

Free Functioning Muscle Transfer in Brachial Plexus Injury

Jin-Hyung Im¹, Min-Sik Park²,
Joo-Yup Lee²

¹Department of Orthopedic Surgery, Changwon Hospital, Gyeongsang National University, Changwon, Korea

²Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Suwon, Korea

Received: August 14, 2017

Revised: September 4, 2017

Accepted: September 5, 2017

Correspondence to: Joo-Yup Lee

Department of Orthopedic Surgery, St. Vincent's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, 93 Jungbu-daero, Paldal-gu, Suwon 16247, Korea

TEL: +82-31-249-8301

FAX: +82-31-254-7186

E-mail: jylos1@gmail.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/bync/3.0/>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The free functional muscle transfer (FFMT) is the surgical procedure aimed at reconstructing defective or deteriorated muscle function by grafting free muscles including blood vessels and nerves. Since the free gracilis transfer in the facial paralysis was introduced in 1976, there have been many studies and clinical applications of the FFMT in various donor and recipient sites in brachial plexus injury, muscle ischemic contracture, muscle defect after tumor resection, congenital muscular deficit, multiple trauma. When the reconstruction of the nerve is delayed for 9 months to 1 year after the brachial plexus injury, voluntary muscle contracture is impossible even after the nerve regeneration by the irreversible degeneration of the muscles. And it is difficult to obtain adequate function even if nerve transfer or nerve transplantation is performed because the distance to be regenerated is too long. In these cases, the FFMT has been improved the functions of the upper limb in flexion or extension of the elbow, fingers. Many good clinical results of the FFMT have been reported, so the FFMT gets much interests and attentions. The essential things for the successful outcome of the surgery are the anatomical knowledge, the skilled surgical technique and the choice of patients who can meet the indications and receive long-term rehabilitation. Recent advances in surgical techniques will result in improved results of the FFMT.

Keywords: Brachial plexus injury, Free functional muscle transfer

서론

유리 기능성 근 이식술(free functional muscle transfer)은 혈관, 신경을 포함한 유리 근육을 이식하여 결손이 있거나 저하된 근육 기능을 재건하는 것을 목적으로 하는 수술을 말한다. 이 수술을 위해서는 미세수술의 술기인 혈관 문합과 신경 봉합 등에 익숙해져야 할 뿐만 아니라, 근육의 고정과 그 장력을 조절을 통한 관절 기능의 회복에도 풍부한 경험과 지식을 필요로 하므로 가히 미세수술의 정점에 서 있는 수술이라고 말

할 수 있다. 1976년 Harii 등¹이 안면 마비에 유리 박근 이식을 소개한 이후, 1978년 Manktelow와 McKee²가 외상성 근 결손에 대한 적용을 소개하고, 1979년 Ikuta 등³에 의해 상완신경총 손상에 대해 적용을 시작하면서 상완 신경총 손상뿐만 아니라 근육의 허혈성 구축, 종양 절제에 의한 근 결손, 선천적인 근 결손, 광범위한 외상 등에 의해 저하된 근육 기능재건을 위하여 다양한 공여부와 수혜부에 대해서 많은 연구와 임상적 적용이 있었다.

특히 상완 신경총 손상에서 9개월-1년 이상 신경의 재건이

지연된 경우에는 근육의 불가역적 변성 변화로 신경이 회복된 이후에도 근육의 수의적 수축이 불가능한 문제가 있으며, 손목이나 손가락을 움직이는 근육들은 신경이 회복되어야 할 거리가 멀기 때문에 신경 이전술이나 신경 이식술을 시행하더라도 수술로 적절한 기능을 거의 얻기 어려운 실정이다. 이러한 경우에 유리 기능성 근 이식술은 주관절의 굴곡이나 신전, 수지의 굴곡이나 신전 등에서 저하된 상지 근육의 기능을 개선하여 좋은 치료결과들이 보고되고 있어 많은 관심을 받고 있다.

본 종설에서는 상완신경총 손상에 적용할 수 있는 유리 기능성 근 이식술의 종류와 적응증, 수술 술기의 기술적인 부분을 알아보고 현재까지 알려진 기능성 유리근 이식술의 임상결과와 최근의 발전 방향에 대하여 알아보하고자 한다.

기능성 유리 근육피판의 종류와 선택

1. 박근(gracilis)

박근은 대퇴의 내측에 위치하는 표재성 근육으로 5-6 cm의 넓이, 24-30 cm의 길이와 원위부에 10-12 cm 길이의 건 부분을 가지는 폐쇄 신경(obturator nerve)에 의하여 지배를 받는 근육이다. 근섬유의 주행방향이 종축으로 일정하며, 길이의 50%까지 수축하기 때문에 운동(excursion)이 크고, 근육의 근위부에 주된 혈관경과 하나의 운동신경이 존재하여 문합이 쉬우며, 채취 부위에 합병증이 적어 유리근 이식술에서 가장 많이 사용되고 있다. 그러나, 직경이 작아 충분한 근력을 내기엔 어려운 점이 있어 주관절 굴곡에 적합하지 않다는 의견들도 있다.

2. 광배근(latissimus dorsi)

근육의 부피가 크기 때문에 강한 수축력을 가지고 있어 이식 부위에 충분한 힘을 제공할 수 있다. 또한, 직경 2-3 mm, 길이 8-12 cm까지의 충분한 혈관을 가지며, 하나의 운동신경을 가지고 있고, 넓은 피부 피판을 근육과 함께 거상할 수 있다. 다른 근육에 비하여 상대적으로 부피가 크기 때문에 넓은 피부 피판을 이용하여 근육에 작용하는 압력을 줄일 수 있다⁴. 그러나 원위부가 건보다 근육으로 이루어져 있어, 이두박근에 고정하기 쉽지 않으며 양외위에서 피판을 거상하기 어려운 단점이 있다⁵.

3. 대퇴 직근(rectus femoris)

근육의 모양(fusiform)이 이두박근과 유사하며, 직경도 비슷하여 주관절 굴곡 기능에 적합한 것으로 알려져 있다⁶. 채

취 자세가 상지와 동시에 수술하기 쉬우며, 충분히 큰 근육 피판을 피부 피판과 함께 거상할 수 있다. 긴 대퇴신경(femoral nerve)과 함께 충분한 직경의 혈관경을 가지며, 근육의 직경이 큰 편이기 때문에 이식 부위에 많은 힘을 제공할 수 있고, 원위부가 건으로 되어 있어 이식부위에 강하게 봉합할 수 있다. 근섬유 중 천층(superficial fiber)배열이 날개(pennate)형태이며, 근섬유의 길이가 상대적으로 짧아 운동이 짧다는 단점과 함께 공여부의 슬관절 신전력의 약화를 초래할 수 있다⁵.

4. 외측 광근(vastus lateralis)

외측 광근은 두 개의 혈관 공급을 가지고 있다. 근위 2/3까지는 외측 회선 동맥(lateral circumflex artery)의 하행분지(descending branch)의 혈류공급을 받으며, 원위 1/3은 표재 대퇴 동맥(superficial femoral artery)의 3-4개의 천공 분지(perforating branch)로부터 공급을 받는다. 근육 채취 위치에 따라서 8-20 cm 길이, 2-4 mm 직경의 혈관경을 획득할 수 있으나, 근위부에서 혈관 문합을 하는 경우 원위부의 괴사 가능성이 있다는 약점이 있다. 직경 0.7-1.2 mm의 천공혈관을 가지는 8×16 cm² 넓이의 피부 피판도 동시에 거상할 수 있어 근육피부판(myocutaneous flap)형태로 많이 사용된다. 원위부 근육만으로 근피판을 만드는 경우 두께가 10 mm가 넘지 않아 비교적 좁은 공간인 구강 내 근 결손에도 사용할 수 있다⁷.

5. 내측 비복근(medial gastrocnemius)

근육은 평균적으로 22.3 cm의 길이, 6.1 cm의 넓이를 가지며, 혈관경으로 비복동맥을 사용하고 신경은 2개를 박리하여 사용하는데 운동신경으로는 좌골신경의 분지를, 감각신경으로는 비복신경을 사용한다. 평균적으로 15×8 cm² 크기의 근육피부판으로 사용한다. 얇은 피부피판을 가지고 강한 근력을 획득할 수 있으며, 운동이 큰 편이고 근위부와 원위부 모두 건으로 되어 있어 고정에 유리한 점이 있다⁸. 전완부 외상 후 수지 굴곡근 재건에 좋은 결과가 보고되었으며⁹, 상완 신경총 손상 후 주관절 굴곡 재건에서 광배근보다 강한 근력을 얻었다는 연구 결과도 있었다¹⁰.

상완신경총 손상 후 유리 기능성 근 이식술에서 흔하게 사용하는 공여근은 박근, 광배근, 대퇴 직근, 외측 광근 등을 들 수 있다. 이 중에서 이식근을 선택할 때에는 몇 가지 고려해야 할 점이 있다. 우선 얻고자 하는 근력을 고려해야 한다. 대개 근력은 근육의 단면적과 비례하기 때문에 광배근이나 대퇴 직근과 같이 단면적이 큰 근육이 더욱 큰 근력을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 연구 결과에 의하면 대퇴 직근이 이두박근과 가장 단면적이 유사하다고 한다. 두 번째로 고려해야 할

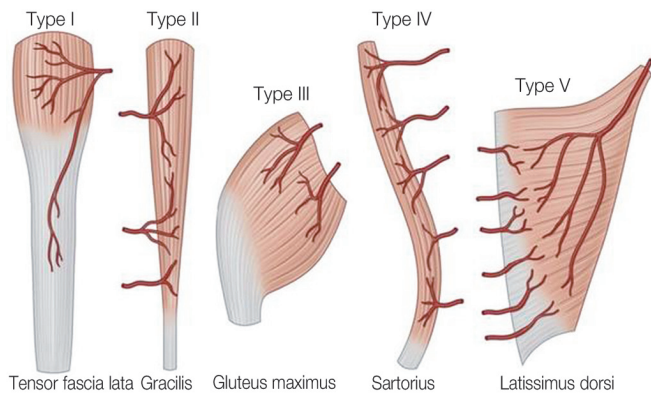


Fig. 1. Mathes-Nahai Classification of muscle.

점은 근육의 운동 거리와 근섬유의 배열방향이다. 잘 알려진 바와 같이 수지의 굴곡은 7 cm의 운동이 필요하다. 운동 거리는 근육의 길이와 비례하는데 박근은 26 cm, 광배근은 23-28 cm 인데 비하여 대퇴 직근은 8 cm에 불과하며, 근섬유의 배열도 종축이 아닌 날개형태이기 때문에 수지 굴곡의 기능에는 대퇴 직근이 부적합함을 알 수 있다. 세 번째로 근육을 지배하는 혈관경의 형태가 중요한데, Mathes와 Nahai¹¹의 분류 (Fig. 1)에 의한 type I이나 II와 같이 하나의 큰 혈관경이 지배하는 근육이 이식술에 유리한 반면에(대퇴 직근은 type I, 박근은 type II) 광배근과 같은 경우에는 type V 근육으로 거상이 매우 힘들고 적절한 혈관경을 확보하기 어려운 단점이 있다.

이를 종합해 보면 주관절의 굴곡에는 대퇴 직근, 수지의 굴곡에는 박근이 적당한 공여근임을 알 수 있다. 상지 기능재건에 있어 박근이 가장 많이 사용되는데, 그 이유는 박근의 길이가 길고 얇아 크기가 적당하고 운동이 커서 수지 운동 기능 등에 사용할 수 있으며 공여부의 이환이 적은 장점이 있기 때문이다. 직경이 작아 근력이 약하다는 의견들이 제시되고 있으나, 박근으로도 충분한 주관절 굴곡력을 얻은 연구 결과가 많이 보고되어 주관절 굴곡 기능재건에 유리 박근 이식술이 가장 많이 사용되고 있다¹².

수술 적응증 및 금기증

상완신경총 손상 이후 대개 9개월-1년 이상 진단 및 치료가 지연된 경우에는 신경 이식술의 결과를 기대하기 어렵기 때문에 유리 기능성 근 이식술이 적응증이 된다. 또한 주위 연부 조직 손상이 심하여 신경 이식술이 불가능하였던 경우나 C5-T1 신경근이 완전히 파열된 경우, 그리고 이전의 신경 이식술, 신경 이식술, 건 이식술 등에 실패한 경우에는 유리 기능성

근 이식술이 상지의 기능 개선에 절대적으로 필요하다고 할 수 있다.

유리 기능성 근 이식술은 매우 복잡한 수술이기 때문에, 대상자의 선정에 매우 신중하여야 한다. 우선 환자의 의지와 약 2년 이상 지속되는 물리치료에 적극적으로 응할 수 있는 준비가 되어 있어야 한다. 이러한 점에서 Stevanovic과 Sharpe⁵는 45세 미만의 젊은 환자들이 적응증에 해당한다고 하였다. 최소한의 연령에 대해서 정론은 없으나, Terzis와 Kostopoulos¹²는 15세 미만에서 유리 기능성 근 이식술을 통하여 주관절 굴곡회복에 있어서 좋은 결과를 발표하였다. 하지만 성장기의 환자에 대한 수술을 고려하는 경우 수술 후 장기간 추시동안 발생할 수 있는 양측 성장의 부조화 및 관절 구축에 대해 환자와 많은 상담이 필요할 것으로 생각된다.

Stevanovic과 Sharpe⁵는 45세 이상의 연령이나, 재생된 근력으로 움직임이 어려울 수 있는 비만인 경우 상대적인 금기증으로, 미세혈류 및 신경재생을 감소시킬 수 있는 당뇨, 말초혈관질환, 자가면역질환, 심혈관 질환, 흡연자들을 절대적 금기증으로 제시하였다. 또한, 혈관문합에 필요한 쇄골하, 액와 혈관(subclavian, axillary vessel)의 손상이 있는 경우도 금기증에 해당한다. 그러나 Hattori 등¹³은 쇄골하, 액와 혈관이 손상된 환자에서 흉견봉, 흉배 동맥(thoracoacromial, thoracodorsal artery)을 이용한 이중 유리 기능성 근 이식술에서 좋은 결과를 발표하며, 쇄골하, 액와 혈관 손상이 동반되어도 견관절 주위에 충분한 측부혈관들이 존재하기 때문에 금기증에 해당하지 않는다고 하였다.

수술 전 고려할 사항 및 검사

1. 재건할 기능의 우선순위

상완 신경총 손상 환자의 경우에는 재건해야 할 기능이 많기 때문에 주관절 굴곡, 견관절 안정성, 수지 굴곡, 수지 신전 등의 순서로 우선 순위를 고려해야 한다. 일반적으로 하나의 근이식을 통하여 하나의 기능을 얻는 것이 원칙이나, 사용할 만한 공여신경이 많지 않은 경우 하나의 근으로 여러 가지 기능의 재건을 도모할 수 있다. Doi 등¹⁴은 한 개의 근으로 두 가지 기능을 도모하는 술식으로 좋은 결과들을 발표하였다. 그러나 한 개의 근으로 여러 가지 기능을 도모하는 경우 원위부까지 전달되는 근력이 약해져 원위부 기능회복이 충분치 않으며, 원위부 운동 시 견고정 효과(tenodesis effect)로 인하여 주관절 운동범위 감소가 일어나기 때문에 하나의 건으로 하나의 기능을 도모하는 것이 좋다는 연구 결과들도 있었다^{4,15,16}.

2. 공여신경의 선택 및 평가

이식된 근의 기능재생을 위해서는 근을 지배하는 신경의 연결이 필요하며, 공여되는 신경으로는 이식부의 근위부에 위치하고, 손상된 상완신경총에 포함되지 않는 척수부신경(spinal accessory nerve)이나, 늑간신경(intercostal nerve)을 주로 사용한다. 따라서 수술 전 척수부신경, 늑간신경의 기능이 적절한지 아닌지에 대한 평가가 필수적이다. 척수부신경에 대해서는 승모근(trapezius)의 근전도를 통하여 기능을 확인할 수 있으며, 늑간신경에 대해서는 근전도를 시행하기 어렵기 때문에 수여될 늑간신경이 위치하는 곳에 동반된 늑골골절과 같은 손상이 있는지 확인하는 것이 중요하다. 승모근을 이용하여 이후 견관절 기능재건을 도모하는 경우, 늑간신경을 우선 사용할 수 있으며, 횡격막신경(phrenic nerve)에 손상이 있는 경우 호흡 기능 저하가 올 수 있으므로 늑간신경보다는 척수부신경을 사용할 수 있다.

3. 수혜혈관의 선택 및 평가

수혜혈관은 공여신경의 근처에 위치하고 비교적 문합이 쉬운 혈관을 선택하게 된다. 척수부신경을 공여신경으로 사용하는 경우 흉견봉(thoracoacromial artery), 견갑상(suprascapular artery), 횡경 동맥(transverse cervical artery) 등을 사용할 수 있으며, 늑간신경을 공여 신경으로 사용하는 경우 견갑하(subscapular artery), 견갑회선(circumflex scapular artery), 흉배 동맥 등을 사용할 수 있다¹³. 성인 상완신경총 손상의 10%의 정도에서 혈관손상이 동반되기 때문에¹⁷ 수술 전 문합을 위한 수혜혈관의 상태를 파악하는 것이 필수적이다. 수혜혈관으로 흉견봉, 흉배 동맥이 주로 사용되기 때문에 쇄골하, 액와 혈관의 손상은 수술의 금기증에 해당하므로 수술 전 arteriogram, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI) angiogram을 통하여 혈관의 혈류 상태를 파악하는 것이 중요하다.

4. 수혜부위 연부조직 및 관절상태 평가

이식된 근육이 효과적인 기능을 나타내기 위해 이식근이 주행하는 경로의 연부조직 상태와 작용하는 부위까지의 관절 상태를 평가해야 한다. 주행 경로의 연부 조직 상태가 활주에 적절한지 평가하고, 그렇지 않다면 건유리술, 관절 유리술과 같은 단계적 수술을 시행하여 유리 기능성 근이식에 필요한 연부조직 상태를 준비해야 한다. 원활한 이식근의 주행을 위해 수술 시 충분한 피부피판을 이용한 근육 피복을 계획할 수 있다. 또한, 관절 상태를 평가하여 기능재건을 도모하는 관절의 수동적 운동범위가 충분한지 확인해야 하며, 경로에 있는

관절 상태의 평가도 동시에 시행하여 이식근의 근력이 주행 중에 소실되지 않도록 관절고정술을 동시에 계획할 수 있다. 예를 들어 수근관절이 불안정한 경우 이식근의 근력이 수지관절에 도달하기 전에 수근관절 안정화에 소실되어 수지관절까지 도달하는 근력이 감소할 수 있다. 이럴 때 효과적인 수지의 기능을 위하여 수근관절의 유합술도 동시에 계획할 수 있다¹⁸. 또한, 원하는 기능의 길항근의 상태도 고려해야 하는데 수지 굴곡 기능을 위해 박근을 이식하는 경우, 주관절의 신전 기능이 원활하지 않다면, 주관절의 전방으로 주행하는 박근이 주관절 굴곡에서 대부분의 근력을 소모할 수 있기 때문이다¹⁴. Terzis와 Kostopoulos¹²은 주관절 굴곡에 대해 근 이식술을 고려하는 경우 주관절 신전기능이 원활하지 않다면 우선적으로 혹은 추후에라도 주관절 신전기능재건이 필요하다고 하였다.

수술 방법

다양한 수술 방법들 중에서 가장 많이 사용되는 주관절 굴곡을 위한 유리 박근 이식술에 대하여 알아보고자 한다.

1. 박근의 채취

박근을 채취하는데 여러 가지 술식이 있으며 최근에는 내시경을 이용한 채취 방법도 소개되었으나, Giuffre 등¹⁹이 소개한 최소절개를 이용한 박근 채취법을 가장 많이 사용하고 있다. 주관절 굴곡을 위한 유리근 채취는 혈관경의 방향 때문에 반대측에서 실시하게 된다. 주된 혈관경은 심부 대퇴 동맥에서 분지되어 근육 기시부인 치골결절(pubic tubercle)로부터 8-12 cm 원위부에 연결되어 있다. 혈관경의 길이는 약 4-6 cm으로 저자의 경험 상 zone of injury 밖의 건강한 수혜혈관과의 문합 시 길이가 짧을 수 있어 최대한 긴 길이를 채취할 수 있도록 노력해야 한다. 지배신경인 폐쇄신경의 전방분지는 혈관경의 상방 2-3 cm 부위에 위치한다. 근위 2/3 부위에서 박근을 거상할 때 천공혈관 손상에 주의하여 박리하면서 약 8×24 cm²의 피부피판을 함께 거상하여 이식 후 순환상태를 평가하거나 이식공간이 좁은 경우 근육을 피복할 수 있다. 되도록 짧은 절개선을 이용하여 공여부의 이환이 적도록 노력해야 한다(Fig. 2).

2. 수혜부의 준비

공여 신경은 3-4 늑간 신경이나 척수부신경을 사용하는데, 대흉근의 하방으로 절개선을 넣고 늑골의 하부를 박리하다 보면 감각 신경과 운동 신경으로 이루어진 늑간 신경을 확인할 수 있다. 수혜 혈관은 흉견봉 동맥과 cephalic vein을 이용



Fig. 2. Harvesting free gracilis muscle flap with skin paddle.

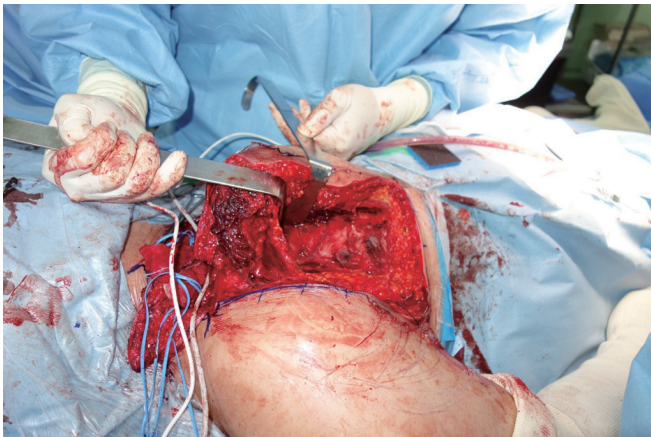


Fig. 3. Elevating pectoralis muscles and dissecting intercostal nerves.

하는데, 상완 신경총 손상 시 함께 손상되었을 가능성이 있기 때문에 박리에 주의하여야 한다(Fig. 3).

3. 이식근의 고정 및 부착

수혜부의 준비가 끝나면 거상한 박근을 쇄골 원위부에 부착한다. 이때 suture anchor를 이용하면 더욱 견고한 고정이 가능하다. 신경이나 혈관을 문합하기 전에 박근의 원위부를 원형 회내근(pronator teres)을 활차로 이용하기 위해 그 아래로 보내어 박근의 적절한 장력을 맞추어 고정하는데, Terzis와 Kostopoulos¹²는 박근 채취 시 이완상태에서 1 cm 간격으로 봉합사로 표시를 하여 고정 시에 이완상태를 확인할 수 있도록 하였다. 근육의 수축과 이완 시에 긴장되지 않는 장력으로 혈관과 신경을 미세수술 기법을 사용하여 봉합하고 fibrin glue로 고정한다. 원위부 고정에 있어 수지 기능재건을 고려하지 않는 경우, 전완부 부착이 더 원위에 있을수록 큰 회전력(torque)을 내는 것으로 알려져 있다^{20,21}. 수술 후 환자의 팔은

외전 보조기에 고정하고 환자를 중환자실로 이송하여 피부판의 상태 및 환자의 상태를 확인한다. 환자의 상태에 따라 수술 후 약 5일에 퇴원할 수 있으며, 수술 후 약 3주간 외전 보조기로 고정하여 혈관 및 신경의 봉합부 파열을 방지하여야 한다.

4. 이중 기능성 근 이식술

C5-T1 신경근이 완전히 파열된 경우 주관절의 기능뿐 아니라 수지의 굴곡, 신전을 통한 파악(prehension) 기능재건을 위하여 Doi 등^{14,22}은 이중 기능성 근 이식술을 소개하였다. 이중 기능성 근 이식술은 크게 다섯 가지 술기로 구성되어 있다. (1) 수술 시 상완신경총의 척수 유발 전위를 탐색하여 가능한 운동 신경과 연결한다. C5의 기능을 검사하여 견갑상 신경과 신경 이식술을 이용한 봉합으로 견관절 안정화를 도모할 수 있다. (2) 첫 번째 유리 기능성 근 이식술은 척수부신경을 공여신경으로 이용하여 주관절 굴곡과 수지 신전을 동시 재건을 도모한다. (3) 첫 번째 수술 2-6개월 후 두 번째 유리 기능성 근 이식술을 시행하며, 5, 6 늑간 신경을 공여신경으로 이용하여 수지 굴곡의 재건을 도모한다. (4) 두 번째 수술 시 3, 4 늑간 신경을 삼두근의 운동 신경으로 이전하여 주관절 신전을 강화하여 주관절의 안정화를 도모한다. (5) 두 번째 수술과 동시에 쇄골상신경(supraclavicular nerve), 늑간신경을 상완신경총 내측삭(medial cord)의 정중신경, 척골신경의 감각분지로 이전하여 수지의 감각회복을 도모한다.

합병증

초기 합병증과 후기 합병증으로 구분할 수 있으며, 혈전 등으로 인한 혈관 재관류의 문제가 가장 큰 초기 합병증이다. 초기 혈관 합병증으로 인한 실패율은 11%-20%로 보고되고 있으며^{4,12,23}, 이러한 혈관 재관류의 확인을 위해 피부피판을 함께 거상하여 이용하고 있으나, 피부보다 근육이 혈류 저하에 민감하고 비가역적 변화가 빨라 다양한 혈류 평가 방법들에 대한 연구들이 진행되고 있다. 감염 역시 초기 합병증으로 보고되고 있다. 대퇴 직근 채취 후 슬관절 신전력의 약화나 늑간 신경 채취 시 늑막 손상과 같은 공여부의 합병증도 보고되고 있다²⁴. 또한, 근육을 고정하는 원위 쇄골의 골절이 보고되기도 하였다⁴. 후기 합병증으로는 근육의 유착이 있으며, 유착박리술 등의 수술로 운동 범위를 향상할 수 있다.

수술 결과 및 고찰

주관절 굴곡에 대한 유리 기능성 근 이식술 후 주관절 운동



Fig. 4. Clinical outcome after free gracilis muscle transfer for elbow flexion.

범위가 최소한 120° , Medical Research Council 4등급 이상, 2.27 kg의 무게를 들어올릴 수 있어야 성공적인 치료 결과로 여겨진다²⁵. Barrie 등¹⁵은 박근을 이용한 유리 기능성 근 이식술 36예의 결과를 보고하였는데, 단일 근 이식술에서 79%와 이중 근 이식술에서 63%의 성공률을 보고하였으며, 이중 근 이식술의 결과가 떨어지는 이유로 유착과 물리치료 부족을 그 이유로 제시하였다. Kay 등²³은 37명의 환자를 대상으로 유리 박근 이식술을 시행한 결과를 발표하였는데, 70%의 환자에서 M3 이상의 근력을 회복할 수 있었고, 피판의 실패는 11%를 보고하였다. Coulet 등²⁶도 79%의 근력 회복을 보고하여 성공률에 큰 차이를 나타내지 않았다. 이처럼 유리 박근 이식술은 약 80%의 성공률을 보고할 정도로 좋은 결과를 얻고 있다(Fig. 4).

더 나은 치료 결과를 위하여 몇 가지 고찰할 점이 있다. 첫째, 이식근의 선택문제이다. Vekris 등⁴은 광배근 이식술 21예에서 약 80%의 환자에서 grade 3 이상의 근력을 회복하였고, 광배근의 크기가 크기 때문에 더 강한 근력을 얻을 수 있다고 하였다. Wechselberger 등⁶은 대퇴 직근의 근력이 박근보다 더 강하다고 하여 주관절 굴곡력을 개선하는 데에는 박근보다 장점이 있다고 하였다. 그러나, Terzis와 Kostopoulos¹²은 주관절 굴곡력의 회복을 위하여 광배근과 박근 이식술을 비교한 연구에서 치료결과에 큰 차이는 없다고 하였다. 이처럼 근육 선택에 있어 다양한 의견들이 있으며, 유리 박근 이식술의 좋은 결과들을 치료 대상의 인종 차이 때문으로 설명하는 연구도 있어, 환자의 신체 크기 및 재건할 관절부위를 고려하

여 이식근을 선택해야 할 것이다. 두 번째는 재건할 기능의 종류이다. Doi 등¹⁴은 이중 유리근 이식술을 소개하며 좋은 결과들을 보고하였지만, 앞서 말한 바와 같이 한계점에 대한 이견들도 있어 회복할 기능에 대해 수술 전 환자와 많은 상담이 필요할 것으로 생각된다. 세 번째는 이식할 신경의 종류 및 개수다. Vekris 등⁴은 공여신경의 수초가 많을수록 효과가 좋을 것으로 생각하여 건측의 경추 7번 신경근이 좋다고 발표하였고, Terzis와 Kostopoulos¹²도 건측의 경추 7번 신경근의 치료 결과가 좋다고 발표하였다. MacQuillan과 Grobbelaar²⁷은 동물 실험 결과 수혜신경과 비슷한 수초의 수를 가지는 공여신경이 재생에 유리하다고 발표하여 주관절 굴곡 기능재건에 있어서 척수부신경, 늑간신경이 좋은 대상이 된다고 하였다. 척수부신경과 늑간신경의 선택에 있어서 Terzis와 Kostopoulos¹², Potter와 Ferris²⁸은 척수부신경을 이용하여 좋은 결과를 발표하였고, Chung 등¹⁶, Kay 등²³은 척수부신경과 비교하여 늑간신경의 결과가 더 좋다고 발표하였다. 또한, Terzis와 Kostopoulos¹², Chung 등¹⁶은 늑간신경 적용에 있어 2개보다 3개의 분지를 이용하는 것이 결과가 좋다고 발표하였다. 이처럼 공여신경의 종류와 개수도 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

유리 기능성 근 이식술의 치료 결과를 향상시키려는 노력들이 계속되어 발표되고 있다. Doi 등²⁹은 이중 유리근 이식술 후 초기에 수동 관절운동을 시킨 치료군에서 유착발생이 되지 않았다고 하였다. Addosooki 등¹⁸은 유리 박근 이식술과 함께 수근관절 고정술(wrist arthrodesis)을 시행하여 수지 굴곡 운동 범위가 증가할 수 있다고 하였다. 가장 흔한 조기 합병증인 혈관 재관류 문제에 대한 수술 후 혈류상태의 monitoring 방법의 개발도 수술 성공률 향상에 중요한 요소이다. Dodakundi 등³⁰은 도플러 기기를 사용하면 피판의 관류 측정에 도움이 된다고 하였으며, 복합 근 활동 전위(compound muscle action potential, CMAP)를 측정하면 혈관의 폐쇄를 보다 초기에 발견할 수 있다고 하였다. 최근에는 유리 박근 이식과 늑간신경의 근피신경(musculocutaneous nerve)으로의 이전술(transfer)을 동시에 시행하여 치료 결과를 향상시키려는 연구도 있었다³¹.

결론

유리 기능성 근 이식술은 상완 신경총 손상의 치료에서 최후의 보루로써 없어서는 안 되는 중요한 치료 중의 하나로 이용되고 있다. 이 수술의 성공을 위해서는 근육, 혈관, 신경에 대한 해부학적인 지식을 가지고 숙련된 수술 술기와 함께 적

응증에 부합하고 장기간의 재활 치료를 받을 수 있는 환자의 선택이 수술 결과에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 최근 피판 추적 방법의 발달 등 새로운 수술 기법의 발전으로 보다 향상된 결과를 가져올 것으로 판단된다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

1. Harii K, Ohmori K, Torii S. Free gracilis muscle transplantation, with microvascular anastomoses for the treatment of facial paralysis: a preliminary report. *Plast Reconstr Surg*. 1976;57:133-43.
2. Manktelow RT, McKee NH. Free muscle transplantation to provide active finger flexion. *J Hand Surg Am*. 1978;3:416-26.
3. Ikuta Y, Yoshioka K, Tsuge K. Free muscle graft as applied to brachial plexus injury-case report and experimental study. *Ann Acad Med Singapore*. 1979;8:454-8.
4. Vekris MD, Beris AE, Lykissas MG, Korompilias AV, Vekris AD, Soucacos PN. Restoration of elbow function in severe brachial plexus paralysis via muscle transfers. *Injury*. 2008;39 Suppl 3:S15-22.
5. Stevanovic M, Sharpe F. Functional free muscle transfer for upper extremity reconstruction. *Plast Reconstr Surg*. 2014;134:257e-74e.
6. Wechselberger G, Hussl H, Strickner N, Pulzl P, Schoeller T. Restoration of elbow flexion after brachial plexus injury by free functional rectus femoris muscle transfer. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2009;62:e1-5.
7. Wolff KD, Grundmann A. The free vastus lateralis flap: an anatomic study with case reports. *Plast Reconstr Surg*. 1992;89:469-75.
8. Grinsell D, Yue BY. The functional free innervated medial gastrocnemius flap. *J Reconstr Microsurg*. 2014;30:451-6.
9. Liu XY, Ge BF, Win YM, Jing H. Free medial gastrocnemius myocutaneous flap transfer with neurovascular anastomosis to treat Volkmann's contracture of the forearm. *Br J Plast Surg*. 1992;45:6-8.
10. de Moraes FB, Kwae MY, da Silva RP, Porto CC, de Paiva Magalhaes D, Paulino MV. Evaluation of elbow flexion following free muscle transfer from the medial gastrocnemius or transfer from the latissimus dorsi, in cases of traumatic injury of the brachial plexus. *Rev Bras Ortop*. 2015;50:660-5.
11. Mathes SJ, Nahai F. Classification of the vascular anatomy of muscles: experimental and clinical correlation. *Plast Reconstr Surg*. 1981;67:177-87.
12. Terzis JK, Kostopoulos VK. Free muscle transfer in post-traumatic plexopathies part ii: the elbow. *Hand (N Y)*. 2010;5:160-70.
13. Hattori Y, Doi K, Sakamoto S, Satbhai NG. Complete avulsion of brachial plexus with associated vascular trauma: feasibility of reconstruction using the double free muscle technique. *Plast Reconstr Surg*. 2013;132:1504-12.
14. Doi K, Sakai K, Kuwata N, Ihara K, Kawai S. Double free-muscle transfer to restore prehension following complete brachial plexus avulsion. *J Hand Surg Am*. 1995;20:408-14.
15. Barrie KA, Steinmann SP, Shin AY, Spinner RJ, Bishop AT. Gracilis free muscle transfer for restoration of function after complete brachial plexus avulsion. *Neurosurg Focus*. 2004;16:E8.
16. Chung DC, Carver N, Wei FC. Results of functioning free muscle transplantation for elbow flexion. *J Hand Surg Am*. 1996;21:1071-7.
17. Sturm JT, Perry JF Jr. Brachial plexus injuries from blunt trauma: a harbinger of vascular and thoracic injury. *Ann Emerg Med*. 1987;16:404-6.
18. Addosooki A, Doi K, Hattori Y, Wahegaonkar A. Role of wrist arthrodesis in patients receiving double free muscle transfers for reconstruction following complete brachial plexus paralysis. *J Hand Surg Am*. 2012;37:277-81.
19. Giuffre JL, Bishop AT, Shin AY. Harvest of an entire gracilis muscle and tendon for use in functional muscle transfer: a novel technique. *J Reconstr Microsurg*. 2012;28:349-58.
20. Doi K, Hattori Y, Tan SH, Dhawan V. Basic science behind functioning free muscle transplantation. *Clin Plast Surg*. 2002;29:483-95.
21. Maldonado AA, Romero-Brufau S, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. Free functioning gracilis muscle transfer for elbow flexion reconstruction after traumatic adult brachial pan-plexus injury: where is the optimal distal tendon attachment for elbow flexion? *Plast Reconstr Surg*. 2017;139:128-36.
22. Doi K, Muramatsu K, Hattori Y, et al. Restoration of prehension with the double free muscle technique following complete avulsion of the brachial plexus. Indications and long-term results. *J Bone Joint Surg Am*. 2000;82:652-66.

23. Kay S, Pinder R, Wiper J, Hart A, Jones F, Yates A. Microvascular free functioning gracilis transfer with nerve transfer to establish elbow flexion. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2010;63:1142-9.
24. Kovachevich R, Kircher ME, Wood CM, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. Complications of intercostal nerve transfer for brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg Am*. 2010;35:1995-2000.
25. Zuker RM, Manktelow RT. Functioning free muscle transfers. *Hand Clin*. 2007;23:57-72.
26. Coulet B, Boch C, Boretto J, Lazerges C, Chammas M. Free Gracilis muscle transfer to restore elbow flexion in brachial plexus injuries. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2011;97:785-92.
27. MacQuillan AH, Grobbelaar AO. Functional muscle transfer and the variance of reinnervating axonal load: part II. Peripheral nerves. *Plast Reconstr Surg*. 2008;121:1708-15.
28. Potter SM, Ferris SI. Reliability of functioning free muscle transfer and vascularized ulnar nerve grafting for elbow flexion in complete brachial plexus palsy. *J Hand Surg Eur*. 2017;42:693-9.
29. Doi K, Hattori Y, Yamazaki H, Wahegaonkar AL, Addosooki A, Watanabe M. Importance of early passive mobilization following double free gracilis muscle transfer. *Plast Reconstr Surg*. 2008;121:2037-45.
30. Dodakundi C, Doi K, Hattori Y, et al. Viability of the skin paddle does not predict the functional outcome in free muscle transfers with a second ischemic event: a report of three cases. *J Reconstr Microsurg*. 2012;28:267-71.
31. Maldonado AA, Kircher ME, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. Free functioning gracilis muscle transfer with and without simultaneous intercostal nerve transfer to musculocutaneous nerve for restoration of elbow flexion after traumatic adult brachial pan-plexus injury. *J Hand Surg Am*. 2017;42:293.e1-e7.

상완 신경총 손상에서의 유리 기능성 근 이식술

임진형¹ · 박민식² · 이주엽²

¹경상대학교 창원경상대학교병원 정형외과학교실, ²가톨릭대학교 의과대학 정형외과학교실

유리 기능성 근 이식술은 혈관, 신경을 포함한 유리 근을 이식하여 결손이 있거나 저하된 근육 기능을 재건하는 것을 목적으로 하는 수술을 말한다. 1976년 안면 마비에 유리 박근 이식이 소개된 이후 상완 신경총 손상뿐만 아니라 근육의 허혈성 구축, 종양 절제에 의한 근 결손, 선천적인 근 결손, 광범위한 외상 등에 의해 저하된 근육 기능재건에 많은 연구와 임상적 적용이 있었다. 특히 상완 신경총 손상에서 9개월-1년 이상 신경의 재건이 지연된 경우에는 근육의 불가역적 변성 변화로 신경이 회복된 이후에도 근육의 수의적 수축이 불가능한 문제가 있으며, 손목, 손가락의 근육들은 신경이 회복되어야 할 거리가 멀기 때문에 신경 이전술, 신경 이식술을 시행하더라도 수술로 적절한 기능을 거의 얻기 어려워 이러한 경우에 유리 기능성 근 이식술은 주관절, 수지의 굴곡이나 신전 등에서 저하된 근육의 기능을 개선하여 좋은 치료결과들이 보고되고 있어 많은 관심을 받고 있다. 수술의 성공적인 치료 결과를 위해서는 근육, 혈관, 신경에 대한 해부학적인 지식을 가지고 숙련된 수술 술기와 함께 적응증에 부합하고 장기간의 재활 치료를 받을 수 있는 환자의 선택이 필요하다. 최근 피판 추적 방법의 발달 등 새로운 수술 기법의 발전으로 더욱 향상된 결과를 가져올 것으로 판단된다.

색인단어: 상완신경총 손상, 유리 기능성 근 이식술

접수일 2017년 8월 14일 수정일 2017년 9월 4일

게재확정일 2017년 9월 5일

교신저자 이주엽

경기도 수원시 팔달구 중부대로 93

가톨릭대학교 의과대학 성빈센트병원 정형외과학교실

TEL 031-249-8301 FAX 031-254-7186

E-mail jylos1@gmail.com