. 미세문합은 단-단 문합, 단-측 문합으로 이루어졌으며 공여부와 수여부의 천공지에 각각 동반하는 정맥을 서로 미세문합하였고 경우에 따라 수여부의 천공지에 동반하는 정맥이 아닌 표면

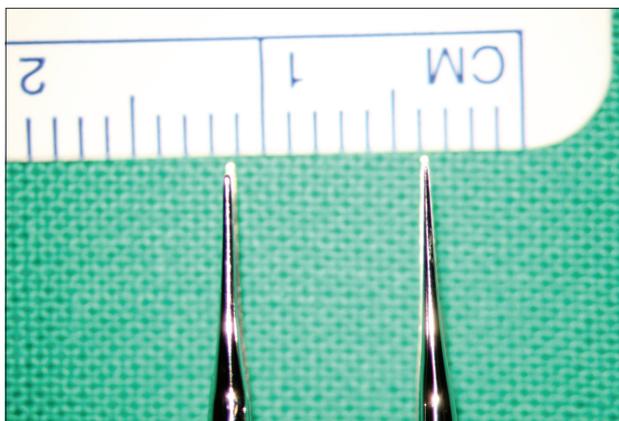


Fig. 2. Left: dilator for microvascular surgery, right: dilator for supermicrovascular surgery.

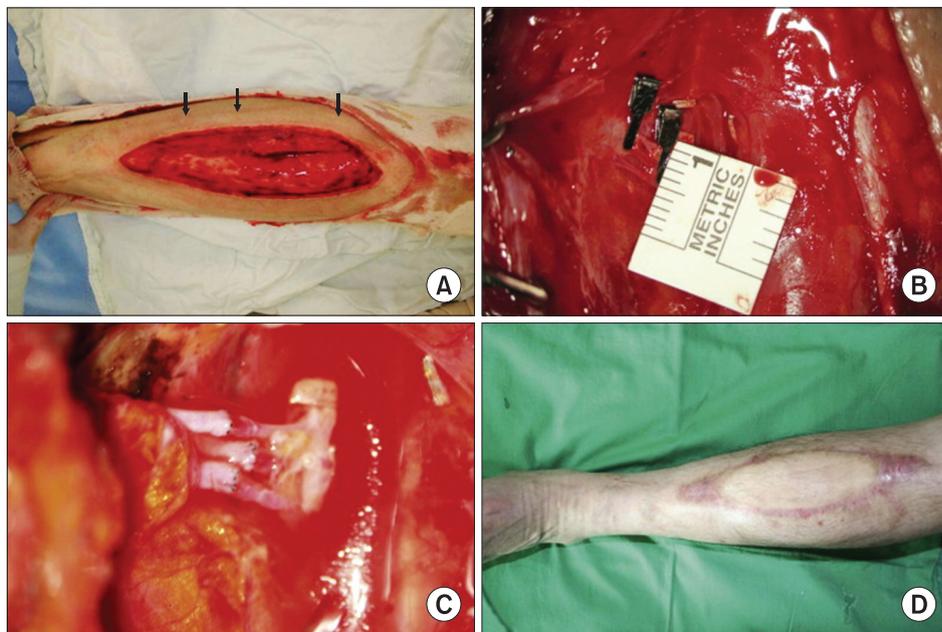


Fig. 3. (A) The application of supermicrovascular surgery (perforator to perforator anastomosis) on the lower extremity is shown. A patient with chronic osteomyelitis is seen after debridement. Arrows remark perforator vessels around the defect. (B) A recipient perforator was located adjacent to the defect margin piercing the fascia with a good visual pulse. (C) After the elevation of anterolateral thigh with a short perforator pedicle segment, anastomosis is performed. (D) The flap is shown to have good contour without recurrence of infection.

Table 1. Total failure rate and cause

Flap	Total failure	Cause	
		Arterial insufficiency	Venous congestion
Superficial circumflex iliac artery perforator free flap	152 6 (3.9)	2	4
Anterolateral thigh perforator free flap	83 4 (4.8)	2	2
Uppermedial thigh perforator free flap	19 1 (5.3)	1	0
Superior gluteal artery perforator free flap	13 0	0	0
Total	267 11 (4.1)	5	6

Values are presented as number (%) or number only.

정맥과 문합하기도 하였다. 결손 부위와 그 주변에는 적어도 3개 이상의 천공지가 존재하였다.

천공지는 초미세수술용 확장기를 이용하여 그 내강을 확장하였고 미세문합 전 측정된 직경의 평균길이는 0.4~0.9 mm의 범위에 있었으며 동반하는 정맥 직경의 평균길이는 0.4~1.2 mm의 범위에 있었다. 하지 연부조직 재건의 평균 수술시간은 3시간 10분(2시간 30분~8시간)이었다.

수술 후 평균 경과관찰 기간은 8개월이었고(1~16개월), 총 267예 중 11예에서 전체 피판괴사가 발생하였다. 이는 모두 수술 후 2주 이내에 발생하였으며 원인은 동맥부전이 5예, 정맥혈전이 6예였다(Table 1).

고 찰

재건사다리(reconstructive ladder)를 통한 연부조직의 재건은 그 접근방법이 크게 정도를 벗어나지 않아 좋은 가이드라인으로 제시될 수 있지만 해부학적 지식과 미세수술의 기법이 날로 발전함에 따라 중증 외상과 같은 특정 경우에 유리피판술을 이용한 미세수술이 일차 선택의 방법으로 여겨지기도 한다.¹⁵⁻¹⁷ 국소피판술도 많은 발전이 이루어져 왔고 박리과정 중에 발생할 수 있는 주요 혈관의 손상과 생착 실패의 위험성이 낮은 점, 짧은 수술 시간, 박리의 용이함 등의 장점이 뚜렷하지만, 광범위한 결손을 재건하는 경우 기능적 회복과 동시에 우수한 미용적인 결과를 추구해야 하므로 그 한계가 분명하다.¹⁸ 그러므로 국소피판술의 장점을 함께 가지는 유리피판술이 이상적인 재건의 방향으로 제시될 수 있는 것이다.

수술 전 시행하는 하지혈관 조영 컴퓨터 단층 촬영을 통해 많은 정보를 얻을 수 있다. 공여부의 천공지를 확인하는 것은 물론

근막 위 지방조직이 부족하고 주요혈관으로부터 분지되는 천공지의 길이가 짧아 추적하기 어려운 수여부의 천공지까지 확인할 수 있다. 또한 주요혈관의 상태를 평가하는 데도 많은 정보를 제공하는데, 하지로 향하는 주요혈관에서 어떠한 원인에 의해 폐색 또는 협착이 관찰될 경우 박리과정 중에 손상이 발생하지 않도록 주의해야 하며 특히 죽상경화증이 동반된 경우에는 더욱 그러하다. 실제 초미세수술을 이용한 재건대상 환자들 가운데도 상당수는 주요혈관의 죽상경화증이 동반되어 있었다. 대개 천공지는 이환 부위와 멀리 위치하고 서로 이어주는 미세혈관들이 풍부하여 혈류가 유지되므로 미세문합에 큰 영향을 미치지 않는다는 보고가 있으나, 주요 혈관의 폐색 또는 협착이 가역적인 경우 수술 전 경피적 혈관성형술 및 혈관이식외회로술을 통해 천공지까지의 관류압(perfusion pressure)을 정상값으로 유지하고자 하였다. 기존의 주요혈관을 이용한 유리피판술은 혈관확보를 위해 근육층까지 박리해야 하므로 주요혈관의 손상 가능성을 높이고 이로 인한 하지 원위부의 혈류감소를 가져오기도 한다. 근육층의 박리 또한 손상을 유발하여 수술 후 부종을 일으키는데, 이는 외상에 의한 혈관손상의 경우 더 심하게 나타나고 보행시기도 늦춰 환자의 회복에 좋지 않다.^{19,20}

결손 부위 주변의 천공지를 수여부로 문합할 경우 이는 손상 부위 밖에 위치한 혈관을 문합에 이용해야 한다는 통념에 반할 수 있으나 주요혈관을 노출시키지 않아도 되므로 손상의 위험과 수술 부위의 부종 또한 줄일 수 있다. 초미세수술에 있어 수여부 천공지의 중요한 선택 기준으로 손상 부위와의 위치관계보다는 혈관의 유연성(pliability)과 단면 절단 시 관찰되는 풍부한 혈류가 우선되어야 한다.²¹

결손 부위마다 면적과 특히 그 깊이가 다르므로 모든 경우에 초미세수술이 추천되는 것은 아니다. 만약 깊이 위치한 주요 혈관에 접근이 용이하다면 고식적인 유리피판술이 기술적인 면에서 더 유리할 것이다. 따라서 수술방법은 환자의 요구와 결손 부위의 상태에 따라 정해져야 하며 주요 혈관의 상태가 좋지 않거나 박리를 위한 접근이 어려운 경우 초미세수술은 도움이 될 것이다.

고식적인 유리피판술의 경우 피판경의 길이가 충분히 확보되어야 한다. 주요 혈관 원위부의 혈류 흐름을 유지하기 위해 대개 단-측 문합을 시행하는데 이 때 공여부의 피판경을 길게 확보할 필요가 있으며 이는 결과적으로 공여부의 합병증 발생가능성을 증가시킨다. 천공지를 수여부로 할 경우에는 공여부 피판경의 길이가 길지 않아 합병증 발생가능성이 감소하는 것이다.

외상환자의 연부조직 재건은 외부고정장치(Illizarov and modified Ilizarov)가 설치되어 있는 경우가 많아 깊은 위치에서의 미세혈관 문합이 용이하지 않다.^{22,23} 초미세수술의 경우 결손 부위 주변에 위치한 여러 개의 천공지 중에 미세혈관 문합에 가장 용이한 것을 선택할 수 있는 장점이 있다.²⁴

미세수술을 이용한 사지구제(limb salvage)는 많은 발전을 거듭해왔으며 성공적인 재건을 가능하게 하였고, 이제는 이식부위 뿐만 아니라 공여부의 이환율(morbidity) 및 우수한 미용적 결과와 재건의 효율성까지 고려하여야 한다.²⁵⁻²⁷ 일부에서는 직경 1 mm 미만의 혈관을 이용한 미세문합이 피관생착 실패율을 증가시킨다는 보고가 있지만 도구 및 기술의 발전과 함께 수술자의 숙련도가 갖추어졌을 때 다른 문헌에서와 비슷한 성공률의 하지재건을 성취할 수 있음을 확인하였다.^{2,15,18} 초미세수술은 가장 적절한 수여부 혈관을 선택할 수 있도록 하고, 문합을 위한 박리에 소모되는 시간을 줄이고 고식적인 유리피관술의 장점을 그대로 가진다는 점에서 의의가 있다.

REFERENCES

- Heller L, Levin LS. Lower extremity microsurgical reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2001;108:1029-41.
- Khoury RK. Avoiding free flap failure. *Clin Plast Surg* 1992; 19:773-81.
- Hong JP. The use of supermicrosurgery in lower extremity reconstruction: the next step in evolution. *Plast Reconstr Surg* 2009;123:230-5.
- Koshima I, Inagawa K, Yamamoto M, Moriguchi T. New microsurgical breast reconstruction using free paraumbilical perforator adiposal flaps. *Plast Reconstr Surg* 2000;106:61-5.
- Koshima I, Nanba Y, Takahashi Y, Tuskino A, Kishimoto K. Future of supramicrosurgery as it relates to breast reconstruction: Free paraumbilical perforator adiposal flap. *Semin Plast Surg* 2002;16:93-9.
- Koshima I, Nanba Y, Tsutsui T, Takahashi Y, Itoh S, Fujitsu M. Minimal invasive lymphaticovenular anastomosis under local anesthesia for leg lymphedema: is it effective for stage III and IV? *Ann Plast Surg* 2004;53:261-6.
- Hong JP, Koshima I. Using perforators as recipient vessels (supermicrosurgery) for free flap reconstruction of the knee region. *Ann Plast Surg* 2010;64:291-3.
- Koshima I, Nanba Y, Tsutsui T, Takahashi Y. Medial plantar perforator flaps with supermicrosurgery. *Clin Plast Surg* 2003; 30:447-55.
- Schoeller T, Bauer T, Gurunluoglu R, Hussl H, Otto-Schoeller A, Piza-Katzer H, et al. Modified free paraumbilical perforator flap: the next logical step in breast reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2003;111:1093-8.
- Kompatscher P, Manestar M, Schuster A, Lang A, Beer GM. The thoracoacromial vessels as recipient vessels in microsurgery and supermicrosurgery: an anatomical and sonographic study. *Plast Reconstr Surg* 2005;115:77-83.
- Kim JS, Choi TH, Kim NG, Lee KS, Han KH, Son DG, et al. The replantation of an amputated tongue by supermicrosurgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2007;60:1152-5.
- Guzzetti T, Thione A. Successful breast reconstruction with a perforator to deep inferior epigastric perforator flap. *Ann Plast Surg* 2001;46:641-3.
- Hallock GG. Muscle perforator flaps. *Ann Plast Surg* 2007;58:27-33.
- Batchelor JS, Moss AL. The relationship between fasciocutaneous perforators and their fascial branches: an anatomical study in human cadaver lower legs. *Plast Reconstr Surg* 1995;95:629-33.
- Khoury RK, Shaw WW. Reconstruction of the lower extremity with microvascular free flaps: a 10-year experience with 304 consecutive cases. *J Trauma* 1989;29:1086-94.
- Knobloch K, Vogt PM. Integra, negative-pressure wound therapy, triple-nerve decompression, and the reconstructive ladder in diabetic patients with ulcerations. *Plast Reconstr Surg* 2011;127: 2134-5.
- Hong JP. Reconstructive surgery: Lower extremity coverage. In: Neligan PC, Song DH, editors. *Plastic surgery*, volume 4. 3rd ed. New York: Elsevier Saunders; 2013. p. 127-50.
- Parrett BM, Matros E, Pribaz JJ, Orgill DP. Lower extremity trauma: trends in the management of soft-tissue reconstruction of open tibia-fibula fractures. *Plast Reconstr Surg* 2006;117:1315-22; discussion 1323-4.
- Acland RD. Refinements in lower extremity free flap surgery. *Clin Plast Surg* 1990;17:733-44.
- Muramatsu K, Shigetomi M, Ihara K, Kawai S, Doi K. Vascular complication in free tissue transfer to the leg. *Microsurgery* 2001;21:362-5.
- Isenberg JS, Sherman R. Zone of injury: a valid concept in microvascular reconstruction of the traumatized lower limb? *Ann Plast Surg* 1996;36:270-2.
- Hallock GG. Salvage of total knee arthroplasty with local fasciocutaneous flaps. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:1236-9.
- Park S, Han SH, Lee TJ. Algorithm for recipient vessel selection in free tissue transfer to the lower extremity. *Plast Reconstr Surg* 1999;103:1937-48.
- Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Br J Plast Surg* 1987;40:113-41.
- Mathes SJ, Feng LJ, Hunt TK. Coverage of the infected wound. *Ann Surg* 1983;198:420-9.
- Mathes SJ, Alpert BS, Chang N. Use of the muscle flap in chronic osteomyelitis: experimental and clinical correlation. *Plast Reconstr Surg* 1982;69:815-29.
- Ger R. Muscle transposition for treatment and prevention of chronic post-traumatic osteomyelitis of the tibia. *J Bone Joint Surg Am* 1977;59:784-91.