

말초신경 손상 환자에서 전기생리학적 지표와 근력 및 기능과의 연관성

전북대학교 의과대학 재활의학교실 및 임상의학 연구소

서정환 · 김지연 · 박성희 · 고명환

– Abstract –

The Correlation between Electrodiagnostic Parameter, Muscle Strength and Functional Outcome after Peripheral Nerve Injury

Jeong-Hwan Seo, M.D., Ji-Yeon Kim, M.D., Sung-Hee Park, M.D., Myoung-Hwan Ko, M.D.

*Department of Physical Medicine and Rehabilitation,
Chonbuk National University Medical School, Research Institute of Clinical Medicine.*

Objectives: To determine the correlation between electrodiagnostic parameters, muscle strength and functional outcome after peripheral nerve injury.

Methods: Twenty six patients with peroneal nerve injury and nineteen patients with tibial nerve injury were enrolled. We divided subjects into 3 groups (poor or less, fair and good grade group) by manual muscle test (MMT). We measured muscle strength of both lesion and sound side through Nicholas manual muscle tester (Nicholas MMT®). We obtained functional outcome using the lower extremity functional scale (LEFS). All patients were evaluated with electrodiagnostic study, and the following data were obtained and converted into the ratio: the latency, amplitude and area of compound muscle action potential (CMAP) and turns, mean amplitude, and root mean square (RMS) of myoelectric signal.

Results: The ratio of amplitude and area of CMAP and turns, mean amplitude, and RMS of myoelectric signal were increased in a proportion to the increment of strength ratio in peroneal and tibial nerve injury. The mean ratio of amplitude of CMAP in poor or less, fair and good grade group with peroneal nerve injury were 0.20, 0.43 and 0.57 respectively, and 0.13, 0.51 and 0.70 in tibial nerve injury. The amplitude ratio in peroneal and tibial nerve injury were significantly correlated with LEFS score ($R^2=0.63$, $R^2=0.66$, respectively).

Conclusion: Electrodiagnostic study may be useful to estimate muscle strength and functional outcome after peripheral nerve injury.

Key Words: Electrodiagnosis, Peripheal nerve, Muscle, Strength

서 론

근력은 운동신경의 발화율(firing rate), 근육내의 활동운동단위의 수, 근육내 운동단위의 크기와 유형, 수축 기간에 의해 결정된다고 알려져 있으며¹, 통상적으

로 근력을 측정하는 방법으로는 근력 도수 검사를 하여 등급화 하는 방법과 여러 가지 힘측정계(dynamometer)를 이용하여 정량화 시키는 방법이 있다. 특히, 신경 손상 환자에서 장애 정도를 평가하는데 있어 근력의 평가는 무엇보다 중요하나 보상과 관련하여 이차적 이

Address reprint requests to **Ji Yeon Kim, M.D.**

Department of rehabilitation Medicine, Chonbuk National University Medical School

#634-18 Keumam-dong, Dukjin-gu, Jeonbuk, Seoul 561-712, Korea

TEL : 82-63-250-1725, FAX : 82-63-254-4145, E-mail : happijy@hanmail.net

득을 취하려는 환자들로 인해 정확하고 객관적인 평가를 하는 것이 어려울 때가 많다.

근력과 전기생리학적 지표와의 관련 유무를 보는 연구는 Lippold²가 처음 시도하였는데, 장딴지와 가자미근의 등척성 수축력과 이와 관련된 전기생리학적 지표와의 상관관계수가 높다고 하였으며, 1983년 Wood와 Bigland³는 상완 이두근에서 Root mean square (RMS) 값이 근수축력 증가에 대해 직선적 비례관계를 보이며, 힘(power) 값은 이차곡선의 형태로 나타난다고 하였다. 우리나라에서는 이주광 등⁴이 상완의 이두근과 삼두근의 자발적 근수축력이 커질수록 운동전위신호의 평균 진폭값(mean amplitude)과 RMS 값도 비례하여 커진다고 하였으며 이 둘이 다른 지표들보다 근수축력을 우수하게 반영한다고 하였다.

그러나, 지금까지의 연구는 연구대상자가 자발적인 힘을 가하면서 전기생리학적 지표를 측정하였기 때문에 협조가 잘 되지 않는 환자에게 적용하여 근력과 전기생리학적 지표를 연관시키는 것에는 어려움이 있다. 저자들은 근력과 상관관계를 갖는 전기생리학적 지표를 찾아 객관적 평가도구로서의 유용성을 평가하고, 근력에 따른 전기생리학적 지표의 값을 구하여 보상과 관련하여 정확한 평가가 어려운 환자의 근력정도를 예측하는데 기초 자료를 제시하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

본원 재활의학과나 정형외과에 입원 중이거나 외래 추적 관찰 중인 환자 중 외상성 또는 특발성으로 인한 편측의 총비골신경 손상 환자 26명(남 18명, 여 8명, 평균 연령 45.8 ± 14.7 세)과 경골신경 손상 환자 19명(남 14명, 여 5명, 평균 연령 39.3 ± 10.3 세)을 대상으로 하였다. 환자 중 보상과 관련되어 있거나, 정신장애를 동반한 경우, 중추 신경계 병변, 요추 신경근병변이

나 전신말초신경병증 등 다른 원인으로 하지의 근력약화가 있는 경우는 제외하였다.

2. 연구방법

1) 근력 및 하지 기능 평가

하지 근력 평가시 하지의 기능을 반영하기 위하여 Daniel 과 Worthingham⁵ 이 제안한 방법을 사용하였다. 총비골신경 손상 환자는 무릎을 신전한 상태에서 선 자세에서 족배굴곡(dorsiflexion)을 시행하여 족관절의 배굴이 관절 가동범위 끝까지 20번 이상 가능 할 때 Normal, 10~19번 수행할 때 Good, 9번 이하로 수행할 때 Fair grade로 정의하였다. 마찬가지로 경골신경 손상 환자에서도 발꿈치를 위로 들어 올리며 족저굴곡(plantar flexion)을 시행하여 같은 방법으로 등급화 하였다. 이렇게 하여 분류된 비골 및 경골 신경손상환자들을 poor 이하, fair, good grade 세 그룹으로 나누었다. 총비골신경 손상 환자의 경우 각 군의 환자 수는 11, 8, 7명 이었으며 평균 유병기간은 12.5 ± 7.7 , 10.8 ± 2.2 , 10.3 ± 2.3 개월 이었다. 경골신경 손상 환자의 경우 각 군의 환자 수는 7, 7, 5명에 평균 유병기간은 13.0 ± 5.9 , 10.0 ± 2.8 , 11.2 ± 7.4 개월 이었다(Table 1).

정량적인 근력의 평가를 위해 근력 검사기기(Nicholas MMT[®], USA)를 사용하여 총비골신경 손상 환자에서는 족배굴곡, 경골신경 손상 환자에서는 족저굴곡의 최대 근력을 측정하였다. 총비골신경 손상 환자는 양와위에서 발목을 내전한 상태에서 족배굴곡을 하게 하여 전경골근의 근력을 선택적으로 측정하고자 하였으며, 경골신경 손상 환자는 양와위에서 무릎을 완전히 신전한 상태로 족저굴곡을 하게하여 장딴지근의 근력을 선택적으로 측정하고자 하였다. 근력 측정시 세 번씩 측정하여 가장 큰 값을 선택하였으며, 각각 건측과 환측의 근력을 측정해 그 비(환측의 근력/건측의 근력)를 구하였다.

하지의 기능 평가를 위해 The lower extremity

Table 1. Demographics of Subjects

Nerve Lesion	Muscle Strength	Patient Number	Injury Duration (month \pm SD)
Peroneal Nerve Injury	Poor or less	11	12.5 ± 7.7
	Fair	8	10.8 ± 2.2
	Good	7	10.3 ± 2.3
Tibial Nerve Injury	Poor or less	7	13.0 ± 5.9
	Fair	7	10.0 ± 2.8
	Good	5	11.2 ± 7.4

functional scale (LEFS)⁶을 사용하였는데 20개의 항목으로 이루어져 있고 80점 만점이다.

2) 전기생리학적 지표

신경전도검사를 시행하여 운동신경의 복합 근활동전위(compound muscle action potential, CMAP)를 구하였다. 총비골신경 손상 환자의 경우 전경골근에서

탈신경전위를 확인한 후 경골 결절 아래 전경골근의 근위부 1/3 지점의 근육 팽대부에 기록전극을 부착하였고, 외측 슬관 가까이의 다리오금에서 자극을 주었다. 경골신경 손상 환자의 경우 장딴지근에서 탈신경전위를 확인한 후 안쪽 장딴지근육의 중앙지점의 근육 팽대부에 기록전극을 부착하였고, 총비골신경과 같은 위치에서 자극을 주었다. 자극을 준 후 활동 전위의 음성 파

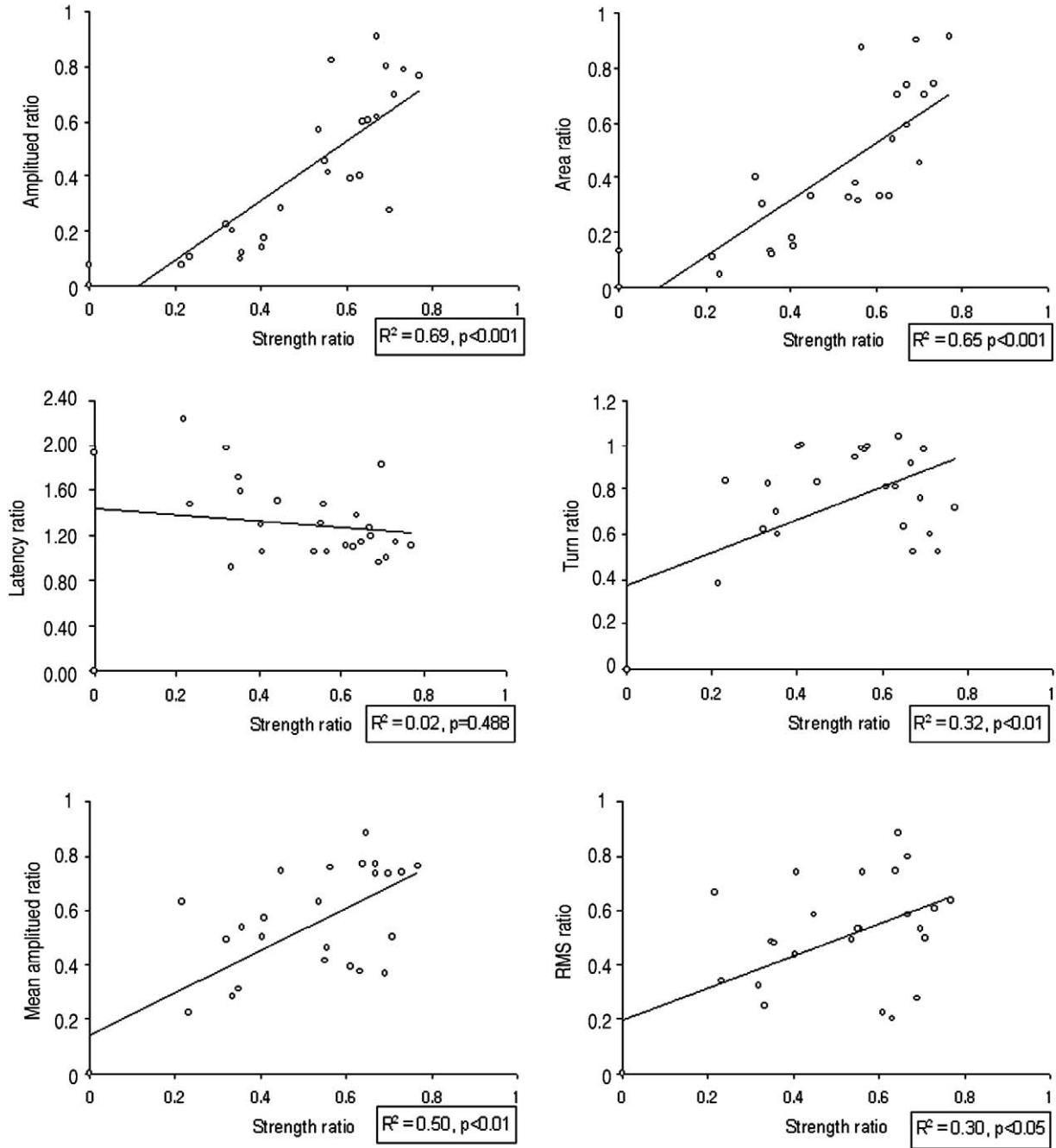


Fig. 1. The scatters and regression lines of amplitude, area, latency ratio of compound muscle action potential and turns, root mean square, mean amplitude ratio of myoelectric signal after peroneal nerve injury. All parameters except latency ratio regressed to each line significantly (ratio=value of lesion side/value of normal side).

형이 기저선에서 처음 시작되는 점까지 시간을 기시잡 시로 하고, 기저선에서 음성 정점 간의 높이를 진폭으로 하였으며, 음성 파형의 넓이를 영역으로 정의하였다.

운동전위신호는 최대수축시의 전경골근과 비복근에서 전환수, 평균진폭, RMS 값을 구하였는데, 기록전극의 위치는 신경전도검사시 부착하였던 위치를 이용하였다.

모든 지표값은 세 번 측정하여 가장 큰 값을 택하였

고 환측과 건측의 비를 계산하였다.

3. 결과분석

평가 및 조사된 자료는 SPSS 10.0 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 정량적으로 측정된 근력의 비와 근전도 지표, LEFS 점수와 CMAP의 비값과의 상관관

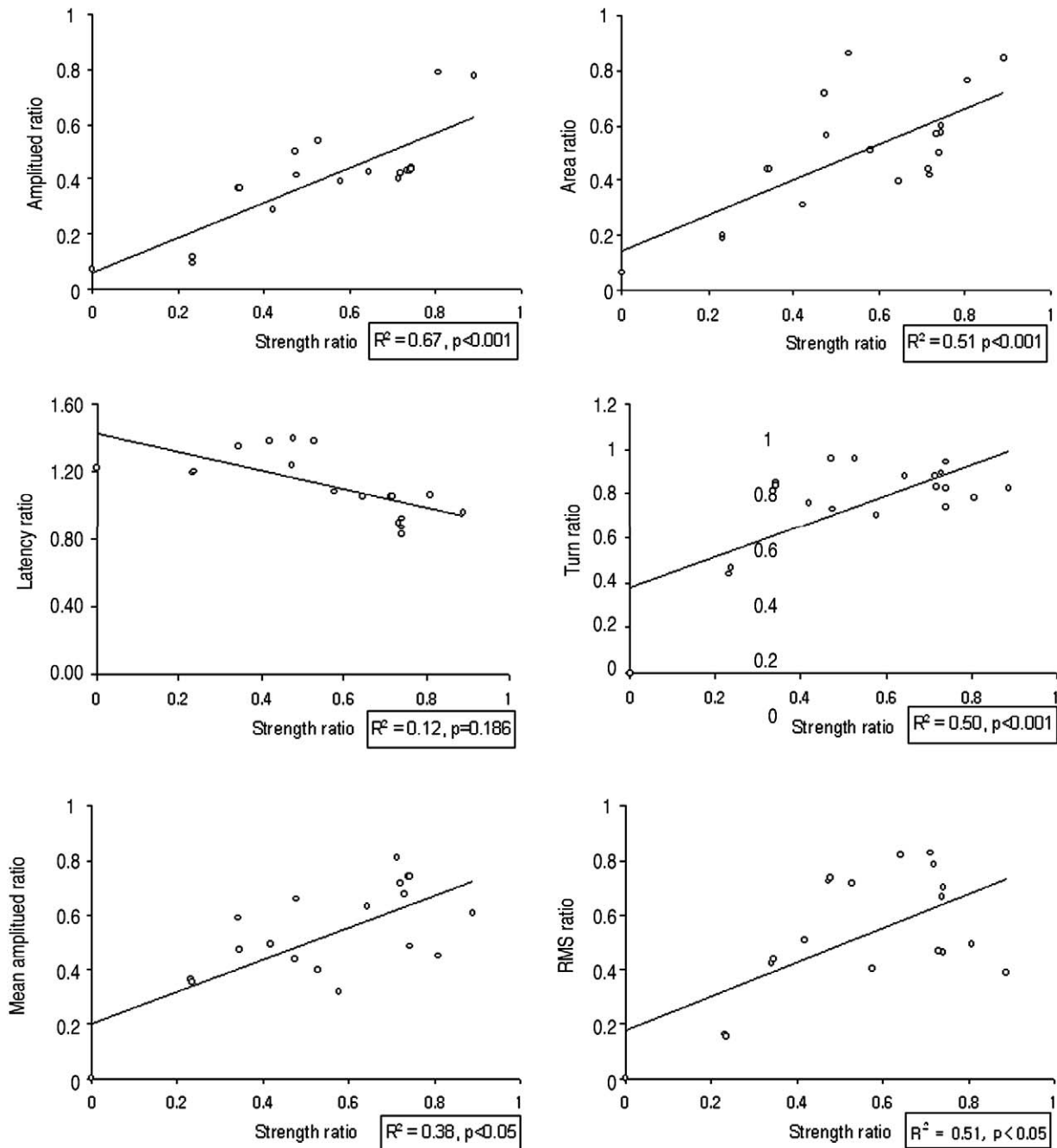


Fig. 2. The scatters and regression lines of amplitude, area, latency ratio of compound muscle action potential and turns, root mean square, mean amplitude ratio of myoelectric signal after tibial nerve injury. All parameters except latency ratio regressed to each line significantly (ratio=value of lesion side/value of normal side).

계를 보기 위해 회귀분석을 하였다. MMT에 따른 CMAP의 비값의 관계를 보기 위해 비모수 검정방법인 Kruskal-Wallis test를 이용하였다. 모든 통계방법의 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

총비골신경 손상환자에서 Nicholas MMT[®] 로 측정 한 근력의 비와 운동신경전도검사의 CMAP의 진폭,

영역의 비의 값을 회귀분석한 결과 강한 양의 상관관계를 보였으나 기시잠시와는 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다. 근력의 비와 운동전위신호의 전환수, RMS 값, 평균진폭의 비의 값은 각각 선형적인 증가를 보였으며 의미 있는 양의 상관관계를 보였다(Fig. 1).

경골신경 손상 환자에서도 같은 결과를 보였는데, 근력의 비와 운동신경전도검사상 CMAP의 진폭, 영역의 비의 값과 운동전위신호의 전환수, RMS 값, 평균진폭의 비의 값은 서로 양의 상관관계를 보였으며, CMAP의 기시잠시와는 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다

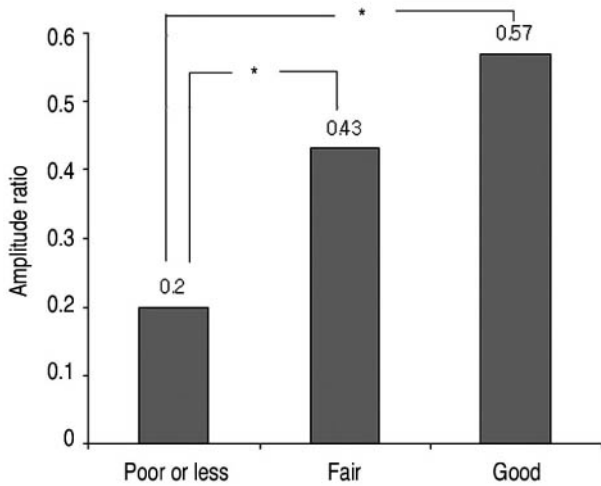


Fig. 3. Amplitude ratio of compound muscle action potential according to manual muscle test after peroneal nerve injury. * $p < 0.05$: comparison between poor or less vs. fair or good grade group

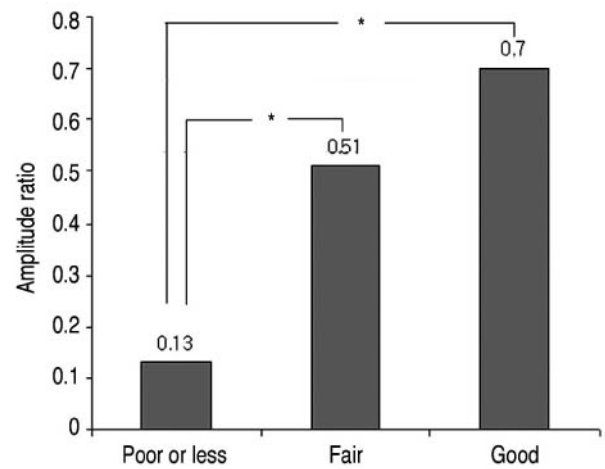
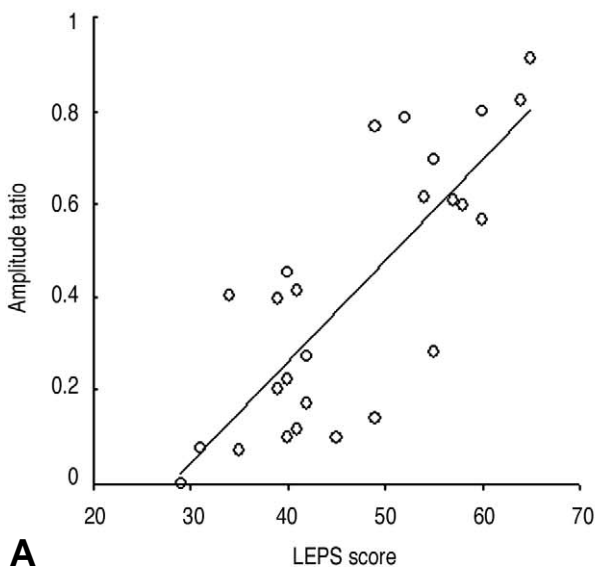
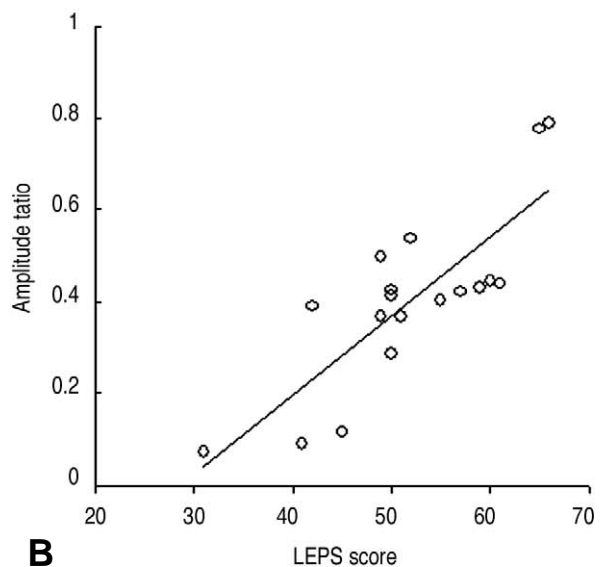


Fig. 4. Amplitude ratio of compound muscle action potential according to manual muscle test after tibial nerve injury. * $p < 0.05$: comparison between poor or less vs. fair or good grade group



A



B

Fig. 5. Correlation between low extremity functional scale and amplitude ratio of compound muscle action potential. (A) Peroneal nerve injury ($R^2=0.63$, $p < 0.001$), (B) Tibial nerve injury ($R^2=0.66$, $p < 0.001$)

(Fig. 2). 위 결과 중 비골 및 경골신경 손상환자에서 일관되게 가장 강한 양의 상관관계를 보인 지표는 CMAP의 진폭이었다.

MMT에 따른 CMAP 진폭의 비의 값을 구하였는데, 총비골신경 손상환자에서는 poor 이하군이 평균 0.20, fair 군이 0.43, good 군이 0.57 이었으며, 이들은 통계적으로 유의하게 차이가 있었다(Fig. 3). 경골신경 손상환자에서도 각군에서 평균 0.13, 0.51, 0.70 으로 통계적으로 유의하게 차이가 있었다(Fig. 4).

연구대상 환자들의 LEFS 점수 분포는 최소값 29점, 최대값 66점을 보였으며, LEFS 점수와 CMAP의 진폭의 비값과의 상관관계를 보기 위해 회귀분석한 결과 비골 및 경골신경 손상 환자 모두에서 강한 양의 상관관계를 보였다(Fig. 5).

고 찰

말초신경 손상 환자들은 신경 손상 수일 또는 수주 후부터 신경 재생과정을 거치게 되는데, 축삭이 손상된 곳으로부터 발아되어 재생과정이 일어나며, 신경차단의 경우 수초의 손상이 복구되면 빠른 회복을 보인다.⁷ 급성기에 신경손상으로 인한 근력약화가 발생하였을지라도 일정기간이 지나 신경 재생과정이 마무리 되면 근력도 함께 호전되는 경우가 많으며 몇몇 연구자들은 상완신경총 손상 환자에서 전기진단검사를 이용하여 근력호전을 평가하였다.^{8,9}

본 저자들은 여러 전기생리학적 지표와 근력 및 기능과의 상관관계를 밝히기 위해 운동 신경전도검사와 운동전위신호의 지표를 측정해 보았는데, 근력 및 기능과 운동신경전도검사와의 연관성에 관한 연구는 많지 않았다. 그 중 Barkhaus와 Nandedkar¹⁰는 이두근에서 측정된 CMAP의 진폭의 크기와 전완의 굴곡 수축력이 서로 상관관계가 없다고 하였으며, 그 이유로 CMAP가 기록되는 표면전극내의 근육섬유들에 한해서만 측정되기 때문이라고 하였다. 그리고 Bromberg 등¹¹은 근위축성 측삭 경화증 환자에서 이두근의 수축력과 전기생리학적 지표들과의 상관관계를 살펴보았는데, CMAP의 진폭을 포함하여 운동 단위수 측정(motor unit number estimation, MUNE), fiber density value, 간섭양상의 전환수/진폭 비 모두 상관관계를 가지지 않았으며, 근육의 수축력은 여러 근육들의 협응작용에 의한 것이나 전기진단 검사의 지표들은 하나의 근육에서만 측정되기 때문이라고 추측하였다. 하지만 본 저자들은 이전의 결과들이 개인차를 고려하지 않았기 때문에 상관관계가 더 낮아진 것으로 판단하고 본 실험에서는 각 개인의 환측 및 건측의 비를 구하여 개인차를 줄이고자 하였다.

전기진단검사시 근섬유의 활성화를 기록하는 도구로 표면전극과 미세전선전극이 주로 이용되는데, 미세전선전극은 해당 근육에 좀 더 정확하게 접근이 가능하고 심부에 위치한 근육도 접근할 수 있는 장점이 있으나, 검사시 통증을 유발하고 기록되는 근섬유의 숫자가 적으며 근수축에 의해 기록수치가 달라질 수 있는 것이 단점이다. 반면, 표면전극은 통증이 없고 근육의 전체적인 활동을 미세전선전극보다 더 잘 반영할 수 있으나, 단점은 심부에 있는 근육의 활동을 잘 반영하지 못하는 점이다.¹² 본 검사에서는 특정 근육섬유의 분석보다는 근육의 전체적인 활동을 측정하는 것이 필요하였기 때문에 표면전극을 사용하여 기록하였다.

본 연구에서는 CMAP의 진폭을 구할 때 그 범위를 기저선에서 음성 정점까지로 하였다. 정점-정점간 분석 방법을 했을 때 양성파 영역은 원거리구역의 CMAP가 포함될 수 있으며, 빠른 신경섬유의 양성 위상과 느린 신경섬유의 음성 위상의 위상 소멸(phase cancellation)현상이 더 많을 수 있어 기저-정점간 분석보다 탈분극된 근섬유를 반영하는데 정확성이 더 떨어진다고 알려져 있기 때문이다.¹³

본 연구에서 전기생리학적 지표들 중 비골 신경손상 환자와 경골 신경손상환자 모두에서 복합 활동전위의 기시잠시를 제외하고는 근력 및 기능과 상관관계를 갖는 것으로 결과가 나왔다. 이러한 지표들은 이전의 연구에서도 근력과 직선적 또는 곡선의 상관성을 갖는다고 발표되어 본 연구와 일치되는 소견을 보였다.²⁴ 본 연구에서 평가한 여러 지표 중 비교적 강한 상관관계를 갖는 지표는 CMAP의 진폭과 영역이었다. 복합근 활동전위의 진폭은 신경 축삭의 전체 수와 지배 받는 탈분극된 근섬유의 수를 잘 반영하는 것으로 지표로 알려져 있다. 영역 또한 진폭보다는 시간적 분산(temporal dispersion)에 더 영향을 받기 쉽다고 알려져 있으나, 진폭처럼 축삭 전체수와 탈분극된 근섬유를 측정하는 방법으로 알려져 있고, 축삭 손상 환자에서 예후와의 관계를 살펴보면 진폭과 유사한 결과를 보인다고 알려져 있다.¹³ 이러한 이유로 CMAP의 진폭과 영역이 비골 및 경골 신경손상 환자의 운동단위의 감소의 정도를 우수하게 반영할 수 있었던 것으로 생각된다.

전기진단검사가 진단적 평가도구로서의 역할을 하려면 재현성이 좋아야 하는데 Kelly 등¹⁴에 의하면 근위축성 측삭 경화증 환자에서 비골신경의 CMAP를 반복 검사하였을 때 변이율은 4%로 비교적 좋은 일치율을 보였다.

본 연구의 제한점으로는 비골 및 경골 신경손상의 연구대상 수가 많지 않아 도수 근력 검사 등급별로 분류한 환자의 수가 적었다는 점이다. 하지만, 비골 및 경골 신경손상 환자의 근력과 기능과 관련된 근전도 지표들을 고찰하였고, 환자의 중증도에 따른 복합근 활동

전위의 자료값을 제시한 것은 향후 연구에 도움이 되는 기초자료를 제시했다는 점으로 그 의미가 클 것으로 생각된다.

결 론

총비골신경 손상 환자에서 근력이 poor 이하일 때의 CMAP의 진폭 비의 값은 평균 0.20, fair 0.43, good 0.57 이었고, 경골신경 손상 환자에서는 각 군에서 평균 0.13, 0.51, 0.70 이었다. 전기생리학적 지표 중 운동신경전도검사상 CMAP의 진폭, 영역의 비가 근력과 강한 상관관계가 있었고, 운동전위신호 중 진환수, RMS 값, 평균진폭의 비가 양호한 상관관계가 있었으며, CMAP의 진폭의 비와 하지의 기능상태가 강한 상관관계가 있었다.

위에서 얻어진 결과는 전기생리학적 지표를 이용하여 말초 신경 손상 환자의 근력 및 기능 상태를 객관적으로 평가하는데 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단되며, 이번 연구를 통한 방법으로 보상 문제가 없었어 이차적 이득을 피하려는 환자나 정신적 장애가 동반되는 환자들을 객관적으로 평가하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Basmajian JV, De Luca CJ: Muscles Alive, their functions revealed by electromyography, 5th ed, Baltimore: Williams and Wilkins, 1985, pp122-153.
2. Lippold OC: The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. *J Physiol* 1952; 117: 492-499.
3. Woods JJ, Bigland RB: Linear and non-linear surface EMG/force relationships in human muscles. An anatomical/functional argument for the existence of both. *Am J Phys Med* 1983; 62: 287-299.
4. 이주광, 문재호, 나은우, 강성웅: 운동전위와 등척성 근 수축력의 상관관계. *대한재활의학회지* 1995; 19: 226-235.
5. Daniels L, Worthingham C: Muscle testing: techniques of manual examination, 7th ed, Philadelphia: WB Saunders, 2002, pp226-242.
6. Binkley J, Stratford P, Lott S, Riddle D: The lower extremity functional scale: scale development, measurement properties, and clinical application. *Physical Therapy* 1999; 79: 4371-4383.
7. Dumitru D, Amato AA, Zwarts MJ: Peripheral nervous system's reaction to injury. In: Dumitru D, Zwarts MJ, Amato AA, editors. *Electrodiagnostic medicine*, 2nd ed, Philadelphia: Hanley & Belfus, 2002, pp115-158.
8. Jilapalli D, Bradshaw DY, Shefner JM: Motor conduction studies for prognostic assessment of obstetrical plexopathy. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2002; 42: 119-123.
9. Tsai YA, Chuang TY, Yen YS, Huang MC, Lin PH, Cheng H: Electrophysiologic findings and muscle strength grading in brachioplexopathies. *Microsurgery* 2002; 22: 11-15.
10. Barkhaus PE, Nandedkar SD: Recording characteristics of the surface EMG electrodes. *Muscle Nerve* 1994; 17: 1317-1323.
11. Bromberg MB, Forshew DA, Nau KL, Bromberg J, Simmons Z, Fries TJ: Motor unit number estimation, isometric strength, and electromyographic measures in amyotrophic lateral sclerosis. *Muscle Nerve* 1993; 16: 1213-1219.
12. Perry J: Dynamic electromyography. In: Perry J, editors. *Gait analysis, normal and pathologic function*, 1st ed, New jersey: SLACK, 1992, pp381-411.
13. Dumitru D, Amato AA, Zwarts MJ: Nerve conduction studies. In: Dumitru D, Amato AA, Zwarts MJ, editors. *Electrodiagnostic medicine*, 2nd ed, Philadelphia: Hanley & Belfus, 2002, pp225-256.
14. Kelly JJ, Thibodeau L, Andres PL, Finison LJ: Use of electrophysiologic test to measure disease progression in ALS therapeutic trial. *Muscle Nerve* 1990; 13: 471-479.