

Traumatic Brachial Plexus Injury: Preoperative Evaluation and Treatment Principles

Jae-Sung Yoo, Sung-Bae Park,
Jong-Phil Kim

*Department of Orthopedic Surgery, Dankook
University College of Medicine, Cheonan, Korea*

Received: August 25, 2017

Revised: September 10, 2017

Accepted: September 11, 2017

Correspondence to: Jong-Phil Kim

Department of Orthopaedic Surgery,
Dankook University College of Medicine, 119
Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan 31116,
Korea

TEL: +82-41-550-3919

FAX: +82-41-556-3238

E-mail: kimjp@dankook.ac.kr

Brachial plexus injury is regarded as one of the most devastating injuries of the upper extremity. Accurate diagnosis is important to obtain the successful results. Basic preoperative evaluation includes simple radiography, cervical myelography. Magnetic resonance imaging, angiography, electrophysiologic studies and intraoperative studies. Furthermore, proper timing of surgery, surgical indication, plan and sufficient understanding of patients about the prognosis are the key for the satisfactory outcomes. This article provides an overview of the evaluation, diagnosis, intraoperative monitoring, and proper surgical planning for the treatment of posttraumatic brachial plexus injuries.

Keywords: Brachial plexus injury, Evaluation, Diagnosis, Treatment

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.

서론

상완 신경총 손상은 상지의 감각 소실과 더불어 근력저하 또는 소실 그리고 심한 신경성 통증의 합병증을 일으키는 등 절단과 같은 심한 기능 소실을 일으키며 전체적으로 예후가 나쁜 편이다^{1,2}. 과거에는 이와 같은 동요팔(flail arm)에 대한 치료 옵션으로 건 고정술, 건 이전술, 관절 고정술 등이 있었지만, 최근 들어 신경 수술의 발전과 함께 치료의 결과가 놀라울 정도로 우수하여 상완 신경총 손상과 같이 심한 신경 결손 환자에 있어서 비교적 양호한 기능적 회복을 기대할 수 있게 되었다^{1,3,4}.

그동안 상완총 신경 손상에 대하여 수 많은 진단과 치료 방법이 시도되어 그 중 일부는 지금까지도 사용되거나 더 우수한 방법으로 발전되기도 하였으나 다른 일부는 심각한 오류로 역사 속으로 사라지기도 하였다. 이상적인 치료를 위해서는 문화 및 사회적 영향, 환자의 상태 등도 중요한 고려대상이 될 수 있지만, 기본적으로는 근거 기반의 원칙(evidence-based principles), 기술적 가능성 및 술자의 경험과 선호도를 기준으로 치료해야 한다. 본 종설에서는 외상 후 상완 신경총 손상에 대한 수술 전 진단 및 평가와 최근 치료 원칙 등에 대한 전반적 개념에 대하여 문헌 고찰과 함께 기술하고자 한다.

해부학

상완 신경총은 보통 C5에서 T1까지 5개 척추신경(spinal nerve)의 복측 가지(ventral rami)로 구성된다. 후방 지(dorsal rami)는 신경총을 이루지 않고 척추 기립근(paraspinal muscle)의 운동과 후경추부의 피부 감각을 담당한다. 척추신경이 척추공(spinal foramina)을 통과한 후 전사각근(scalenus anterior)와 중사각근(scalenus medius) 사이에서 상완 신경총을 형성하며 위치에 따라 척추 신경 또는 신경근(root), 신경간부(trunk), 신경분할(division), 신경코드(cord) 및 종말 가지(terminal branch)의 5부분으로 나눌 수 있다(Fig. 1)⁵. 신경근에서 후 견갑 신경(dorsal scapular nerve, C4-5)과 장흉신경(long thoracic nerve, C5-7)의 두 종말 가지가 발생하는데 각각 견갑거근(levator scapulae)과 능형근(rhomboid)에 그리고 전 거근(serratus anterior)에 신경 지배를 하며 이들 신경 마비 시 익상 견갑(winged scapula)을 초래한다. 비록 상완 신경총에는 해당되지 않으나 횡격막 신경(phrenic nerve, C3-5)은 전사각근 바로 위로 주행하여 횡격막에 도달한다. 따라서 상위 신경근 부위에서 손상 시 횡격막의 마비까지 초래할 가능성이 있다. 교감 신경절은 상완 신경총의 T1 신경 근에 매우 가깝게 위치한다. 따라서 하위 신경 근 손상이 동공 축소, 안구 함몰, 안검 하수, 무한증 등의 증상을 나타내는 호너(Horner) 증후군이 나타날 수 있다⁶.

신경간부 부위에서는 두 개의 종말 가지가 나타나는데 이중 하나가 상견갑신경(suprascapular nerve, C5-6)으로 상부

신경간부의 Erb점에서 분지하며 극상근(supraspinatus)과 극하근(infraspinatus)에 신경 지배를 한다. 다른 하나는 상부 신경간부의 하부에서 발생하여 쇄골하근(subclavius)에 신경 지배를 하는 쇄골하신경(nerve to subclavius, C5-6)이다. 신경분할은 쇄골 하부에서 전방 및 후방 분할로 나누어지며 각각 상지의 굴곡근과 신전근에 신경 지배를 한다⁶.

전 후방 신경 분할이 쇄골의 원위부에서 하방으로 주행하면서 액와부로 진행하게 되는데 상부 및 중간부 신경간부의 전방 분할은 외측 코드(lateral cord)를 형성하고, 하부 신경간부는 내측 코드(medial cord)를 형성한다. 모든 신경간부에서 발생하는 후방 분할은 경추부 척추 신경근(C5-T1)의 모든 특성을 나타내는 후방 코드(posterior cord)를 형성한다⁶.

손상기전 및 분류

손상기전을 이해하는 것은 상완 신경총 병변의 양상을 예측하는데 매우 중요하다. 폐쇄성 상완 신경총 손상은 주로 경부나 체부에서 상완과 견관절이 견인되어 발생하는 것으로 주로 신경근의 견열 손상이 초래되며 70%-80%가 오토바이 사고와 관련이 있는 것으로 알려져 있다^{5,7}. 이러한 신경근의 견열 손상은 자연적으로 회복될 확률이 낮다. 다른 기전으로는 안전벨트로 인한 손상에 의한 흉곽에 대한 쇄골의 압박, 전방 견관절탈구, 수술 중 자세에 의한 의인성 원인 등의 다양한 기전이 있으나 이러한 압박 손상은 견열 손상 손상과 달리 신경 코드나 종말 가지 부분이 손상되며 자연회복 가능성이 어

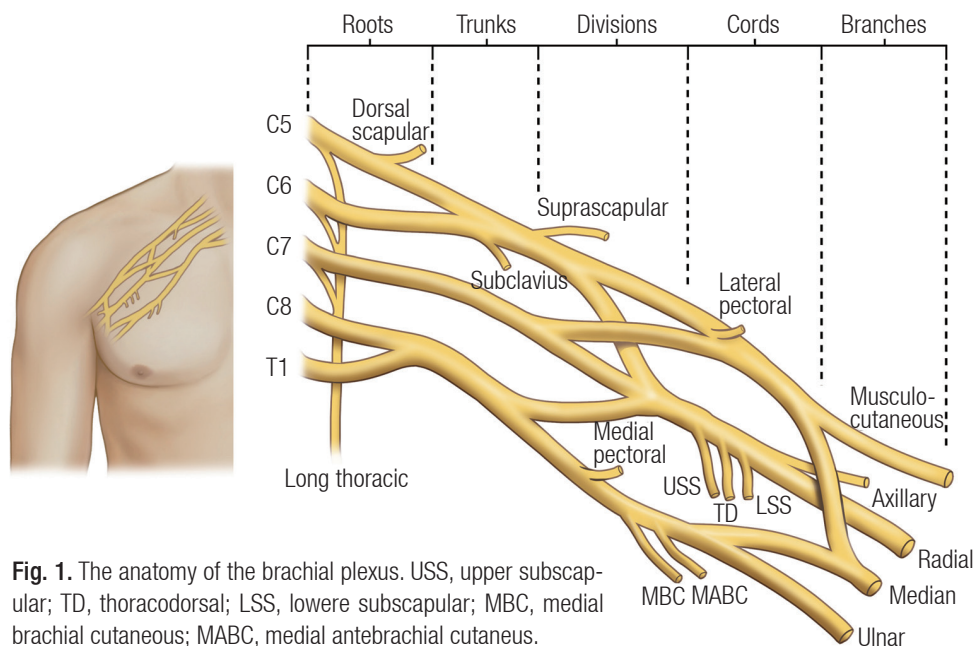


Fig. 1. The anatomy of the brachial plexus. USS, upper subscapular; TD, thoracodorsal; LSS, lower subscapular; MBC, medial brachial cutaneous; MABC, medial antebrachial cutaneous.

는 정도 존재한다. 개방성 손상은 좌상, 총상, 간혹 견관절의 개방성 골절에 의해 발생한다. 총상 환자들은 초기에 매우 광범위한 신경의 기능적 소실을 초래하나 실제로는 완전히 신경 절단된 경우는 12%~15%에 불과하다는 연구 결과가 있다⁸. 견관절의 개방성 골절도 신경근의 견열 손상과 함께 쇄골 하 또는 액와 동맥의 주요 혈관 손상 등이 적지 않게 동반될 수 있다.

손상 위치에 따른 상완 신경총 손상의 분류는 예후나 수술 방법을 결정하는데 있어 중요하지만 실제로 손상된 부위를 정확하게 특정하기는 매우 힘들다. 현재까지 쉽고 간단하게는 쇄골 상부와 쇄골 하부 손상의 두 분류 방법으로 나누는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 쇄골 상부 병변은 주로 척추 신경과 신경간부 부위의 손상을 의미하며 이는 다시 전 결절 (preganglionic)과 후 결절 (postganglionic) 병변으로 세분화된다. 전 결절 병변을 시사하는 증후나 이학적 소견으로 Horner syndrome, winged scapula, 견갑 주위근 및 경추 주위근의 위축, 일측 횡격막 마비, 목 부위에 tincl 음성, myelogram 상 pseudomeningocele, 그리고 완전 감각 소실에도 정상적인 감각 신경 활성 전위가 나타나는 경우이다(Table 1)⁶. 쇄골 하부 병변은 대부분 코드와 종말 가지 부위에 손상이 발생하는 부위이다. 손상 부위에 따른 다양한 신경학적 결손 양상이 나타날 수 있으나 실제로 손상 위치에 따라 엄격히 구분되는 것은 아니기 때문에 수술 전 다양한 계획을 세울 필요가 있다. 실제로 Narakas⁹의 연구에 따르면 환자의 약 10%는 쇄골 상부 및 하부 병변이 동반되었음을 보고하기도 하였다.

수술 전 평가

1. 병력 청취 및 이학적 검사

손상 기전, 동반 손상, 치료 과거력 등에 대한 자세한 병력 청취는 손상의 위치를 확인하고 치료계획을 세우는데 있어 필수적이다. 특히 전 신경절(preganglionic) 또는 후 신경절(postganglionic) 병변 인지와 완전 파열 또는 부분 파열인지를 판단하는 것이 중요하며 이를 위해서는 손상부의 사지 근력 및 감각뿐만 아니라 척수 신경 손상을 파악하기 위한 전방적인 신경학적 검사와 연속적인 추적 관찰이 선행되어야 한다(Fig. 2). 근력 평가로는 Medical Research Council system을 사용하여 Grade 0부터 5까지로 평가하고 이는 손상 사지뿐만 아니라 신경 이전술(nerve transfer)이나 기능성 근 이전술(functioning muscle transfer)에 필요한 공여부의 평가도 진행되어야 한다(Table 2)^{3,10,11}. 예를 들어 상지에서는 11번 뇌 신경에 의해 지배되는 승모근(trapezius), 하지에서는 박근(gracilis) 등이 있으며 특히 기능성 근 이전술 계획을 세울 때는 수혜부의 변연부 혈관구조물에 대한 검사(혈관 조형술 등)도 필요하다. 마비된 사지의 동반된 골절 및 탈구가 가끔 모르고 지나가거나 진단이 안 될 수도 있고, 초기에 놓친다면 불유합, 부정 유합 혹은 관절 구축을 유발할 수 있다.

2. 단순방사선검사

흉부방사선검사서 편측 횡격막이 상승된 경우 횡격막 신경(phrenic nerve) 마비를 진단할 수 있고, 이는 전 신경절 신경 마비를 의심해 볼 수 있다. 제1 혹은 제2늑골 골절이 있는 경우 상완 신경총 손상과 연관성이 크며 이외에 제3-6 늑

Table 1. Clinical signs of preganglionic injury and its implications

Signs	Implications
Horner syndrome	Sympathetic ganglion injury (T1 level)
Winged scapula	Long thoracic nerve injury (C5-7)
Atrophy of parascapular muscle	Dorsal scapular nerve injury (C4-5)
Cervical paraspinal muscle weakness and loss of posterior neck sensation	Dorsal rami of cervical spinal nerve roots injury
Hemidiaphragm paralysis	Phrenic nerve injury (C3-5)
Absence of Tinel sign in neck area	Absence of proximal spinal nerve stump
Pseudomeningocele on myelogram	Development of meningeal diverticulum after healing of torn nerve root sleeve
Intact sensory nerve action potentials in the area of sensory deficit	Imply no wallerian degeneration of the sensory axons because the attached nerve cells reside in the dorsal root ganglion

Adapted from Limthongthang et al.⁶, Orthop Clin North Am. 2013;44:591-603, with permission of Elsevier.

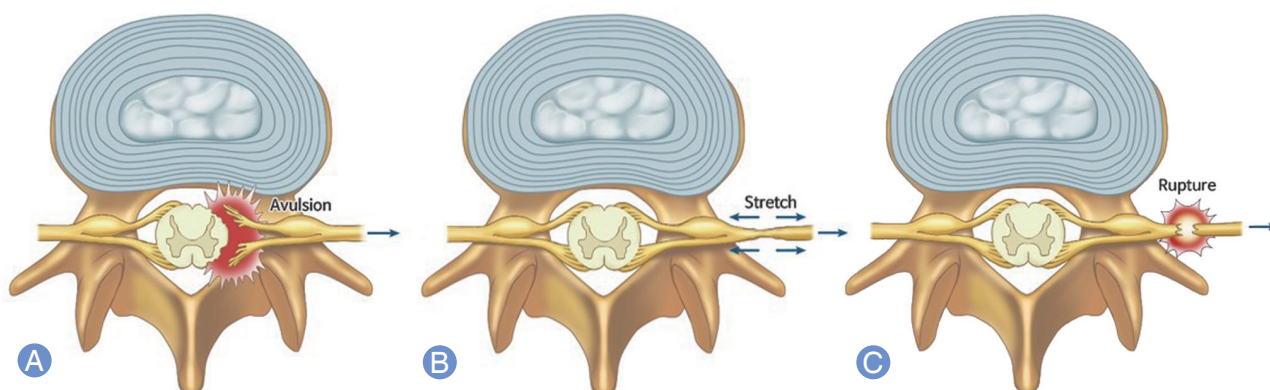


Fig. 2. Traction injury of the brachial plexus. **(A)** Preganglionic injury cannot be repaired, **(B)** postganglionic stretch injury shows different magnitudes, and **(C)** extraforaminal rupture can be repaired with surgery

Table 2. Root innervation and motor functions in the upper extremity (from Robert et al.⁷)

C6			C8		
C5	C7		T1		
	Serratus anterior	Flexor	Flexor	Opponence	Abductor
Deltoid	Biceps	Digitum	Digitum	pollicis	Pollicis
	Pronator	Superficialis	Superficialis		Brevis
	Flexor	Palmaris			
	Carpi	Longus			
	Radialis				
		Triceps	Flexor	Flexor	Adductor
			Pollicis	Pollicis	Pollicis
			Longus	Brevis	
	Brachialis	Extensor		Abductor	
		Carpi		Digit	
		Radialis		Minimi	
Supra-spinatus	Brachioradialis	Abductor	Flexor	Palm	
		Pollicis	Digitum	Interossei	
		Longus	Profundus		
		Extensor			
		Pollicis			
		Brevis			
		Extensor		Dorsal	
		Pollicis		Interossei	
		Longus			
Infra-spinatus	Supinator	Flexor			
		Carpi			
		Ulnaris			
	Teres major	Latissimus dorsi			
		Pectoralis major			

골 골절이 동반된 경우 늑골 간 신경 이전술(intercostal nerve transfer)이 어렵다. 경추 사진상 횡 돌기 골절이 동반된 경우 신경 근 견열 손상을 의심해 볼 수 있고 골편 사이의 간격이 크게 벌어진 쇄골 골절은 상완 신경총의 견열 손상을 시사한다.

3. 척수 조영술 또는 전산화단층척수조영

척수 조영술(myelography)에서 신경근 경막 소매(dural sleeve) 음영 소실 및 가상 수막류(pseudomeningocele) 형성 등은 신경근의 견열 손상시 나타나는 것으로 전 신경절 손상을 의미한다¹². 전산화단층(computed tomography, CT) 척수 조영(myelography)검사 방법은 손상 병변을 좀더 정확하게 파악할 수 있게 해주며, 임상적 검사와 함께 진단에 이용할 경우 90% 이상의 정확도를 가진다^{13,14}. 다만 이들 검사는 침습적이고, 척추 추간공(intervertebral foramen) 이하로는 손상을 특정할 수 없다는 단점이 있고, 손상 후 가상 수막류 형성에 걸리는 3주 혹은 그 이상의 기간 후에 시행되어야 한다.

4. 자기공명영상

자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)은 비침습적이고 손상 부위를 포함한 주변 조직을 세세히 관찰할 수 있다는 점에서 많이 사용되고 있다. 최근 고속영상기법(fast imaging technique), 자기공명신경촬영술(MR neurography), 고 자장자기공명촬영(high-field MRI) 등과 같은 신경 촬영 기술들이 발전하면서 상완 신경총 손상 병변의 진단에 대한 민감도와 특이도가 각각 92.9% 및 81.3%로 보고 될 정도로 진단 정확도가 높아지고 있다^{13,14}.

5. 동맥촬영술(angiography)

상완 신경총 손상 시 쇄골 하부의 쇄골하동맥 및 정맥과 액와동맥 등의 주요혈관 손상이 동반될 수 있으며 많게는 23% 까지 보고되고 있다⁹. 따라서 동맥혈관 손상이 의심되거나 흉견봉 동맥(thoracoacromial trunk)의 가지 동맥 중 하나를 유경(pedicle)로 사용하는 기능성 근 이전술을 고려할 경우 고식적인 동맥 촬영술이나 CT 또는 MR 혈관 촬영술을 시행하는 것이 좋다.

6. 전기생리학적 검사

전리생리학적 검사(electrophysiological study)는 근전도(electromyography, EMG)와 신경 전도(nerve conduction study, NCS)를 포함하며 수술 전 평가에서 매우 중요하다. 신경 손상 후 월러 변성(Wallerian degeneration)이 진행되는 데

까지 3-4주가 소요되므로 이 기간 후에 시행하되 연속적 추적 검사로 신경 회복과 재생 여부를 평가할 수 있다. 근전도에서 휴식기에 자발성 섬유 세동파(fibrillation potentials)가 나타나고 수의적 근 수축 시 운동단위전위(motor unit potential)가 나타나지 않으면 완전 손상을 의미한다. 하지만 추적 검사 시 초기적이지만 운동단위전위가 관찰될 경우 신경 재생이 진행되고 있다는 증거이다. 감각신경전도검사에서 지각신경 활동전위(sensory nerve action potentials, SNAP)의 관찰 여부는 손상의 위치를 특정하는데 매우 중요하다. 전 신경절 손상의 경우 감각 소실에도 불구하고 정상적인 SNAP가 관찰되거나 후 신경절 손상의 경우 SNAP가 소실된다. 반면에, 운동신경전도검사에서는 전 및 후 신경절 손상 모두 복합 근 활동전위(compound muscle action potential)가 관찰되지 않는다¹⁵.

수술 적응증 및 시기(timing)

수술의 적응증은 원칙적으로는 더 이상 자발적 회복이 불가능하다고 판단될 때이며 환자가 원하지 않거나 수술의 목표가 환자의 전반적인 상태에 비하여 비현실적인 경우를 제외하고 절대적 금기증은 거의 없다. 그러나 치료적 관점에서 자발적 회복의 시기를 판단하는 것은 매우 중요하나 쉽지 않은 문제이기도 하다. 수술이 너무 지연된다면, 근육은 탈 신경성근 위축이 일어나고 결국 신경 재분포(reinnervation)이 이루어진다고 해도 자극에 반응을 하지 않을 것이다. 실제로 신경 봉합술이 한 달 이상 지연되면 근력은 정상의 30%-50% 가량 밖에 회복되지 않는다는 연구 결과가 있다¹⁶.

좌상 및 개방성 손상 시 초기에 상완 신경총 탐색술 및 봉합술을 시행할 수 있다. 초기 탐색술 시 손상된 신경이 견열되어 파열되거나 짓눌려 있는 경우 일단 tagging을 해놓고 3-4주 후에 재탐색술과 신경 이식 등의 수술을 진행하는 것이 신경 손상구역을 더 잘 확인할 수 있어 효과적이다⁶.

비개방성 손상인 경우 수상 후 6에서 9개월 사이에 신경 재건술을 시행하는 것이 일반적인데 이는 운동종판(motor end plate)의 비가역적 퇴화가 나타나기 전에 축삭 재생(axonal regeneration)이 충분히 이루어질 수 있도록 기다려 볼 수 있기 때문이다^{8,17}. 이에 반해 Kline⁸은 C5-6 손상 환자의 40%에서 3-4개월내에 자연 회복이 된 반면, C5-7 손상 환자는 15%-17% 그리고 C5-T1 손상 환자의 5%에서 회복이 되었다고 보고 하였다. 결국 철저한 수술 전 검사가 필요하며 전 신경절 손상이나 완전 손상의 경우는 초기에 신경 탐색술 및 재건술을 시행하는 것이 합리적이라 판단된다.

수술적 접근법(surgical approach) 및 평가(intraoperative assessment)

일반적으로는 고식적 zigzag 절개 방법을 사용하고 있으나 절개부위가 광범위하고 반흔 구축의 문제가 발생할 수 있어 쇄골 상부에는 횡 절개하고 쇄골 하부는 삼각근과 대흉근 사이의(deltopectoral) 접근법을 각각 시행하는 경우도 있다(Fig. 3).

수술 중 평가로서 전기생리학적 검사는 매우 유용하고 수술적 결정을 하는데 도움을 줄 수 있다(Fig. 4). 특히 체성감



Fig. 3. Double approach of brachial plexus injury (superior clavicular and deltopectoral approach).

각유발전위(somatosensory evoked potential, SSEP)과 운동유발전위(motor evoked potential, MEP)는 각각 체지각 경로(somatosensory pathway)와 피질 척수로(corticospinal pathway)의 기능적 상태를 평가하는 것으로 신경근 부위의 전열 여부를 평가할 수 있다. 신경활동전위(nerve action potential, NAP)는 불완전 손상 병변이나 연속성 신경종(neuroma-in-continuity) 및 전 신경절 병변 등을 판단할 수 있다. 특히 불완전 손상의 치료 시, 수술 중 병변에 국한된 신경 활동 전위 측정은 어떤 신경 다발(fascicle)이 절제 혹은 이식되어야 하는지, 혹은 회복 중인지를 평가할 수 있다⁶.

콜린 아세틸전이효소(choline acetyltransferase, ChAT) 활성도는 말초신경 내에서 운동 및 감각 신경다발을 구분하는데 사용되기도 하지만 검사 시간이 길어 실제 수술에 사용하는 데는 어려움이 있고 또 검사의 효과에 대해서 논란도 적지 않다.

손상 양상에 따른 수술적 치료의 접근

물건을 쥐는 것이 가능할 정도로 의 수부 기능의 재건이 이상적인 목표이나 C5-T1 척추 신경의 기능 회복을 위한 재건술은 공여 가능한 신경 수가 적고 주관절 굴곡과 견관절 외전 기능 회복의 가능성이 수부 기능 회복 가능성보다는 더 크기 때문에 주관절과 견관절의 기능 회복을 우선순위로 수술하게 된다.

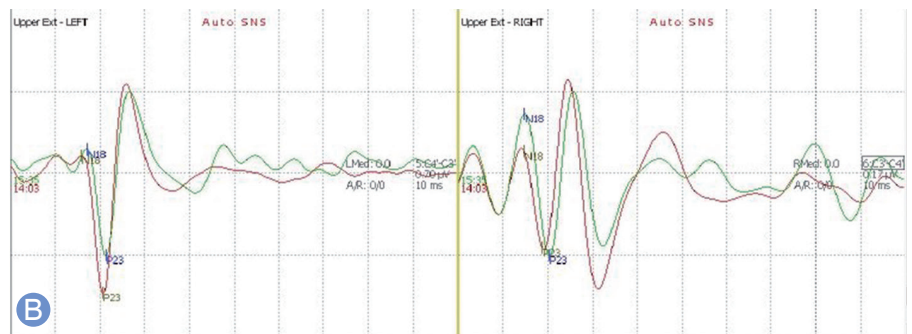


Fig. 4. Electrophysiological evaluation during the surgery. (A) Intraoperative electro-physiologic monitoring of 55-year-old male with C8-T1 brachial plexus injury. (B) These lines means the pre-operative and intraoperative base amplitude of C8-T1. SNS, sympathetic nerve stimulation.



Fig. 5. Nerve transfer of a 19 years-old male with right C5–6 brachial plexus injury after motorcycle accident. **(A)** The patient showed complete motor deficit in active elbow flexion and shoulder abduction. **(B)** Magnetic resonance image showed C5–6 nerve injury. **(C)** The 3–4 Intercostal nerves transfer to the musculocutaneous nerve and spinal accessory nerve transfer to the suprascapular nerve were performed at 7 months after injury. **(D)** Muscle strengths of elbow flexion and shoulder abduction were recovered at 16 months after surgery. SA, spinal accessory nerve; SSC, superior subscapular nerve; IC, intercostal nerve; MC, musculocutaneous nerve.

1. C5–6 손상

C5–6 손상 시 견관절의 외전, 내·외 회전 및 안정성과 주관절의 굴곡과 전완부 회외전이 소실된다. 일반적으로는 기능 회복을 위하여 (1) 근피 신경(musculocutaneous nerve), (2) 상견갑신경 및 (3) 액와 신경(axillary nerve)의 재건을 시행한다.

C5–6 손상에서 주관절 굴곡 기능 회복은 이두박근(biceps)이나 상완근(brachialis)의 신경 재분포에 의해 가능하다. 공여 신경으로는 늑골간 신경(intercostal nerve), 흉격막 신경(phrenic nerve) 등을 사용할 수 있지만 척골 신경(혹은 정중 신경) 운동 신경다발의 일부 가지를 이두박근의 운동 가지에 이전하는 것이 더 좋은 기능적 결과를 얻을 수 있다¹⁸. 최근에는 이두박근과 상완근의 운동 가지 모두에게 이중 신경다발 이전술(double fascicular transfer)을 시행하는 것은 주관절 굴곡력을 증가시키는데 더 유리하다고 보고하는 저자들도 있

다^{16,19,20}.

상견갑신경과 액와신경에는 각각 부 척수 신경과 요골 신경의 외측 삼두박근 가지 신경을 이전하는 것이 추천된다. 흉격막 신경은 부 척수 신경 대신 사용될 수 있으며 신경 이전에 충분한 길이를 확보할 수 있고 부작용도 거의 없다고 알려져 있으나 폐 기능 장애가 발생할 수 있다는 점에서 보편적으로 사용되지는 않는 것 같다²¹. 그 외에도 공여 신경으로 흉배 신경(thoraco dorsal nerve), 늑골간 신경, 내 흉근 신경(medial pectoral nerve) 등이 공여 신경으로 사용되기도 한다(Fig. 5).

2. C5–7 손상

C5–7 신경 손상은 C5–6 손상 시 발생하는 기능 결손에 C7과 관련된 주관절 신전과 완관절 신전 기능 장애를 나타낸다. 신경 재건술의 원칙은 C5–6 손상과 같으나, 액와 신경에 이전



Fig. 6. Functioning muscle transfer of a 64-year-old male who had crushing injury to his right arm at 1 year before the surgery. (A) The patient showed complete loss of active elbow flexion and shoulder abduction. (B) Gracilis muscle with monitoring flap was harvested from his right thigh. (C) Flap indicated well survival of free muscle transfer. (D) The patients showed excellent recovery of elbow flexion at 6 months after surgery.

할 때 사용되는 요골 신경의 삼두근 가지 신경 대신 다른 신경을 사용하여야 하고 주관절과 손목 관절의 신전 기능을 회복시키기 위하여 또 다른 신경이 필요하다는 점이다. 따라서 액와 신경의 회복을 위해서 늑골간 신경을 사용하고 삼두근의 회복을 위해서는 C5-6 근위부까지 신경 이식이나 여러 신경 이전술을 조합하여 사용할 수 있다²². 예를 들면 액와 신경에 3, 4번 늑골간 신경과 삼두근 가지에 5, 6번 늑골간 신경 이전술을 동시에 시행할 수 있으나 결과는 그렇게 만족스럽지는 않은 것 같다²³.

3. C5-T1 (total arm) 손상

C5-T1의 완전 상완 신경총 손상에 대한 치료 시 우선 순위는 주관절 굴곡이며 이는 부 척추 신경을 상완 이두근이나 상완근의 운동 가지 신경에 이전함으로써 회복될 수 있다¹⁰. 다음으로 견관절의 안정성이며 상견갑신경과 액와 신경으로 신경 이전술로 해결할 수 있으며 공여 신경이 부족하다면 관절 고정술도 대안이 될 수 있다. 앞서 기술했듯이 견·주관절의 기능 회복이 수부 기능 재건보다는 우선인데 이유는 근위부 근의 신경재분포가 원위부보다는 더 성공적이기 때문이다. 최근에는 수지의 굴곡 기능 회복을 위해 일차적으로 기능적 근 이전술이 시행되기도 한다^{17,21}.

이외에도 수술적 치료를 시행하면서 다음과 같은 사항을 고려해야 한다. 수상 후 시간이 경과함에 따라 근위축 정도가 심

해져 신경 이전술의 효과가 떨어질 수밖에 없기 때문에 수상 후 6-9개월 이상이 지나면, 기능성 근 이전술이 보다 추천된다(Fig. 6). 주요 혈관 손상은 완전 신경근 견열에서 자주 관찰되기 때문에 혈관 손상이 있으면 신경 이식보다는 신경 이전술이 보다 추천된다. 또한, C5 척추 신경의 근위부가 남아 있는 경우 이 부위에서 정중신경까지 신경이식술을 시행하면 수지의 굴곡 기능과 일부 감각 기능을 회복시킬 수 있다.

결론

상완 신경총 손상은 어떠한 치료도 이전 기능을 완전히 회복할 수 없기 때문에 의사는 환자의 현실적인 치료 목표를 설정하고 계획하여야 한다. 손상 후 정확한 평가를 통해서 적절한 적응증을 대상으로 적합한 시기에 수술 여부를 결정하는 것이 중요하며, 수술적 치료는 충분하고 정확한 수술 전 평가가 선행되어야 하며, 또한 신경 이식이나 이전술이 실패한 후 기능성 근 이전술 또는 견 이전술 등의 이차적 수술이 가능할 수 있도록 체계적인 계획이 중요하다.

CONFLICT OF INTEREST

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

REFERENCES

1. Bonney G. Prognosis in traction lesions of the brachial plexus. *J Bone Joint Surg Br.* 1959;41:4-35.
2. Brunelli G. Direct neurotization of severely damaged muscles. *J Hand Surg Am.* 1982;7:572-9.
3. Hentz VR, Narakas A. The results of microneurosurgical reconstruction in complete brachial plexus palsy: assessing outcome and predicting results. *Orthop Clin North Am.* 1988;19:107-14.
4. Kawai H, Kawabata H, Masada K, et al. Nerve repairs for traumatic brachial plexus palsy with root avulsion. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(237):75-86.
5. Songcharoen P, Shin AY. Brachial plexus injury: acute diagnosis and treatment. In: Berger RA, Weiss AP, editors. *Hand surgery.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2004. 1005-25.
6. Limthongthang R, Bachoura A, Songcharoen P, Osterman AL. Adult brachial plexus injury: evaluation and management. *Orthop Clin North Am.* 2013;44:591-603.
7. Robert EG, Happel LT, Kline DG. Intraoperative nerve action potential recordings: technical considerations, problems, and pitfalls. *Neurosurgery.* 2009;65(4 Suppl):A97-104.
8. Kline DG. Timing for brachial plexus injury: a personal experience. *Neurosurg Clin N Am.* 2009;20:24-6.
9. Narakas AO. The treatment of brachial plexus injuries. *Int Orthop.* 1985;9:29-36.
10. Hentz VR, Doi K. Traumatic brachial plexus injury. In: Wolfe S, Pederson W, Hotchkiss R, Kozin S, editors. *Green's operative hand surgery.* Philadelphia: Elsevier; 2010. 1235-94.
11. Mansat M. Surgical topographic anatomy of the brachial plexus. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1977;63:20-6.
12. 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.
13. Doi K. Management of total paralysis of the brachial plexus by the double free-muscle transfer technique. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008;33:240-51.
14. Amrami KK, Port JD. Imaging the brachial plexus. *Hand Clin.* 2005;21:25-37.
15. Harper CM. Preoperative and intraoperative electrophysiologic assessment of brachial plexus injuries. *Hand Clin.* 2005;21:39-46.
16. Kobayashi J, Mackinnon SE, Watanabe O, et al. The effect of duration of muscle denervation on functional recovery in the rat model. *Muscle Nerve.* 1997;20:858-66.
17. 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;21:387-90.
18. Coulet B, Boretto JG, Lazerges C, Chammas M. A comparison of intercostal and partial ulnar nerve transfers in restoring elbow flexion following upper brachial plexus injury (C5-C6+/-C7). *J Hand Surg Am.* 2010;35:1297-303.
19. 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;30:978-85.
20. 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 Reconstr Surg.* 2006;117:915-9.
21. Chuang ML, Chuang DC, Lin IF, Vintch JR, Ker JJ, Tsao TC. Ventilation and exercise performance after phrenic nerve and multiple intercostal nerve transfers for avulsed brachial plexus injury. *Chest.* 2005;128:3434-9.
22. Bertelli JA, Ghizoni MF. Reconstruction of complete palsies of the adult brachial plexus by root grafting using long grafts and nerve transfers to target nerves. *J Hand Surg Am.* 2010;35:1640-6.
23. Malungpaishrope K, Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Boonyalapa A, Janesaksrisakul D. Simultaneous intercostal nerve transfers to deltoid and triceps muscle through the posterior approach. *J Hand Surg Am.* 2012;37:677-82.

상완 신경총 손상에서의 수술 전 평가와 치료 계획

유재성 · 박성배 · 김종필

단국대학교 의과대학 정형외과학교실

상완 신경총 손상은 상지의 가장 심각한 손상으로 정확한 진단을 내리는 것이 성공적인 결과를 얻는 데에 있어 중요하다. 기본적인 수술 전 평가에는 단순방사선 촬영, 경부 척수조영, 자기공명영상, 혈관조영술, 전기생리학적 검사 및 수술 시의 평가가 있다. 또한, 적절한 수술 시기와 적응증, 수술계획과 환자의 예후에 대한 충분한 예후가 만족스러운 결과를 얻기 위한 필수적 조건이다. 저자들은 상완 신경총 손상의 진단, 수술 시의 관찰과 외상 후 상완신경총 손상 치료의 적절한 수술 계획에 대해 기술하고자 한다.

색인단어: 상완신경총, 평가, 진단, 치료

접수일 2017년 8월 25일 수정일 2017년 9월 10일

게재확정일 2017년 9월 11일

교신저자 김종필

충남 천안시 동남구 단대로 119

단국대학교 의과대학 정형외과학교실

TEL 041-550-3919 FAX 041-556-3238

E-mail kimjp@dankook.ac.kr