

상완신경총 손상의 전기진단

한림대학교 의과대학 재활의학교실

박 동 식

- Abstract -

Electrodiagnostic Evaluation of Brachial Plexopathies

Dong-Sik Park, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Hallym University College of Medicine

The brachial plexus is a large, vulnerable peripheral nervous system structure, which is difficult to assess electrophysiologically because of its proximal location and its complexity. Almost all brachial plexopathies cause either axon loss or, less commonly, combinations of axon loss and demyelinating conduction block. The axon loss will affect the amplitudes of motor and sensory nerve conduction studies on distal stimulation, as well as causing positive sharp waves and fibrillation potentials and motor unit potential dropout on needle electrode examination.

To adequately assess the brachial plexopathies, a thorough taking of history and a physical examination should be done prior to electrodiagnostic study.

In the electrodiagnosis, extensive nerve conduction studies including "uncommon" nerves should be performed in combination of an extensive needle electrode examination.

Key Words : Brachial Plexopathy, Electordiagnostic medicine, Nerve conduction studies, Axons

서 론

상완신경총은 제 5-8 경추 및 제 1 흉추 신경근의 제 1차 복측 분지로 이루어지며, 성인에서의 길이는 약 18 cm이며, 10만~17만개의 신경섬유가 서로 얽혀져 신경간(trunk), 신경간부(division), 신경삭(cord)를 이루는 해부학적으로 복잡한 구조물이다.

상완신경총은 근위부에 위치하는 복잡한 구조물이므로, 병소의 위치를 정확히 알아내고 손상 정도를 평가하는 것은 다른 말초신경 손상에 비하여 매우 어렵다. 상완신경총 병변의 진단 방법으로는 전기진단검사, 자기공명 촬영, 척수강 조영술 등이 있으나, 전기생리학적 평가를 할 수 있는 전기진단검사가 가장 도움이

된다.^{9,10,11} 상완신경총 병변의 전기진단에는 감각신경전도검사, 운동신경전도검사와 침근전도 검사가 필수적이며 간혹 체성감각유발전위 검사⁶나 운동유발전위검사를 시행할 수도 있다.

저자는 약 300예의 상완신경총 손상에 대한 전기진단 검사를 시행하였기에 문헌고찰과 함께 전기진단의 검사 방법에 대하여 알아보하고자 한다.

본 론

상완신경총 손상의 병리 및 병태생리 반응

상완신경총내에서 주행하는 신경섬유는 견인, 신장, 압박, 열상, 허혈, 방사선 조사 등¹²의 여러 상해 요인

Address reprint requests to **Dong-Sik Park, M.D.**

Department of Rehabilitation Medicine, Kangdong Sacred-Heart Hospital, Hallym University College of Medicine

#455 Gil-dong, Kandong-gu, Seoul, 134-701, Korea

TEL : 82-2-2224-2392, FAX : 82-2-2224-2394, E-mail : don@hallym.or.kr

에 의하여 손상될 수 있다. 그러나 이러한 여러 가지 손상에 대한 병리나 병태생리 반응은 다양하게 나타나는 것이 아니라, 큰 수초섬유인 경우 병리는 축삭의 손실/변성이거나 국소성 탈수초화(focal demyelination)이고, 이에 따른 병태생리 반응은 전도부전(conduction failure), 탈수초성 전도차단(demyelinating conduction block) 또는 탈수초성 전도지연이다.^{5,10,11}

1) 축삭손실/ 축삭변형

대부분의 상완신경총 손상의 병리는 축삭손실이며, 가끔씩 탈수초성 전도차단을 동반하기도 한다. 축삭손실일 경우 손상 부위에서 원위부쪽으로 말러리언 변성이 2차적으로 발생하여 손상 정도에 따라 근력 약화 또는 마비와 감각 소실 및 자율신경장애를 초래한다. 축삭 손실형 상완신경총손상은 이완된 신경섬유를 따라 전도부전을 초래하여, 신경전도검사상 거의 진폭에만 영향을 미치며, 잠시나 전도속도에는 큰 변화가 없다.

운동신경검사에서 손상부위가 운동신경의 축삭을 따라 어느 부위에 위치하여도 복합근육활동전위(Compound Motor Action Potential, 이하 CMAP로 약칭)의 진폭은 영향을 받는다. 그러나 감각신경검사에서는 손상 부위가 후근신경절과 그 원위부에 있을 때만 감각신경활동전위(Sensory Nerve Action Potential, 이하 SNAP로 약칭)의 진폭이 영향을 받는다. 더욱이 신경절후 부위의 불완전 축삭손실형 손상일 경우 SNAP의 진폭이 CMAP보다 더 심하게 변화하는 경우가 흔히 있다. 그러므로 중등도의 축삭손실형일 경우 CMAP의 진폭은 정상 범주에 속하지만 그에 상응하는 신경의 SNAP의 진폭은 작아 질수 있다. 이보다 심한 축삭 손실형일 경우, CMAP은 진폭은 작더라도 유발되지만 SNAP는 유발되지 않게 된다. 이렇게 SNAP가 CMAP보다 더 크게 변하는 이유는 밝혀지지 않았지만, 축삭손실의 정도를 파악하는데 일반적으로 SNAP의 진폭이 신경전도검사에서 가장 민감한 척도이다. 따라서 상완신경총 손상의 전기진단시 광범위한 감각신경 전도검사가 반드시 필요하다. 양측이 이완된 상완 신경총 손상은 매우 드물기 때문에 반대측도 같이 시행하여 비교하는 것이 더욱 바람직하다. 이완된 측의 SNAP의 진폭이 정상 범주에 있어도 반대측과 비교하여 50% 이하인 경우는 비정상적으로 간주한다.

수상 후 전기진단을 시행할 때까지의 시간의 경과도 중요한데, CMAP의 진폭은 수상 후 2~3일부터 감소하기 시작하여 7일 경에 최저치에 이르게 된다. 그러나 SNAP의 진폭은 수상 후 5일부터 감소하기 시작하여 10~11일경 까지 계속된다. 따라서 수상 후 10~11일 지나기 전에 운동 및 감각신경전도 검사를 시행할 경우 그 결과의 판독에 오류가 발생할 가능성이 크다. 예를 들어 신경절후 손상일 경우 수상 후 5일째 신경전도 검

사를 시행하면 CMAP의 진폭은 매우 작지만 SNAP의 진폭은 정상 소견을 보이기 때문에 신경절전 손상으로 잘못 해석할 가능성이 무척 크다. 신경전도검사서 진폭의 변화는 임상 증상의 정도와 연관성이 매우 높으며, 특히 운동 신경의 경우에는 더욱 그러하다. 특정 근육의 약화 정도는 대개 CMAP의 감소에 비례한다. CMAP가 유발되지 않는 경우 그 근육이 완전 마비된 경우가 많다. 따라서 CMAP의 진폭으로 예측된 것 보다 특정 근육의 근력이 훨씬 약할 때는 이 근력 약화의 원인이 축삭손실 이외에 탈수초성 전도차단이 동반된 것일 수 있다는 것을 반드시 고려하여야 한다.

축삭손실형의 상완신경총 손상에서 침근전도로는 손상 정도와 수상 후 기간에 따라 양성예과, 세동전위, 운동단위전위 수의 감소, 재신경 지배를 암시하는 운동단위 전위나 만성 신경원성 운동단위전위들을 관찰 할 수 있다.

척추 주위근도 반드시 침근전도검사에 포함시켜야 하는데, 신경절후 병변에선 비정상 소견이 관찰되지 않아야 한다. 신경절전 병변일 경우 이론적으로는 허부 경추주위근과 상부 흉추주위근에서 비정상 자발전위가 많이 관찰되어야 한다. 그러나 확실한 이유는 모르지만 영상 진단으로 신경근의 발인(root avulsion)이 확인된 경우에도 척추 주위근에서 비정상 자발전위가 관찰되지 않는 경우도 드물지 않다.

2) 국소성 탈수초화

국소적으로 탈수초화된 손상은 축삭손실형과는 달리 병소가 신경섬유의 비교적 짧은 부분에만 국한되기 때문에 일반적으로 원위부의 축삭이나 수초의 변성을 일으키지 않는다. 탈수초화의 정도에 따라 병소부위의 신경전도가 느려지거나 차단된다. 탈수초성 전도지연은 병소부위를 지나가는 신경 섬유의 전도 속도가 정상보다 느려지긴 하지만 신경 전도 자체는 이뤄지는 것이므로 근력약화나 감각 장애 등의 증상을 초래하지 않아 임상적으로 큰 의의는 없다.

이와는 달리 탈수초성 전도차단은 축삭 손실이 된 경우와 거의 동일한 증상을 가져올 수 있다. 그러나 상완신경총 손상에서 이러한 병태생리 반응은 흔하지 않을 뿐만 아니라 대부분 축삭 손실을 동반하게 된다. 탈수초성 전도차단은 대개 외상성 상완신경총 손상등의 초기(수상 후 6~8주)에 관찰될 수 있으며, 이는 Seddon의 분류에 의한 생리적 신경차단(neuropraxia)이나 Sunderland의 1도 손상(first degree injury)에 해당하여 예후가 매우 좋다.

수상 후 7일 이후에 구한 CMAP의 진폭이 임상적으로 관찰된 근력 약화와 침근전도상 운동단위전위의 수의 감소 정도에 비하여 너무 크다고 판단될 때는 탈수초성 전도차단의 가능성을 항상 염두에 두어야 한다.

이런 경우는 쇄골상와와 액와에 전기 자극하여 구한 CMAP의 진폭을 비교하여 전도차단을 판정해야 한다. CMAP의 진폭의 감소가 현저할 경우 원위부 신경간, 신경삭 또는 신경삭 바로 아래의 말단 신경에 탈수초성 전도차단이 있음을 알 수 있다. CMAP의 진폭의 감소가 없을 경우는 중간 신경간(mid-trunk)의 근위부위에 탈수초성 전도차단이 있음을 의미한다. 탈수초성 전도차단은 거의 대부분 축삭 손실을 동반하기 때문에 침근전도검사시 세동전위 등 비정상 자발전위가 많이 관찰 될 수 있다. 따라서 초기의 상완신경총 손상에 대한 침근전도검사서 비정상 자발 전위가 관찰되고 운동단위전위의 수가 적다고 해서 반드시 심한 축삭 손실이 있다고 판독할 수 없다. 경증의 축삭손실과 중증의 탈수초성 전도차단이 동반된 경우는, 중증의 축삭 손실인 경우와 임상증상과 침근전도 소견이 비슷하게 나타나며, 이 탈수초성 전도차단은 가역적이므로 임상증상이 수 일 내지 수주 내에 현저하게 호전될 수 있다. 따라서 운동신경의 원위부를 자극하고 표면전극으로 CMAP의 진폭을 측정함으로써 판독 오류를 예방할 수 있다. CMAP의 진폭은 반대편의 정상치와 비교하는 것이 바람직하며, 운동신경의 축삭 손실의 정도를 판단할 때 침근전도검사의 운동단위전위 수의 감소보다 더 신뢰할 만한 척도이다.

전기진단 검사

상완신경총은 제 5경추-제 1흉추 신경근에서 기시하는 수 많은 신경섬유가 섞여 신경간, 신경간부, 신경삭 등의 복잡한 해부학적 구조를 이루고 있기에, 어느 특정한 1~2개의 신경전도검사나 특정 근육군의 침근전도 검사만으로는 손상을 정확하게 평가할 수 없다. 그리고 상완신경총은 근위부에 위치하고, 해부학적으로 복잡한

구조물이며, 신경절전 병변과 신경절후 병변이 동반되는 경우도 있으므로²⁾ 전기진단으로 병소의 정확한 위치를 알아내기 어려운 경우도 많다.^{3,9,10}

상완신경총 손상시 병소의 위치와 손상 정도를 평가하는 전기진단검사방법으로는 감각 및 운동신경전도검사, 침근전도 검사와 체성감각유발전위, 운동유발전위, F-파 검사, H-반사, 신경근 자극법 등이 있다. 그러나 신경 전도검사와 침근전도 검사만으로도 임상적으로 유용한 전기 생리학적 평가를 충분히 할 수 있으므로, 체성감각유발전위, 운동유발전위, F-파 검사, H-반사, 신경근 자극법 등의 임상적 효용성은 크지 않다.^{3,10}

상완신경총의 전기진단시 통상적으로 시행되는 신경전도검사인 정중신경과 척골신경의 운동 및 감각 신경전도검사는 Fig.1에서와 같이 주로 하부 신경간(lower trunk)과 내측 신경삭(medial cord)을 평가한다. 따라서 상완신경총 전체를 평가하기 위하여는 좀 더 광범위한 신경전도 검사가 이뤄져야 한다. 상완신경총 손상은 거의 축삭 손실형이므로 신경전도 검사시 잠시나 전도속도 보다는, 원위 자극하여(distal stimulation)하여 구한 SNAP와 CMAP의 진폭이 축삭손실의 정도와 병소의 위치를 파악하는데 더 유용하다.

감각신경검사시는 통상적으로 시행하는 정중신경(제2수지에서 기록)과 척골신경 뿐만 아니라 상지에 분포하는 감각신경을 광범위하게 포함시켜야 한다. 정중신경은 제1수지, 제2수지, 제3수지에서 각각 기록하고, 흔히 시행하지 않는 신경인 외측전완피신경, 내측전완피신경, 배측척골피신경 등을 검사하여 진단의 정확도를 높일 수 있다(Table 1). 이때 가장 중요한 척도는 SNAP의 진폭이 반대편의 정상치와 비교하여야 한다.

운동신경 검사는 분절별로 전도속도를 비교 측정하는 분절성 전도검사를 시행할 필요가 없고, 쇄골상와보다는 운동신경의 원위부를 자극하여 CMAP을 구한다. 운동신경전도에서도 잠시나 전도속도가 아니라 진폭이

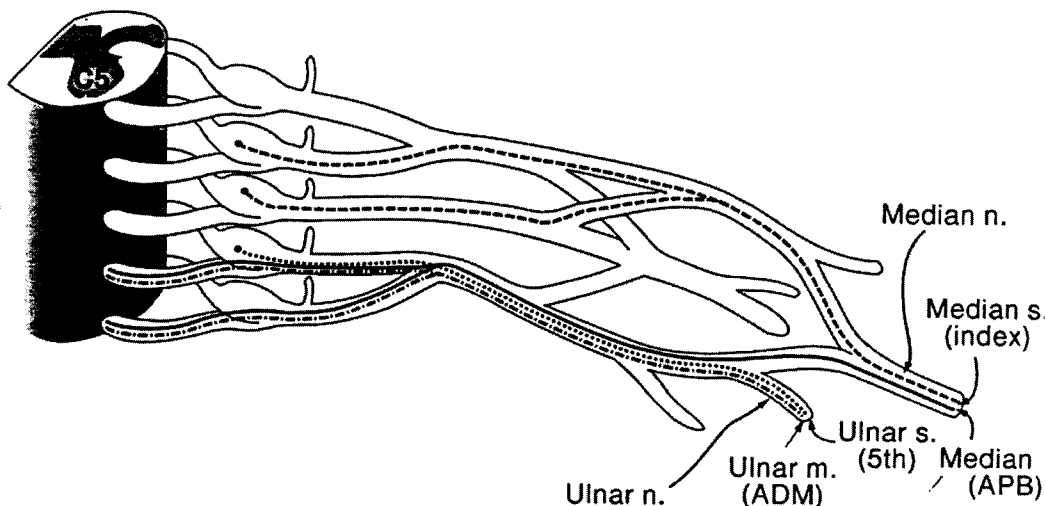


Fig. 1. The basic upper extremity nerve conduction study assessment.

Table 1. The frequency that axon loss lesions of individual brachial plexus elements produce various sensory NCS abnormalities

Sensory NCS	Upper trunk	Middle trunk	Lower trunk	Lateral cord	Posterior cord	Medial cord
LABC	100%	0%	0%	100%	0%	0%
Med-D1	100%	0%	0%	100%	0%	0%
Med-D2	20%	80%	0%	100%	0%	0%
Med-D3	10%	70%	20%	80%	0%	20%
S-Radial	60%	40%	0%	0%	100%	0%
Uln-D5	0%	0%	100%	0%	0%	100%
MABC	0%	0%	100%	0%	0%	100%

Abbreviations: LABC, lateral antebrachial cutaneous NCS; Med-D1, median NCS recording from first digit; Med-D2, median NCS recording from second digit; Med-D3, median NCS recording from third digit; MABC, medial antebrachial cutaneous NCS; S-Radial, superficial radial NCS; Uln-D5, ulnar NCS recording from fifth digit.

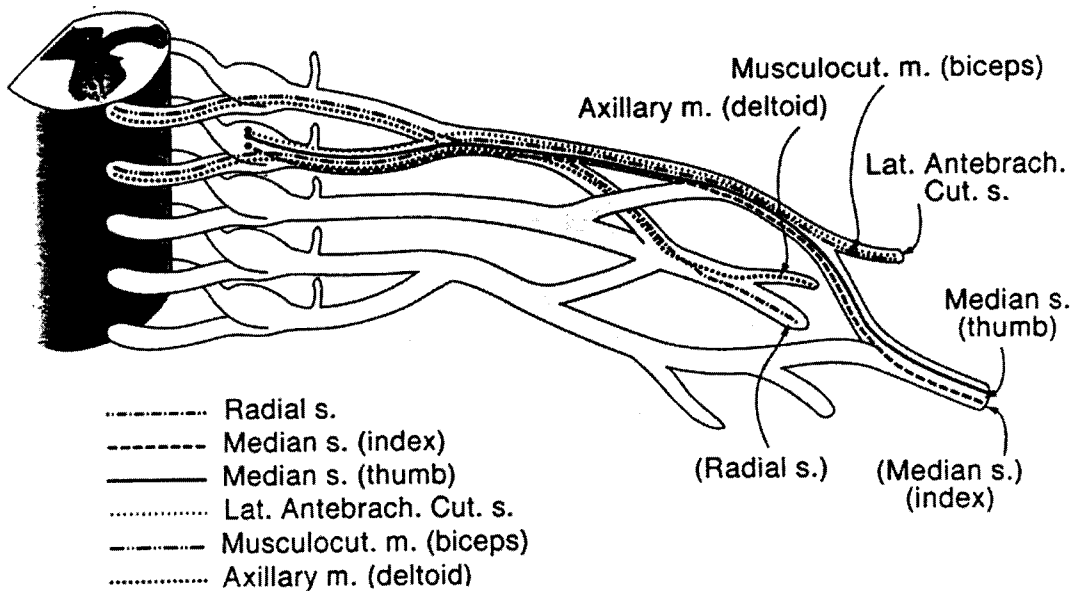


Fig. 2. Upper trunk nerve conduction study assessment.

가장 중요한 척도이다. CMAP의 기록은 표면전극을 사용하며, 진폭은 기저선에서 음성 최고점을 측정하고, 반대편의 정상치와 비교한다. 10~20%의 진폭의 차이는 정상범주에 속하지만 40~50% 이상일 경우는 상당한 축삭 손실을 의미한다. 단 진폭과 함께 CMAP의 시간상 산포(temporal dispersion)가 증가하였을 때는, 단순히 진폭만 비교하지 말고 면적을 고려하여야 한다. 쇄골상와에서의 전기자극은 근위부에서의 전도차단이 의심될 때와 근위부에 위치에 근육(삼각근, 삼두근, 이두근 등)에 분포하는 신경에만 시행하여도 충분하다. 침전극으로 기록하는 장흉신경과 견갑상신경의 전도검사는 CMAP의 진폭으로 축삭손실을 판단할 수 없으므로 꼭 필요한 경우에만 시행한다. 상완신경총은 심부에 위치하므로, 전도검사시 쇄골상와의 Erb's Point에는 좀 더 강한 전기 자극을 가하게 된다. 이때 실제 자극부위는 신경간 부위인 Erb's point가 아니라 상완신경총 전체라는 것이다. 그러므로 상완신경총과

여기서 직접 분지하는 근위 신경 및 근위부 근육을 통한 volume conducted response가 일어나기 쉽다는 것을 명심하여야 한다.³

침근전도는 축삭 손실에 대하여 가장 예민한 검사 방법이고, 병소의 위치와 손상 정도를 파악하는데 가장 중요하다. 그러므로 광범위하게 많은 근육을 검사하여야 하며, 운동 및 감각신경 전도검사와 침근전도 검사의 결과를 종합하여 진단의 정확성을 최대화할 수 있다.^{3,8}

해부학적 위치에 따른 검사 방법^{4,5,8,10}

1. 제 5, 6 경추 신경근과 상부 신경간(Fig. 2)

통상적으로 시행하는 정중신경과 척골신경의 전도 검사로는 이 부위를 정확하게 평가할 수 없다.

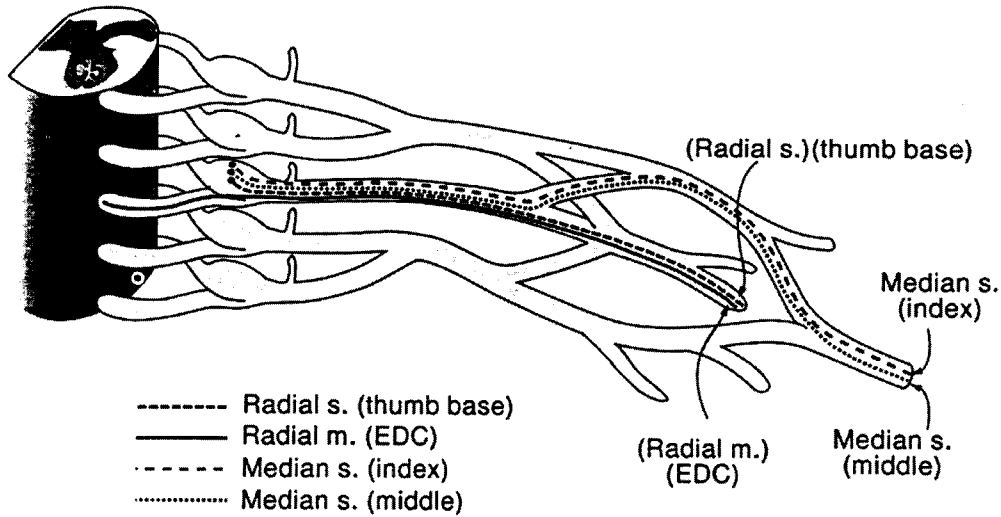


Fig. 3. Middle trunk nerve conduction study assessment.

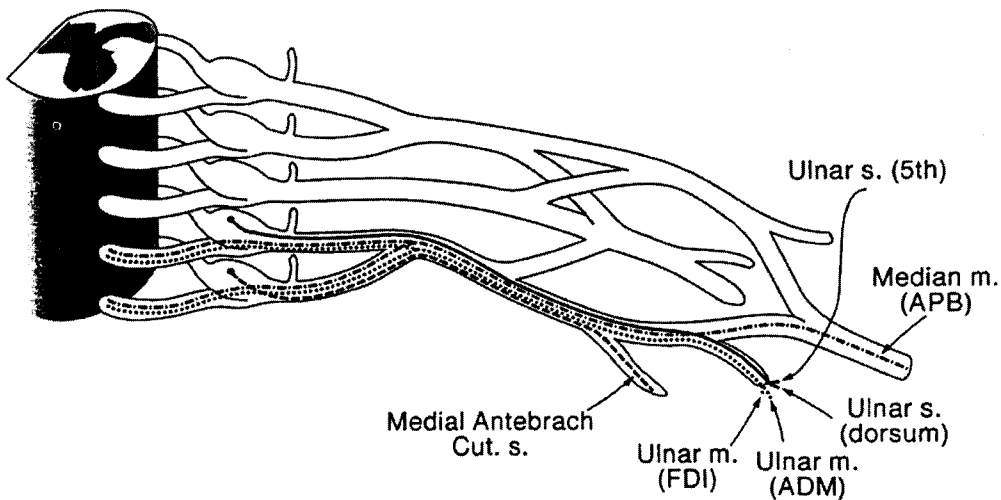


Fig. 4. Lower trunk nerve conduction study assessment.

1) 감각신경전도 검사

외측전완피신경, 무지에서 기록한 정중신경, 천요골신경을 검사한다.

2) 운동신경 전도 검사

액와신경, 근피신경, 요골신경(총지신근에서 기록)을 포함한다.

3) 침근전도

경추주위근, 극상근, 극하근, 삼각근, 이두근, 상완요골근, 원회내근, 요측수근신근, 대흉근에 시행한다.

전거근과 능형근을 지배하는 장흉신경과 견갑배신경 경추 신경근의 척수신경에서 직접 분지하므로 이 근육에서 탈신경 소견을 보이면 신경절전 병변을 의심하게 된다. 그러나, 각 신경이 주행 중 단독으로 손상을 받을 수 있으므로, 이들 근육의 침근전도 소견만으로 신경절전 손상인지 신경절후 손상인지 판정할 수는 없다.

2. 제 7 경추 신경근과 중간 신경간(Fig. 3)

1) 감각 신경 전도 검사

Median D3(중지에서 기록한 정중신경), Median-D2(시지에서 기록한 정중신경), 천요골신경에 대한 검사를 시행한다.

제3수지에서 기록한 정중신경 검사의 신뢰도가 가장 크다.

2) 운동 신경 전도 검사

주로 제7 경추신경근이 지배하는 삼두근이나 원회내근, 요측수근굴근 또는 총지신근에서 기록할 수 있다. 그러나 아직까지 중간 신경간을 충분히 평가할 수 있는 방법에는 이론이 많아 운동신경 전도 검사는 이 부위의 전기생리학적 평가에 큰 도움을 주지 못한다.

3) 침근전도

경추주위근), 삼두근, 주근, 원회내근, 요측수근 굴근, 총지신근에 시행한다. 그러나 이 근육들은 제 6경추 신경근이 중복 지배하는 경우가 많아 침근전도 검사만으로는 병소가 상부 신경간 신경총에만 있는지 아니면 상부와 중간 신경간을 모두 포함하는지를 구별하기 어렵다.

3. 제 8 경추/ 제1 흉추 신경근 하부 신경간(Fig. 4)

이 부위는 통상적으로 시행하는 신경전도검사만으로도 충분한 검사를 할 수 있다.

1) 감각신경전도 검사

Ulnar-D5(소지에서 기록한 척골신경), 배측척골피신경, 내측전완피신경에 시행한다.

Ulnar-D5와 외측전완피신경의 유용성이 모두 가장 높으므로(Table 1), 통상적으로 시행하지 않는 외측전완피신경을 포함하는 것이 바람직하다.

2) 운동신경 전도 검사

정중신경은 단무지외전근에서, 척골신경은 소지의전근과 1번 배측골간근에서 기록한다.

3) 침근전도

경추주위근, 단무지외전근, 소지외전근, 1번 배측골간근, 장무지굴근, 척측수근굴근, 심지굴근, 시지신근, 단무지신근, 소흉근을 검사한다.

4. 후신경삭

1) 감각신경전도 검사

이 부위를 적절하게 평가할 수 있는 신경은 천요골신경뿐이다.

2) 운동신경 전도 검사

삼각근에서 기록한 액와신경검사와 총지신근에서 기록한 요골신경검사가 유용하다. 3) 침근전도 삼각근, 삼두근, 주근, 완요골근, 요측수근신근, 총지신근, 시지신근, 단무지신근을 검사한다.

후신경삭 병변과 원위부의 요골신경 병변을 혼동하기 쉬운데 이것을 감별진단하기 위하여는 후신경삭에서 분지하는 액와신경의 전도 검사와 삼각근의 침근전도검사를 시행하여야 한다. 또한 후신경삭 바로 아래에서 요골신경과 액와신경이 동반 손상된 경우는 후신경삭 병변과 전기진단학적으로 감별하기 어렵다.

5. 외측 신경삭

1) 감각신경전도 검사

외측전완피신경, Med-D1(무지에서 기록한 정중신경), Med-D2(시지에서 기록한 정중신경) 검사

의 유용성이 높다(Table 1).

2) 운동신경 전도 검사

근피신경을 자극하여 이두근에서 기록한다.

3) 침근전도

이두근, 상완근, 원회내근, 요측수근굴근을 검사한다.

6. 내측 신경삭

1) 감각신경전도 검사

내측전완피신경, Ulnar D-5 모두 신뢰도가 높으며 배측 척골피신경도 도움이 된다.

2) 운동신경 전도 검사

정중신경은 단무지외전근에서, 척골신경은 소지의전근과 1번 배측골간근에서 기록한다.

3) 침근전도

단무지외전근, 소지외전근, 1번 배측골간근, 장무지굴근, 척측수근굴근, 심지굴근, 무지내전근을 검사한다.

하부 신경간 병변과 내측신경삭 병변은 신경전도 검사결과가 거의 동일하므로 침근전도 검사로 감별해야한다. 내측신경삭 병변은 제 8 경추/제 1 흉추 신경근이 지배하는 무지구와 소지구 근육에서만 탈신경 소견을 보이고 제 8 경추 신경근/요골신경이 지배하는 시지신근과 단무지신근은 정상소견을 보인다. 그러나 하부 신경간 병변에선 시지신근과 단무지신근까지 모두 비정상 소견을 나타내게 되지만 구별하기 어려운 경우도 많다.^{3,10}

결 론

상완신경총 손상의 병태생리는 주로 축삭 손실이며, 병소의 위치를 파악하고 손상 정도를 정확하게 평가하기 위하여는 우선적으로 철저한 이학적 검사가 시행되어야 한다. 전기 생리학적 검사는 수상후 3-4주에 시행하며, 광범위한 감각 신경 및 운동 신경 전도 검사와 침근전도 검사를 시행하여야 한다. 그리고 축삭 손상의 정도를 판단하는데 가장 중요한 척도는 SNAP와 CMAP의 진폭이며, 진폭은 반대편의 정상치와 비교하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 박은숙, 조민제, 박동식, 신정순: 상완신경총 손상의 임상적 고찰, 대한 재활의학회지 1988; 12: 52-57

2. 한태륜, 김진호, 이은용, 신희석: 상완신경총 손상의 근전도 소견, 대한 재활의학회지 13:214-210, 1989
3. Dumitru D, Zwarts MJ: Brachial Plexopathies and Proximal Mononeuropathies. In *Electrodiagnostic Medicine*, 2nd ed, Philadelphia: Hanley & Belfus, 2002, pp 777-836
4. Ferrante MA, Wilbourn AJ: The utility of various sensory nerve conduction responses in assessing brachial plexopathies. *Muscle Nerve*, 1995;18:879-889.
5. Ferrante MA, Wilbourn AJ: Electrodiagnostic approach to the patient with suspected brachial plexopathy. *Neurol Clin* 2002; 20: 423-450.
6. Jones SJ: Investigation of brachial traction lesions by peripheral and spinal somatosensory evoked potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 42:107-116, 1979
7. Park D-S, Lee SJ, Kim DH, Joo MC: Comparison of Electrical and Magnetic Stimulation in the Supraclavicular Region in the Patients with Brachial Plexus Injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1996;77: 925
8. Park D-S, Lee SJ, Joo MC, Kim DH, Park YG: Sensory Nerve Conduction Studies in the Upper Trunk Lesions of Brachial Plexus. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78: 1035
9. Trojaborg W: Clinical, electrophysiological, and myelographic studies of 9 patients with cervical spinal root avulsions: discrepancies between EMG and X-ray findings. *Muscle Nerve*, 1994; 17:913-22
10. Wilbourn AJ: The brachial plexus: Anatomy, pathophysiology and electrodiagnostic assessment. In 1994 American Association of Electrodiagnostic Medicine Course D: Brachial Plexus Assessment. San Francisco, CA, AAEM, 1994, pp 7-30.
11. Wilbourn AJ: Assessment of the Brachial Plexus and the Phrenic Nerve, In: Johnson EW, *Practical Electromyography*, 3rd ed, Baltimore: Williams & Wilkins, 1997, pp 273-310