

# 성인에서의 상완신경총 손상

강 한 빛 · 이 주 엽 | 가톨릭대학교 의과대학 정형외과학교실

## Brachial plexus injuries in adults

Han-Vit Kang, MD · Joo-Yup Lee, MD

Department of Orthopedic Surgery, The Catholic University of Korea College of Medicine, Seoul, Korea

As the number of survivors of motor vehicle accidents and extreme sporting accidents increases, more people must live with brachial plexus injuries. Brachial plexus injuries also occur in multiple trauma patients and can be debilitating. Although the injured limb will never return to normal, an improved understanding of the pathophysiology of nerve injury and repair, as well as advances in microsurgical techniques, have provided the upper extremity reconstructive surgeons with opportunities to improve function in patients with these life-altering injuries. The purpose of this review is to present in detail some of the current concepts in the treatment of adult brachial plexus injuries and to give the reader an understanding of the nuances of the timing of treatment, the available treatment options, and the outcomes of treatment.

**Key Words:** Brachial plexus; Injury; Reconstruction

### 서론

근대적인 말초신경수술은 1964년에 Curtze가 수술용 현미경을 사용하면서 시작되었다. 첨단 기술과 장비가 발전되면서 말초신경수술 역시 성장할 수 있었으며, 최근에는 기하급수적인 향상이 이루어지고 있다. 정확한 진단, 미세수술적 술기 그리고 최소 침습 접근법은 치료의 결과를 크게 향상시켰다.

교통사고 및 스포츠사고 후 생존자가 증가하면서, 상완신경총 손상 환자 또한 증가하고 있다. 다발성 손상 환자에서도 상완신경총 손상이 발생할 수 있고, 때때로 수술의 합병증으로 병발하기도 하며, 이는 환자의 치료결과에 악영향을 미친다. 상완신경총 손상이 발생한 상지는 어떠한 치료에도 온전히 정상으로 돌아오기는 어렵다. 하지만 최근 신경의

손상과 회복에 대한 병태생리학적 이해가 향상되고, 미세수술의 기법이 발전되면서 결손된 기능을 회복시킬 수 있는 기회가 늘어나고 있다.

본 종설의 목적은 성인에서의 상완신경총 손상의 치료에 대한 최신 지견, 즉, 적절한 수술의 시기, 선택 가능한 치료의 방법들 및 치료의 결과에 대하여 알아보고자 한다.

### 상완신경총의 해부

상완신경총은 C5, C6, C7, C8 그리고 T1의 5개의 경추신경이 모여 이루어지는 신경다발을 지칭하는 용어이다. 상완신경총은 보통 신경 근, 신경 간부, 신경 분지, 신경 코드(cords), 신경말단 분지 등 5개의 해부학적 구역으로 나눌 수 있다. C5신경 근과 C6, C8 신경 근과 T1 신경 근이 합쳐져서 각각 상부 간부와 하부 간부를 형성하며, C7는 계속 내려와서 중간 간부를 형성한다. 이 중 C5 신경 근과 C6 신경 근이 만나는 지점을 Erb's point라고 하는데, 이곳에서 상견갑신경이 분지하며 상완신경총 손상의 상부신경 마비가 가장

Received: October 10, 2017 Accepted: October 25, 2017

Corresponding author: Joo-Yup Lee

E-mail: jylos1@gmail.com

© Korean Medical Association

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

흔하게 발생하는 지점이다. 각각의 신경 간부는 쇄골 부위에서 전방 분지와 후방 분지로 나뉜다. 모든 간부의 후방 분지는 쇄골 이하에서 모여 후방 코드를 형성하고, 상부 간부와 중간 간부의 전방 분지가 모여 외측 코드를 형성한다. 하부 간부의 전방 분지는 쇄골 아래로 내려와 내측 코드가 된다. 외측 코드는 두 개의 말단 분지로 나뉘게 되는데 하나는 근 피신경이 되고 나머지는 정중신경의 일부가 된다. 후방 코드는 액와신경, 요골신경을 구성하고 내측 코드는 척골신경과 정중신경의 일부로도 분지를 내게 된다.

근위부에서 임상적으로 중요한 신경의 분지는 횡격신경, 배측견갑신경, 장흉신경 등이 있으며 이들 신경은 신경 근의 손상 여부를 확인하는데 중요한 역할을 한다. 신경 간부에서는 상견갑신경이 분지하며, 쇄골의 뒷부분인 신경 분지 부위에서는 신경 가지를 내지 않는다. 쇄골 하부에서는 외측 코드에서 외측흉근신경이 나오고 후방 코드에서는 견갑하신경, 흉배신경 등이 분지된다. 내측 코드에서는 내측흉근신경 및 내측상완·전완피부신경이 분지된다.

## 상완신경총 손상의 분류

상완신경총 손상은 다양한 상황에서 발생할 수 있다. 상완신경총 손상은 크게 손상의 정도, 손상 기전, 해부학적 위치, 임상적 양상 등으로 구분한다. 손상원인은 대부분 신경이 늘어나는 신연 손상이 대부분이나 총상, 자상 등 외부 원인에 의해서도 발생하며 간혹 수술 후 합병증으로도 발생할 수 있다. 신연 손상이 발생할 경우 신경이 고정된 근위 고정부인 신경 근 부위와 원위 고정부인 신경근 접점 사이에서 발생하게 된다. 해부학적으로 C5, C6에 있는 지지 구조가 C8, T1에 비하여 더 단단하기 때문에 상부 간부에서는 신연이나 신경 파열이 많이 일어나고, 하부 간부에서는 견열 손상이 많이 일어나는 원인이 된다[1]. 신경 손상은 어떠한 형태로든 나타날 수 있으나, 흔하게 나타나는 신경 근 손상에 따라 특정한 패턴을 구분하기도 한다. C5-C6 손상은 목과 어깨 사이가 벌어지는 외상에 의하여 발생하며[2], 전체 상완신경총 손상의 약 15%를 차지한다. 이 손상이 발생하면 환자들은 견관절의 외

전 및 외회전, 주관절의 굴곡 및 전완부 회외전 기능을 상실하게 된다. 분만 손상이 대표적으로 Erb's palsy라고도 한다. C5-C6-C7 손상은 전체 상완신경총 손상의 20-35%를 차지하며, C5-C6 손상에 더하여 주관절, 수근관절 및 수지 신전근에 다양한 정도의 약화를 초래한다. C8-T1 손상은 매우 드물며 견관절의 과신전에 의하여 발생한다. 임상적으로 수부 내재근의 근력 약화와 수지 기능의 상실을 특징으로 한다. 이 손상은 Klumpke's palsy라고도 부른다. 불행히도 상완신경총 손상 중 가장 흔한 것은 모든 신경 근이 손상되는 C5-T1 손상이며 전체 상완신경총 손상의 50-75%를 차지한다[3]. 이 손상은 이환된 상지의 완전 마비를 가져오므로 환자에게 심각한 기능 결손을 초래하고 수술적 재건이 매우 어렵다.

## 수술 전 검사

### 1. 문진 및 이학적 검사

상완신경총 손상의 평가는 환자의 손상 기전을 정확히 이해하는 것에서 시작해야 하며, 신경 및 동반 손상에 대한 철저한 확인이 필요하다. 오토바이 사고와 같은 고에너지 손상의 경우 저에너지 손상에 비하여 보존적 치료에 의한 신경 회복의 가능성이 희박하다. 손상 기전에 따라 수술시기를 달리 하는데, 총상이나 열상의 경우 개방성 창상이 있으므로 응급으로 수술을 시행하여 손상된 신경을 탐색하는 것이 권장된다.

이학적 검사에서는 환자를 탈의하고 타박상 및 점상 출혈의 부위를 확인하여 신경 손상의 위치를 파악한다. 만약 견관절 주위에 찰과상이 있다면 상완신경총의 신연 손상을 의심할 수 있다. 환자의 상태를 확인한 후에는 각 근육의 근력을 측정한다. 근력은 Medical Research Council (MRC) muscle grading system [4]을 사용하여 측정하며 MRC grade 5는 정상 근력을, MRC grade 0은 전혀 근 수축이 없는 상태를 의미한다. 감각 피부분절마다 통증, 온도에 대한 감각 및 이점 식별력의 기능 정도를 기록한다. 이학적 검사에서는 신경절전 손상인지 신경절후 손상인지를 감별하는 것이 중요하다. 배측견갑신경이나 장흉신경이 손상될 경우 능형근과 전거근의 마비가 발생하는데 이는 상부신경 근의

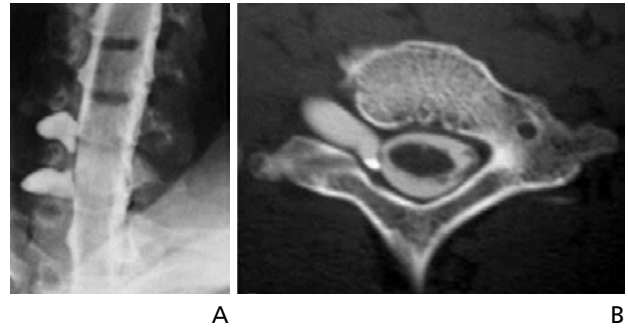


**Figure 1.** Horner's syndrome suggesting preganglionic injury (right eye). Informed consent was received from the patient.

신경절전 손상을 의미하는 것이고, 손상 측 안구의 동공이 수축하는 Horner's syndrome이 관찰되면 이것은 하부 신경근의 견열 손상을 의미하는 것이다(Figure 1). 상완신경총을 따라 쇄골 상부와 하부에서 Tinel's sign을 관찰하는 것도 손상 위치를 확인하는데 도움이 된다. 이환된 상지에 대해서는 견관절, 주관절, 전완부, 수근관절의 능동적, 수동적 운동 범위를 기록하고, 혈관 손상이 동반될 수 있으므로 요골 동맥 및 척골 동맥의 맥박도 함께 확인한다.

## 2. 방사선학적 검사

방사선학적 검사는 경추부, 흉부, 견갑골 및 상완골에 대하여 모두 시행하여야 한다. 경추부 사진에서 동반된 경추골절이나 횡돌기 골절 등을 통하여 신경 근 견열 손상의 증거를 확인할 수 있으며, 흉부 방사선 사진에서는 늑골 골절의 여부나 횡격막의 거상을 확인할 수 있다. 늑골 골절이 있을 경우 늑간신경을 사용할 수 없고 횡격막의 거상이 있을 경우 신경절전 손상을 의미하는 것으로 치료의 방침을 정하는데 매우 중요하다. 전산화 척수조영술은 신경 근 견열 손상의 가장 확실한 정보를 제공하며[5] (Figure 2), 이 검사의 소견은 Nagano 등[6]이 제안한 방법에 의하여 6개로 구분하기도 한다. 전산화 척수조영술은 수상 후 적어도 3-4주 이후에 실시하여야 혈종으로 인하여 신경 근 손상 여부를 확인할 수 없는 문제를 줄일 수 있다. 자기공명영상은 전산화 척수조영술의 단점을 보완하기 위하여 함께 사용되는 검사이다[7]. 자기공명영상은 척추간공 이후 진행되는 상완신경총에 대한 보다 정확한 이미지를 제공할 수 있으며, 신경 손상에 의하여 발생한 신경종이나 주위 조직의 부종 등을 자세히 관찰할 수 있다. 자기 공명 영상 또한 초기에는 부종이 심하여 선명한 이미지를 얻을 수 없으므로 가급적 수 주일 후에 촬영하는 것이 바람직하다. 마지막으로 이환된 상지에 대한 혈관 촬영을 시행하여 혈액순환이 원활한지



**Figure 2.** (A) Coronal and (B) axial computed tomography myelography images of pseudomeningocele.

를 확인하고, 유리 근 이식술 시 수혜혈관으로 사용 가능한 홍채동맥의 확인이 필요하다.

## 3. 전기생리학적 검사

전기생리학적 검사는 신경 손상을 확인하고, 그 위치를 추정하는데 목적이 있으며, 수상 후 3-4주에 시행하여야 월러리안 변성(Wallerian degeneration)에 따른 신경 전도의 변화를 잘 확인할 수 있다[8]. 전기생리학적 검사는 크게 근전도검사와 신경전도검사로 나뉘어 진다. 만약 능형근이나 전거근에 이상 소견이 관찰된다면 신경의 손상이 신경절 이전에 발생하였음을 시사하는 것이다. 검사 중에는 승모근에 대한 검사도 시행하여 척추 부 신경을 공여신경으로 사용할 수 있는지를 확인하여야 한다. 감각신경 활동전위도 매우 중요한 검사인데, 이것이 남아 있다면 손상이 신경절 이전에서 발생하였음을 의미하는 것으로 나쁜 예후를 시사하는 것이다. 체성감각 유발전위는 말초신경과 대뇌감각피질의 연결성을 확인하는 것인데, 만약 체성감각 유발전위는 나타나지 않고 감각신경 활동전위는 정상이라면 신경절전 손상의 확실한 증거가 된다[9].

## 수술시기

상완신경총 손상의 수술시기는 손상 기전 및 손상의 정도에 따라 결정하는 것이 바람직하다. 개방창이 있는 경우에는 응급으로 상완신경총 탐색술을 시행하여야 동반된 신경 및 혈관에 대한 봉합술을 시행할 수 있다. 만약 신경의 절단



Figure 3. Sural nerve grafting.

단기 지지분하다면 표식을 해 놓고 추후에 신경 이식술을 고려한다. 수상 시 완전 마비가 발생한 경우에는 회복을 기대하기 어렵기 때문에 보다 조기(6주에서 3개월)에 수술적 치료를 시행하는 것이 좋다[10]. 만약 신경 마비가 부분적이라면 4-5개월까지는 신경의 회복을 기다릴 수 있다[11,12]. 신경 수술의 결과는 수상 후 수술까지 걸린 시간에 비례하기 때문에 최적의 결과를 얻기 위해서는 수상 후 6개월 이내에는 반드시 시행해야 한다. 환자가 수상 후 12개월 이후에 방문한 경우에는 운동중판의 변성이 발생하여 근육의 기능이 회복될 가능성이 없으므로 신경 수술을 시행할 수 없다. 이때에는 건이전술이나 유리 기능성 근 이식술, 관절 고정술 등 이차적인 수술을 고려해야 한다.

## 수술의 우선순위

상완신경총 손상은 대개 완전한 신경 회복을 기대하기 어렵고 가용한 공여신경은 제한되기 때문에 신경 수술을 시행할 때에는 우선순위를 정하여야 한다. 신경 재건의 우선순위는 재건하려는 기능적 중요성, 신경 수술 후 회복 가능성, 이차 수술의 난이도 등을 고려하여 결정한다. C5-C6 손상 환자는 주관절이 굴곡, 견관절의 외전, 외회전 및 안정성을 확보하는 것이 수술적 치료의 목표가 된다. 주관절 굴곡은 이두박근 및 상완근에 대한 신경 이전술로 얻을 수 있고 견관절 기능은 삼각근 및 극상근, 극하근의 기능회복으로 얻을 수 있다. C5-C7 손상 환자는 이 기능

이외에 주관절, 수근관절의 신전기능을 얻을 수 있어야 하며, 이러한 기능회복을 위하여 대개 신경이식술이나 신경 이전술을 시행한다. 완전 마비의 경우에는 재건의 우선순위를 두어야 하는데[12], 1) 주관절 굴곡을 위한 이두박근이나 상완근의 신경 이전술, 2) 견관절 안정성을 위한 상견갑신경과 액와신경에 대한 신경 이전술, 3) 수부의 감각 재건을 위한 외측 코드의 신경 이식술, 4) 수근관절과 수지의 굴곡 기능, 5) 수근관절과 수지의 신전 기능, 6) 수부의 내재근 기능 순서이다.

## 수술방법

### 1. 신경유리술 및 신경이식술

신경유리술은 상완신경총에 대한 탐색술 과정에서 창상 조직에 의한 신경 외부의 압박이 확인될 경우 시행할 수 있으나 그 효과에 대해서는 의문이 있으며, 신경전도검사에 반응이 없는 외상성 신경종이 확인될 경우에는 신경이식술이 보다 확실한 방법이다[13]. 신경종은 손상이 없는 근위부까지 충분히 절제하고 결손 부위는 자가 신경이식술을 시행한다 (Figure 3). 공여신경으로는 비복신경이 가장 많이 사용된다. 일반적으로 C5 신경근이 살아 있다면 견관절의 재건에 사용하고, C6 신경근은 주관절 굴곡에, C7 신경근은 주관절 신전 기능을 재건하는데 사용한다.

### 2. 신경이전술

신경이전술은 기능이 있는 신경의 비교적 덜 중요한 부분을 마비된 신경으로 이전해 주는 수술을 말한다. 양호한 기능적 결과를 얻기 위해서는 이식되는 신경이 재생하고자 하는 근육에 가까워야 한다. 이는 봉합부에서 신경이 재생되는데 걸리는 시간을 줄일 수 있기 때문이다. 그리고 이전한 신경 내에 충분한 양의 축색을 포함하여야 한다. 흔히 사용되는 신경이전술은 척추 부신경을 상견갑 신경으로 옮기는 방법[14], 삼두박근으로 가는 신경의 일부를 액와신경으로 옮기는 방법[15] (Figure 4), 척골신경의 일부를 이두박근의 근육 분지에 이전하는 방법[16], 정중신경의 일부를 상완근의





Figure 4. Triceps motor branch to axillary nerve transfer.

근육 분지에 이전하는 방법[17,18], 늑간신경을 이전하는 방법[19], 반대쪽 C7 신경을 척골신경 이식을 이용하여 이전하는 방법[20] 등이 주로 사용되고 있다.

### 3. 기능성 유리 근 이전술

기능성 유리 근 이전술은 정상적인 근육을 신경과 혈관을 포함하여 거상한 후 수혜부에 연결하여 그 근육에 새로운 기능을 부여하는 수술이다[21] (Figure 5). 가장 흔히 사용되는 근육은 대퇴박근인데, 이는 공여부의 문제가 거의 발생하지 않고 길이가 길어 주행거리가 긴 반면 부피는 크지 않아 상지의 재건에 적합하기 때문이다. 이식된 근육의 회복은 보통 6개월 이후에 관찰할 수 있기 때문에 신경 수술로는 2년 이상이 소요되는 전완부 근육의 재건에 유용하다. 기능성 유리 근 이전술은 완전 마비 환자나 수상 후 1년 이상이 경과하여 신경 수술이 불가능한 경우에 적응이 되며, 주관절의 굴곡 및 수지의 굴곡, 수근관절의 신전과 수지의 신전 기능을 개선하는데 주로 사용된다. 기능성 유리 근 이전술을 성공하기 위해서는 길항근의 작용이 어느 정도 회복되어 있어야 한다.

## 수술결과

문헌 상의 수술결과는 다양하다. 척추부신경을 상견갑신



Figure 5. Functioning free muscle transfer for prehension.

경으로 옮기는 방법의 결과는 수상의 유형(C5-6 vs. pan-plexus injury) [22,23] 및 함께 시행된 신경이전술의 종류 [24] 등에 영향을 받는다. 한 메타분석에서는 견갑상 신경으로의 이전술을 시행한 환자 92%에서 견관절의 외전의 운동 등급이 중력에 저항할 정도까지 회복되었다고 보고하였다. 다른 여러 보고들에 의하면 견관절 각도가 45°에서 122° 정도로의 회복을 보고하였다[22-27]. C5-6에만 마비가 있던 환자가 C5-7까지 마비된 환자에 비해 더 나은 결과를 보였으며, 당연히게도 총 상완신경총 손상 환자들에서 결과가 가장 좋지 않았다[22,27]. 문헌마다 보고하는 결과가 다양한 이유는, 견관절 운동의 회복을 평가하는 방법이 어렵고 복잡하기 때문인 것으로 생각된다. 외회전의 회복에 대해서는 상대적으로 보고가 적은 편이며, 0°에서 118°까지 다양한 결과가 보고되고 있다[22,27].

넨리 이용되는 술식으로, 삼두박근으로 가는 신경의 일부를 액와신경으로 옮기는 방법은 주로 C5-6 손상 환자에서 삼두근의 근력이 강한 경우에 견관절 부위 근육의 재신경화를 위해 이용된다. 회복의 지표가 되는 삼각근의 수축은 대개 6개월 정도 지난 후에 확인할 수 있다. Leechavengvongs 등 [15]은 이 술식을 척추 부 신경을 견갑상 신경으로 이전하는 술식과 같이 시행하여 평균 124°의 외전 각도를 보고하였다. C5-6 전열 손상 환자들에서 C5-7 손상 환자들에 비해 좋은 결과를 보였다. 액와신경 단독 손상의 경우 이 술식으로 평균 3.5등급의 외전력 회복을 보였다. 삼각근의 근력은 환자의 나이, 수상일로부터 수술 일까지의 시간, 체질량지수와 연관이 있는 것으로 보고된 바 있다[28].

주관절 굴곡에 대한 유리 기능성 근 이식술 후 주관절 운동 범위가 최소한 120°, MRC 4등급 이상, 2.27 kg의 무게를 들어올릴 수 있어야 성공적인 치료결과로 여겨진다[29]. Barrie

등[30]은 박근을 이용한 유리 기능성 근이식술 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 등[31]은 37명의 환자를 대상으로 유리 박근 이식술을 시행한 결과를 발표하였는데, 70%의 환자에서 M3 이상의 근력을 회복할 수 있었고, 피판의 실패는 11%를 보고하였다. Coulet 등[32]도 79%의 근력 회복을 보고하여 성공률에 큰 차이를 나타내지 않았다. 이처럼 유리 박근 이식술은 약 80%의 성공률을 보고할 정도로 좋은 결과를 얻고 있다.

## 결론

상완신경총 손상은 상지에 발생하는 가장 심각한 손상으로 환자들은 대부분 신경병증성 통증과 근육마비로 일상생활에 현저한 장애를 초래한다. 의사들은 이들의 고통을 충분히 이해하고 정확한 해부학적 지식을 갖추어 보다 조기에 수술적 치료를 시행함으로써 일부 기능의 개선에 도움을 줄 수 있다. ‘아무것도 없는 사람에게는 약간의 개선도 큰 도움이 된다’라는 격언을 상기하며 상완신경총 환자의 치료에 임해야 할 것이다.

**찾아보기말:** 상완신경총; 외상; 재건

## ORCID

Han-Vit Kang, <http://orcid.org/0000-0001-8110-4474>

Joo-Yup Lee, <http://orcid.org/0000-0002-6337-3977>

## REFERENCES

- Hentz VR, Narakas A. The results of microneurosurgical reconstruction in complete brachial plexus palsy: assessing outcome and predicting results. *OrthopClin North Am* 1988; 19:107-114.
- Sunderland S. Mechanisms of cervical nerve root avulsion in injuries of the neck and shoulder. *J Neurosurg* 1974;41:705-714.
- Kim DH, Murovic JA, Tiel RL, Kline DG. Mechanisms of injury in operative brachial plexus lesions. *Neurosurg Focus* 2004;16:E2.
- James MA. Use of the Medical Research Council muscle strength grading system in the upper extremity. *J Hand Surg Am* 2007;32:154-156.
- Bertelli JA, Ghizoni MF. Use of clinical signs and computed tomography myelography findings in detecting and excluding nerve root avulsion in complete brachial plexus palsy. *J Neurosurg* 2006;105:835-842.
- Nagano A, Ochiai N, Sugioka H, Hara T, Tsuyama N. Usefulness of myelography in brachial plexus injuries. *J Hand Surg Br* 1989;14:59-64.
- Nakamura T, Yabe Y, Horiuchi Y, Takayama S. Magnetic resonance myelography in brachial plexus injury. *J Bone Joint Surg Br* 1997;79:764-769.
- Bowles AO, Graves DE, Chiou-Tan FY. Distribution and extent of involvement in brachial plexopathies caused by gunshot wounds, motor vehicle crashes, and other etiologies: a 10-year electromyography study. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:1708-1710.
- Aminoff MJ. The clinical role of somatosensory evoked potential studies: a critical appraisal. *Muscle Nerve* 1984;7:345-354.
- Kline DG. Timing for brachial plexus injury: a personal experience. *NeurosurgClin N Am* 2009;20:24-26.
- Millesi H. Surgical management of brachial plexus injuries. *J Hand Surg Am* 1977;2:367-378.
- Narakas A. Brachial plexus surgery. *OrthopClin North Am* 1981;12:303-323.
- Millesi H. Interfascicular grafts for repair of peripheral nerves of the upper extremity. *OrthopClin North Am* 1977;8:387-404.
- Songcharoen P, Mahaisavariya B, Chotigavanich C. Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. *J Hand Surg Am* 1996; 21:387-390.
- Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: a report of 7 cases. *J Hand Surg Am* 2003;28:633-638.
- Oberlin C, Beal D, Leechavengvongs S, Salon A, Dauge MC, Sarcy JJ. Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5-C6 avulsion of the brachial plexus: anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg Am* 1994;19:232-237.
- Liverneaux PA, Diaz LC, Beaulieu JY, Durand S, Oberlin C. Preliminary results of double nerve transfer to restore elbow flexion in upper type brachial plexus palsies. *Plast-ReconstrSurg* 2006;117:915-919.
- Mackinnon SE, Novak CB, Myckatyn TM, Tung TH. Results of reinnervation of the biceps and brachialis muscles with a double fascicular transfer for elbow flexion. *J Hand Surg Am* 2005;30:978-985.
- Chuang DC, Yeh MC, Wei FC. Intercostal nerve transfer of the musculocutaneous nerve in avulsed brachial plexus injury.

- ries: evaluation of 66 patients. *J Hand Surg Am* 1992;17:822-828.
20. Gu YD, Chen DS, Zhang GM, Cheng XM, Xu JG, Zhang LY, Cai PQ, Chen L. Long-term functional results of contralateral C7 transfer. *J ReconstrMicrosurg* 1998;14:57-59.
  21. Doi K, Sakai K, Ihara K, Abe Y, Kawai S, Kurafuji Y. Reinnervated free muscle transplantation for extremity reconstruction. *PlastReconstrSurg* 1993;91:872-883.
  22. Bertelli JA, Ghizoni MF. Transfer of the accessory nerve to the suprascapular nerve in brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg Am* 2007;32:989-998.
  23. Suzuki K, Doi K, Hattori Y, Pagsaligan JM. Long-term results of spinal accessory nerve transfer to the suprascapular nerve in upper-type paralysis of brachial plexus injury. *J ReconstrMicrosurg* 2007;23:295-299.
  24. Cardenas-Mejia A, O'Boyle CP, Chen KT, Chuang DC. Evaluation of single-, double-, and triple-nerve transfers for shoulder abduction in 90 patients with supraclavicular brachial plexus injury. *PlastReconstrSurg* 2008;122:1470-1478.
  25. Chuang DC, Lee GW, Hashem F, Wei FC. Restoration of shoulder abduction by nerve transfer in avulsed brachial plexus injury: evaluation of 99 patients with various nerve transfers. *PlastReconstrSurg* 1995;96:122-128.
  26. Malessy MJ, de Ruiter GC, de Boer KS, Thomeer RT. Evaluation of suprascapular nerve neurotization after nerve graft or transfer in the treatment of brachial plexus traction lesions. *J Neurosurg* 2004;101:377-389.
  27. Uerpaiojkit C, Leechavengvongs S, Witoonchart K, Malungpaishorpe K, Raksakulkiat R. Nerve transfer to serratus anterior muscle using the thoracodorsal nerve for winged scapula in C5 and C6 brachial plexus root avulsions. *J Hand Surg Am* 2009;34:74-78.
  28. Bahm J, Noaman H, Becker M. The dorsal approach to the suprascapular nerve in neuromuscular reanimation for obstetric brachial plexus lesions. *PlastReconstrSurg* 2005;115:240-244.
  29. Zuker RM, Manktelow RT. Functioning free muscle transfers. *Hand Clin* 2007;23:57-72.
  30. 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.
  31. 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 PlastReconstrAesthetSurg* 2010;63:1142-1149.
  32. Coulet B, Boch C, Boretto J, Lazerges C, Chammas M. Free Gracilis muscle transfer to restore elbow flexion in brachial plexus injuries. *OrthopTraumatolSurg Res* 2011;97:785-792.

### Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 성인 상완 신경총 손상에 대한 이해를 위하여 상완 신경총의 해부 구조, 손상 분류와 함께 수술 전 검사, 수술 시기, 수술 우선순위, 수술방법과 그 경과에 대한 최근 경향을 기술한 종설 논문이다. 상완 신경총 손상은 상지에 발생하는 가장 심각한 손상으로 신경병성 통증과 근육마비로 현저한 장애를 초래하는데 그 빈도가 증가하고 있는바 시의 적절한 주제이다. 이 손상에 대한 치료 방법과 그 결과는 매우 제한적이나 아무것도 없는 사람에게는 약간의 개선도 큰 도움이 된다는 격언을 상기 시키면서 조기에 적절한 치료를 하는데 지침이 되는 논문이라고 판단된다.

[정리: 편집위원회]