

근전도 검사에서 나타나는 탈신경전위와 종판전위의 구별을 위한 알고리즘

최현배*, 황윤성**, 박인선**, 임재중*

인제대학교 보건대학 의용공학과

An Algorithm for Distinction between Denervation Potentials and Endplate Spikes on EMG Diagnosis

H. B. Choi*, Y. S. Hwang**, I. S. Park**, J. J. Im*

Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Inje University*

Department of Rehabilitation, College of Medicine, Inje University**

ABSTRACT

In the EMG evaluation, the neuropathy may be diagnosed by a detection of denervation potentials in the group of muscles. These abnormal potentials might be confused with normal endplate spikes. In this paper we present the software algorithm in C, which automatically detects spontaneous activity such as denervation potentials and endplate potentials and distinguishes between those potentials. Parameters with statistically significant differences were used for this automated algorithm. It was concluded that the algorithm established in this study will improve accuracy in EMG diagnosis.

서 론

근전도 검사는 인체내 근육의 수축에 의해서 발생하는 전기신호로써 바늘전극이나 표면전극을 사용하여 검출하며 전극이 위치한 부위의 근섬유를 따라 통과하는 근활동전위(MAP)들의 조합으로 나타나는 신호를 말한다. 표면전극을 사용하면 피부 가까이에 위치한 근육의 작용을 감지할 수 있고, 바늘전극을 사용할 때 보다 일관성있는 결과를 얻을 수 있다. 반면에, 미세한 움직임이나 몸속 깊은 곳에 위치한 근육에 대해서는 일반적으로 근내전극인 바늘전극을 사용하고 있으며 원하는 근운동단위나 근섬유에서 발생하는 신호를 효과적으로 탐지할 수 있다.

바늘전극을 사용하여 검출하는 근전도는 근육에서 감지되는 전기적인 전위로써 삽입전위(insertional activity), 자의성전위(voluntary activity) 그리고 자발성전위(spontaneous activity)의 세종류로 나뉘어지며 이러한 전위들의 특성은 곧 환자의 병리학적 상태와 직접적인 연관이 크므로, 임상적으로 하여금 진단을 하는데 큰 도움을 준다.¹⁾²⁾³⁾ 이 중 삽입전위나 자의성전위와는 달리 근육의 수축을 유도하지 않는 완전한 이완상태에서

바늘전극을 근조직에 삽입했을 때 발생하는 전위를 자발성전위라고 하는데, 질병이 없는 건강한 근육에 바늘전극이 위치했을 경우에는 아무런 전기적인 신호가 검출되지 않는 것이 정상이다. 그러나 이때 종판부위가 아닌 위치에서 이상 파형을 지닌 전기적인 신호의 검출은 근신경조직의 이상을 나타내며 신경질환을 진단하는데 결정적인 도움을 주게 된다.⁴⁾ 전극이 종판부위에 위치했을 경우에는 3.0~4.0ms의 지속시간과 100~200 μ V의 불규칙한 파형을 가진 종판전위가 나타나게 되며 이러한 자발성전위는 정상근육이나 이상근육 모두에서 나타나는 반면 신경질환을 가진 환자에게 있어서는 비정상적인 자발성전위들이 나타나는데 그 중에서도 세동전위 및 양성예각파와 같은 탈신경전위들은 종판전위와 자주 혼동을 일으킨다.⁵⁾ 이러한 문제는 임상전문 의사가 육안으로 관찰하는 가운데 주관적으로 판단하는 검사과정에서 발생하므로 종판전위와 세동전위 그리고 종판전위와 양성예각파를 구별할 수 있는 매개변수들을 추출하고자 하는 연구가 수행되었다.⁶⁾

본 연구에서는 앞서 실험에서 추출한 매개변수들 중 통계적으로 유의성이 높은 매개변수들을 이용하여 신경질환의 진단을 위한 근전도 검사에서 나타날 수 있는 탈신경전위와 종판전위를 구분할 수 있는 자동화된 알고리즘을 개발하여 병변에 대한 정성적인 진단을 보다 정량화시키고자 하였다. 본 연구를 통해 개발된 알고리즘은 근전도신호를 포함하여 인체내에서 발생하는 여러 생체신호들을 자동검출하고 진단하는 진단시스템에 이용되어질 수 있을 것이다.

실험 방법

본 연구를 위한 전체적인 시스템의 구성이 그림 1에 나타나있다. 근전도기로부터 출력되는 아날로그신호는 A/D변환기를 통해 디지털로 변환되어 컴퓨터에 저장되었다. 그리고 근전도기기의 기록지로 출력되는 근전도신호는 전문 임상가의 의해서 세종류의 신호로 분류되었으며 이렇게 분류된 신호를 대상으로 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적

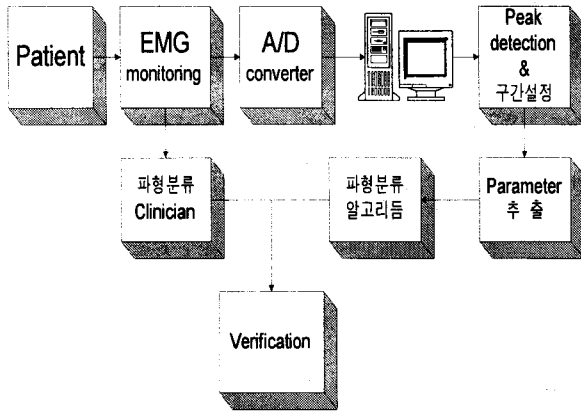


그림 1. 전체 실험 구성도

용한 후, 검증을 통해 알고리즘의 정확도를 검사하였다.

데이터 수집

손상신경이 지배하는 근육에서 발생하는 탈신경전위를 관찰하기 위해서 병변의 발생시기로부터 최소 3~4주 후에 검사를 실시하였다. 전문 임상 의에 의해 분류된 5명의 환자를 대상으로 EDB(extensor digitorum brevis) 부위에서 바늘전극을 이용하여 전위를 측정하였다. 근전도기기(MS-25, Medelec)로부터 출력되는 근전도신호는 100 μV/cm로 증폭되어 1Hz~10kHz의 아날로그 필터를 통과한 후 20kHz의 샘플링 주파수로 400ms 동안 12bit의 해상도로 A/D 변환되어 컴퓨터에 저장되었다. 변환되는 아날로그 신호는 동시에 근전도 기기의 기록지로 출력되어 전문 임상 의에 의해 육안으로 세종류의 신호로 분류하였다.

신호 분석 알고리즘

신경질환을 가진 환자를 대상으로 근전도검사를 실시하여 나타나는 탈신경전위와 중판전위를 검출한 후, 본 실험에서 개발된 알고리즘을 적용하였다. 신호의 분석을 위한 흐름도가 그림 2에 나타나 있으며, 환자들에게서 검출된 근전도신호로부터 먼저 첨두치(peak)를 검출하고 이를 기준으로 일정구간을 설정한 다음, 설정한 구간에서 구한 매개변수를 통해 파형을 분류하였다.

1) 반복 필터의 적용

일반적으로 중판전위와 탈신경전위의 데이터 수집 시, 바늘전극을 삽입하는 과정에서 나타나는 삽입전위 및 환자의 움직임에 의해 발생하는 노이즈 성분이 작용하여 매우 낮은 신호 대 잡음비를 나타낸다. 따라서 근전도 기기에서 A/D변환된 디지털 신호에 반복필터를 적용하여 근전도신호의 신호 대 잡음비가 가장 큰 주파수 대역을 찾아낸다. FIR 대역통과필터를 이용한 반복필터의 구조는 그림 3과 같다. 여기에서 g(n)과 h(n)은 각각 저역통과필터와 고역통과필터이고 레벨이 증가함에 따라 각 레벨에서의 차단 주파수가 절반으로 감소된다. 분석하고자 하는 근전도 신호가 약 80Hz에서 2000Hz부근에

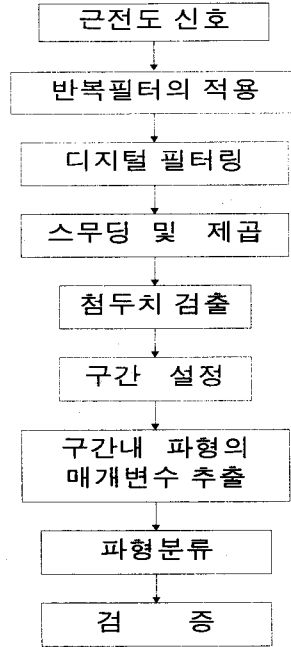


그림 2. 신호처리 흐름도

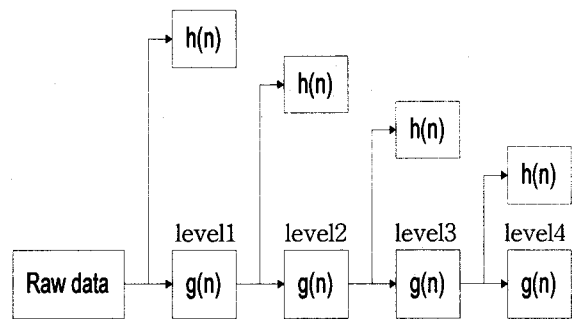


그림 3. 반복필터의 구성도

집중하는 특성을 감안하여 첫 번째 반복필터 구간을 그것의 절반인 1040Hz~2000Hz, 그리고 80Hz~1040Hz까지로 하였다. 필터 계수와 샘플링 주파수는 각각 1000과 20kHz로 고정하였다. 그림 4에서는 중판전위에 반복필터를 적용한 경우를 보여준다. Level 1과 level 2에서 신호대 잡음비가 높은 반면 level 3이하로는 신호대 잡음비가 매우 낮아짐을 알 수 있다.

2) 첨두치 검출 알고리즘

그림 4에서와 같이, 신호처리 과정을 거치기 위해 신호 대 잡음비가 가장 높게 나타나는 level 1의 저주파 영역(80Hz~1050Hz)이 선택되었으며, 이 대역을 통과한 신호를 분석하기 위해 이를 다시 그림 5와 같이 스무딩(smoothing)과정 후 제곱을 해서 첨두치를 더욱 강조시켰다. 이렇게 잡음이 제거된 신호에서 첨두치를 검출하기 위하여 문턱치를 적용하였다. 즉, 신호처리를 마친 근전도신호에서 최대치를 구한 다음, 그 값의 50%를 문턱치로 설정한 후, 신호를 비교해서 문턱치를 넘어서면 그 첨두치가 발생한 지점을 저장하고 다시 그림 4(c)의 신호

근전도 검사에서 나타나는 탈신경전위와 종판전위와의 구별을 위한 알고리즘

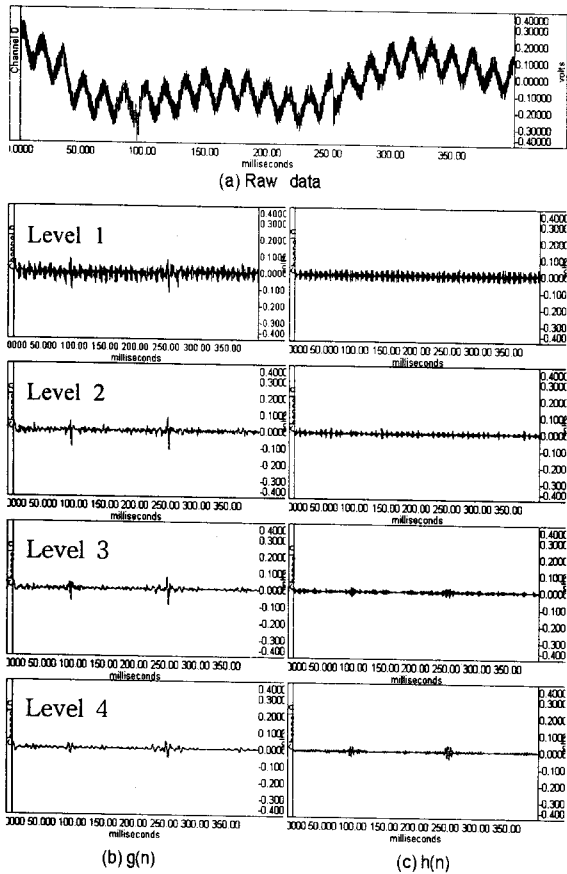


그림 4. 종판전위에 대한 반복필터의 적용

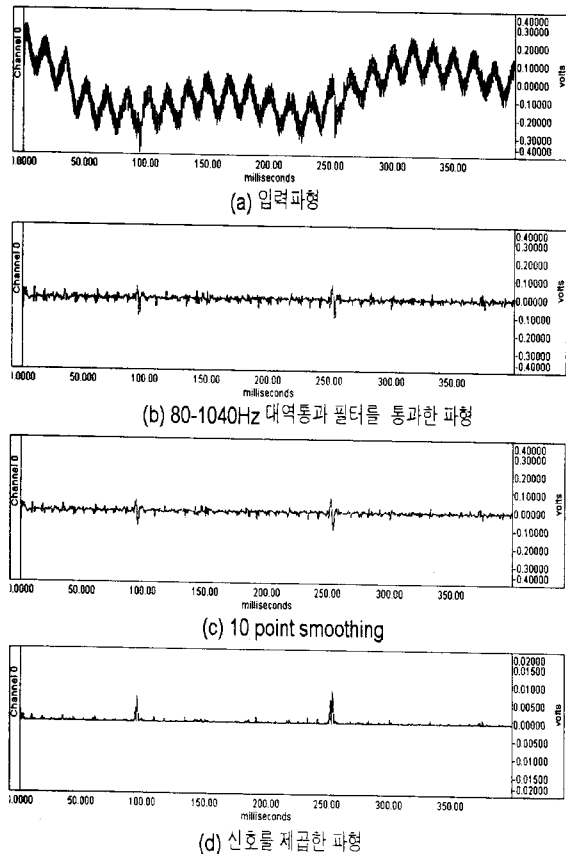


그림 5. 침두치 검출을 위한 신호처리과정

로 변환한 다음 침두치가 발생한 지점으로부터 앞, 뒤로 10ms씩 구간을 설정하였다.

구간이 설정된 신호에서는 그림 6에서와 같이 지속시간(duration), 면적(area), 기울기(slope), 침두치 간 진폭(peak-to-peak amplitude), 양침두치 진폭(positive peak amplitude), 음침두치 진폭(negative peak amplitude), 침두치 비율(ratio of positive to negative peak amplitude), 상의 수(number of phase)의 매개변수들을 구하였으며, 이 중 통계적으로 유의성이 높은 침두치 비율, 기울기, 양침두치에 대한 문턱치를 설정한 후 이 세가지 매개변수의 문턱치 범위내에 모두 들 경우 그에 해당하는 근전도신호임을 진단하도록 하였다.

결 과

실험에 참여한 5명의 환자에 대한 실험결과가 표 1에 나타나있다. 알고리즘을 실제 근전도신호에 적용한 후 전문 임상사가 확인한 파형의 개수와 본 연구에서 개발된 알고리즘이 검출해낸 파형의 개수를 비교하여 검출의 정확도를 산출하였다. 종판전위는 실제 파형수가 27개인데 비해서 본 알고리즘이 검출해낸 파형수가 24개로 88.8%였고, 세동전위는 실제 파형의 수가 22개인데 비해 검출된 파형의 수가 18개로 81.8%, 그리고 양성예각파에 대해서는 실제 파형의 수가 18개인데 비해 검출된 파형의 수가 14개로 77.8%의 정확도를 보이고 있다. 따라서, 종판전위에 대해서는 파형의 검출율이 높은 반면, 양성예각파의 경우 파형의 검출율이 다소 떨어진 것을 알 수 있었다.

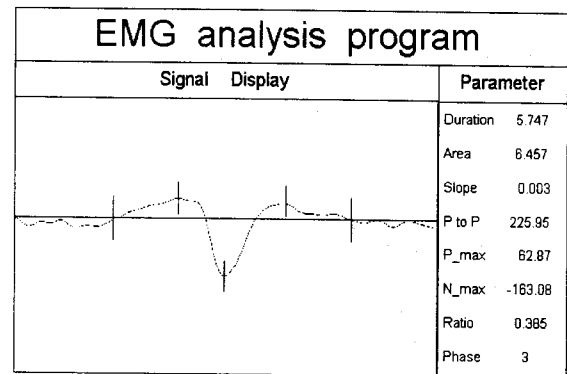


그림 6. 양성예각파에 대한 매개변수 추출

표 1. 알고리즘의 검증

	실제 파형수	검출된 파형수	정확도
종판전위	27	24	88.8%
세동전위	22	18	81.8%
양성예각파	18	14	77.8%

결론 및 토의

중판전위와 세동전위는 상(phase)를 제외하면 파형의 모양이 유사한 것을 알 수 있으며 간혹 세동전위에 있어서 처음 발생하는 양첨두치(positive peak)의 크기가 미약할 경우 혼돈을 야기할 수 있다. 또한 양성예각파에서는 양첨두치가 우세하게 나타나지만 양첨두치를 좌우로 나타나는 음첨두치(negative peak)가 강조되고 상대적으로 양첨두치가 약하게 나타날 경우 근전도기기의 모니터상에 육안으로 확인되는 파형의 모양은 중판전위와 유사하게 보인다.

양성예각파의 경우 다른 두 파형에 비해 정확도가 낮는데, 이는 파형자체의 특성을 볼 때, 진폭(amplitude)을 포함해서 매개변수들의 편차가 심하기 때문이다. 본 연구에서 개발된 알고리즘의 신뢰성은 추출된 매개변수의 특성과 상관관계가 높다. 즉, 세가지 파형을 정확히 구별해 줄 수 있는 매개변수가 본 알고리즘에 사용되어지면 그 만큼 전체적인 알고리즘의 신뢰성이 높아지는 것이다. 따라서 매개변수에 관한 연구가 계속되어진다면 본 연구에서 개발된 알고리즘을 실제 임상에도 병변의 진단을 위해 충분히 응용되어질 수 있다고 고려된다.

참고 문헌

- [1] J.Goodgold, A.Eberstein, "Electrodiagnosis of Neuromuscular Diseases", Third Edition, 1983.
- [2] H.Feistner, T.F.Munte, J.Strempel, H.J.Heinze, "Computer-aided EMG-analysis in Patients with Neurogenic Lesions", Electromyogr. Clin. Neurophysiol., Vol. 32, pp.463-466, 1992.
- [3] D.Dumitru, "Electrodiagnostic Medicine", Hanley & Belfus, Inc, 1995.
- [4] J.Kimura, "Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle", Second Edition, F.A.Davis Company, 1989.
- [5] D.Dumitru, "Single Muscle Fiber Discharges (Insertional Activity, Endplate Potential, Positive Sharp Waves, and Fibrillation Potential): A Unifying Proposal", Muscle & Nerve, vol.16, pp.221-226, 1996.
- [6] 황윤성, "신경질환의 진단을 위한 근전도 검사에 있어서 탈신경전위와 중판전위와의 구별에 관한 연구", 인제대학교 의용공학과 석사학위논문, 1997.