고신대학교 의학부 학술지 제14권 제1·2호
Kosin Medical Journal
Vol. 14, No. 1, 2, Nov. 1999

정중 감각신경 전도검사에 의한 당뇨병성 신경병증의 조기진단

고신대학교 의학부 재활의학과 교실, 고신대학교 의학부 해부학과 교실*

정호중, 김기찬, 전포성, 정상욱, 김강련*

Early Diagnosis of Diabetic Neuropathy by Median Nerve Sensory Conduction Study

Ho Joong Jeong, M.D., Ghi Chan Kim, M.D., Po Sung Jun, M.D., Sang Wook Jeong, M.D., and Kang Ryune Kim, Ph.D.*

Department of Rehabilitation Medicine and Department of Anatomy, Kosin Medical College, Pusan, Korea.*

Abstract

Background To evaluate the diagnostic value of median sensory nerve conduction study in early phase of diabetic neuropathy. ***Methods*** The onset latency, duration, peak amplitude, and area of sensory nerve action potential (SNAP) of median nerve stimulated at wrist and elbow, respectively on 20 normal adults and 20 diabetic patients who revealed normal findings in conventional electrodiagnostic procedure were checked and compared. ***Results*** 1) The onset latency, peak amplitude, and area of SNAP stimulated at wrist of diabetic patients were significantly different than those of control group ($p<0.05$). 2) The conduction velocity, peak amplitude, and area of SNAP stimulated at elbow of diabetic patients were significantly different than those of control group ($p<0.05$). 3) The amplitude of SNAP stimulated at elbow on diabetic patient was most accurate parameter and next, the amplitude of median sensory nerve action potential stimulated at wrist.

Conclusion The amplitude of median sensory nerve action potential stimulated at elbow are

good quantitative indices of diabetic neuropathy who revealed normal findings in conventional electrodiagnostic procedure with positive neurologic symptom and physical examination.

Key Words: diabetic neuropathy, median nerve sensory conduction study, amplitude

서 론

당뇨병성 신경병증은 당뇨병의 주요 합병증의 하나로 통증, 저림감, 감각상실의 증상이 발생하며 심할 경우 감각둔화로 인해 족부궤양이 생긴다.[1-3] 발생빈도는 5-60% 정도로 저자에 따라 다양하게 보고되고 있으며, 이러한 발생빈도의 차이는 표준화된 당뇨병성 신경병증의 진단 기준이 확립되어 있지 않기 때문이다.[4-6] 최근의 추세는 문진표 등을 통한 임상 증상 및 이학적 소견과 전기진단 검사 등을 종합하여 단계적으로 이루어지고 있다.[2,3,6]

전기진단 검사는 여러 진단 검사 중에서 신경 기능을 객관적으로 평가할 수 있고 임상 증상이 나타나기 이전의 불현성 신경병증도 진단할 수 있어 신경병증의 평가 및 진단을 위해 가장 널리 이용되고 있다. 당뇨병성 신경병증의 진단을 위한 전기진단 검사를 위해서는 말초의 운동 및 감각신경 전도검사, 침근전도 검사, 근위부의 신경 전도를 위한 F파와 H반사 검사, 말초 신경에서 중추 신경계 사이의 전반적인 평가를 위한 체성 감각유발 전위, 자율 신경계의 평가를 위한 부교감 신경 및 교감신경 검사 및 최고, 최저 운동신경 전도 검사 등을 시행해야 한다. 그러나 모든 전기진단 검사를 시행하기에는 시간과 비용이 많이 들뿐 아니라 자율신경계와 최고, 최저 운동신경 검사법 등은 그 정확성도 의문이므로, 모든 당뇨병성 신경병증의 진단이나 특히 추적 검사에는 적합하지 않아 임상에서는 일반적으로 말초 운동 및 감각신경 전도검사만을 이용하게 된다. 그러나 임상증상 및 이학적 소견에서 신경병증이 의심되는 경우에도 고식적 말초 운동 및 감각신경 전도에서는 정상으로 판명되는 수가 있어 새로운 전기 진단법이 필요한 실정이다.

저자들은 일반적 신경전도 검사에서 정상으로 판정되었지만, 조기 당뇨병성 신경병증이 의심되는 환자를 대상으로 손목관절 및 팔꿈관절 2부위에서 자극하여 기록된 감각신경 활동전위의 여러 변수를 이용하여 당뇨병성 신경병증에서 이들 변수의 진단적 가치를 알아보고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

신경병증의 병력이 없고 신경학적 검사로 건강하다고 인정되는 40세 이상의 정상 성인 20명을 대조군으로 하고, 1998년 3월부터 8월까지 고신대학교 복음병원 내과에 입원한 인슐린 비의존형 당뇨병 환자 중 당뇨병으로 이환 된지 4년 이상이며, 임상 증상 및 이학적 소견에서 당뇨병성 신경병증이 의심되나 일반적 전기진단 검사에서 정상으로 판정된 20명을 환자군으로 하였다.

2. 방법

근전도기기 Cadwell Excel®(Cadwell Laboratories, Inc., U.S.A.)을 사용하였고 피부 온도는 32-34°C로 유지하였다. 운동신경의 경우는 양측 정중신경과 심부 비골신경을, 감각신경의 경우는 양측 정중신경, 척골신경, 표재 비골신경, 비복신경을 선택하여 일반적으로 가장 널리 이용되는

신경 전도 검사 방법인 Liveson과 Ma의 방법[7]에 따라 신경 전도 검사를 시행하여 정상으로 판정되면 환자군으로 하여 정중 감각신경 전도 검사를 실시하였다. 역향성 방법(antidromic method)으로 기록전극은 제 2 손가락의 첫마디에, 대조전극은 기록전극의 3cm 먼 쪽에 두었다. 자극은 기록전극의 14cm 몸 쪽 손목관절과 팔꿈관절 팔오금(cubital fossa) 부위에 각각 실시하였다.

3. 통계처리 및 결과분석

각 자극시 감각신경 활동전위의 기시잠시와 신경전도속도, 기저선에서 음성정점까지의 진폭, 지속시간 및 면적을 구하여 비교 분석하였다. 자료 분석은 SPSS for windows (version 7.5)를 사용하여 빈도 분석, Student's t-test를 하여 95% 신뢰구간으로 유의성을 검정하였다. 각 검사 방법간의 정확도 차이를 알아보기 위하여 ROC (receiver operating characteristic) 곡선을 구하여 분석하였다.

결 과

1) 대상환자 및 대조군은 각각 20명으로 대상환자와 대조군의 성별은 각각 남자 12명, 여자 8명 및 남자 10명, 여자 10명이었고 연령은 각각 평균 56.6±12.4세 및 56.3±4.6세로 통계학적으로 유의한 차이는 없었고($p>0.05$) 대상환자의 당뇨병 이환 기간은 평균 7.6±3.9년이었다 (Table 1). 한편 대조군 20명을 대상으로 검사한 정중 감각신경 전도 검사중 수근관절에서 자극한 기시잠시, 기저선에서 음성정점까지의 진폭, 지속시간 및 면적은 각각 2.73±0.15 ms, 31.1±4.3 μV, 1.48±0.18 ms, 24.5±3.99 μV·ms였고, 주관절 주와 부위에서 자극한 신경 전도속도, 기저선에서 음성정점까지의 진폭, 지속시간 및 면적은 각각 56.2±3.12 m/s, 21.4±5.21 μV, 2.14±0.5 ms, 22.5±8.61 μV·ms이었다.

Table 1. Characteristics of control and diabetic patients

	Control	Patients
Number of subject (M*/F†)	20 (10/10)	20 (12/8)
Age (years)	56.3 ± 4.6	56.6 ± 12.4†
Duration (years)		7.6 ± 3.9

Values are mean±S.D. (years)

2) 환자군의 감각신경 전도 검사 중 수근관절에서 자극한 기시잠시, 기저선에서 음성정점까지의 진폭, 지속시간 및 면적은 각각 2.92±0.15 ms, 19.6±4.59 μV, 1.75±0.52 ms, 18.7±5.82 μV·ms로 기시잠시, 진폭 및 면적은 대조군과 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), 지속시간은 대조군과 유의한 차가 없었다(Table 2).

Table 2. Comparison of mean values between control and diabetic patients at wrist stimulation

	Stimulation at Wrist			
	Onset latency (ms)	Amplitude (μV)	Duration (ms)	Area (μV·ms)
Control	2.73±0.15	31.1±4.23	1.48±0.18	24.5±3.99
Patient	2.92±0.15*	19.6±4.59*	1.75±0.52	18.7±5.82*

*$p < 0.05$

3) 주관절 주와 부위에서 자극한 신경 전도 속도, 기저선에서 음성정점까지의 진폭, 지속시간 및 면적은 각각 51.1±3.99 m/s, 11.4±2.34 μV, 2.09±0.54 ms, 13.1±3.61 μV·ms로 기시잠시, 진폭 및 면적은 대조군과 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), 지속시간은 대조군과 유의한 차가 없었다(Table 3).

Table 3. Comparison of mean values between controls and diabetic patients at elbow stimulation

	Stimulation at Elbow			
	NCV* (m/s)	Amplitude (μV)	Duration (ms)	Area (μV·ms)
Control	56.2±3.12	21.4±5.21	2.14±0.5	22.5±8.61
Patient	51.1±3.99†	11.4±2.34†	2.09±0.54	13.1±3.61†

*NCV: Nerve conduction velocity
†$p < 0.05$

4) 대조군과 환자군 사이에서 유의한 차를 보인 기시잠시, 신경 전도 속도, 기저선에서 음성정점까지의 진폭 및 면적의 ROC 곡선에서 주관절부 자극시의 진폭이 가장 정확도가 높고 수근관절부 자극시의 진폭, 면적 및 기시잠시의 순으로 정확도가 높았다(Fig 1).

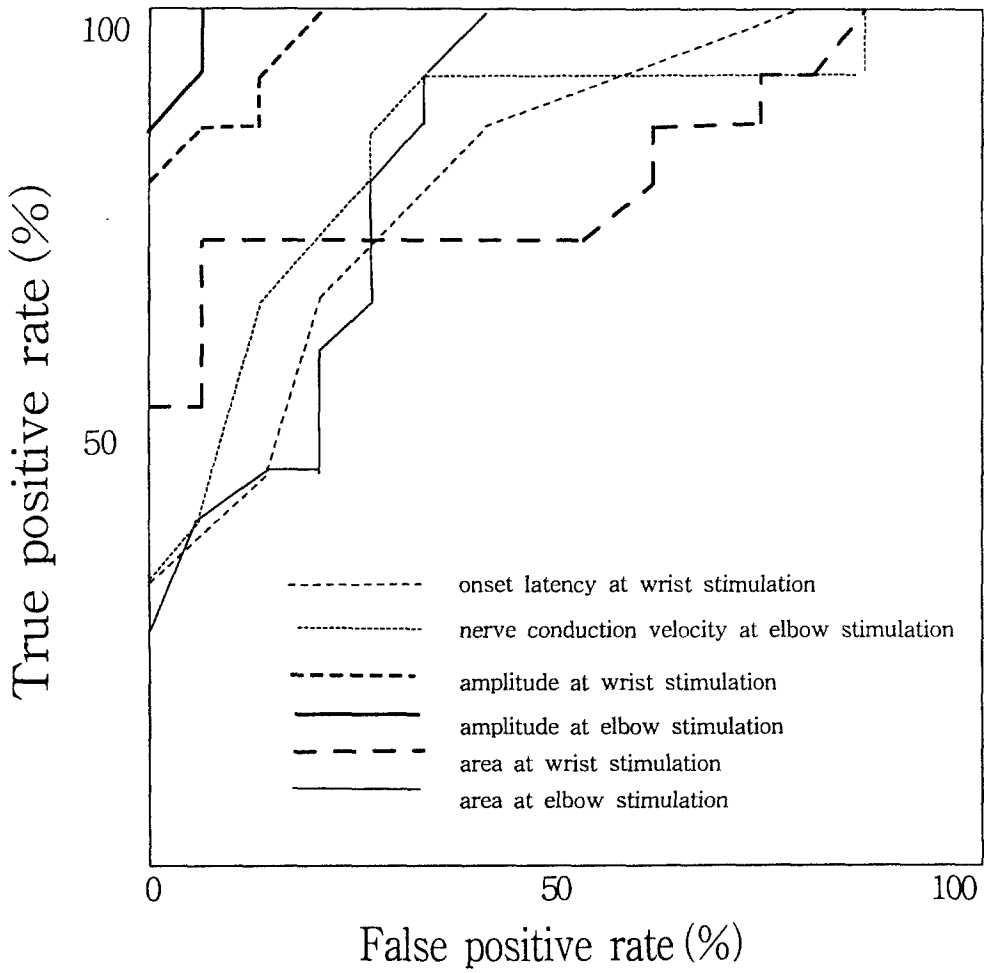

Fig. 1. Receiver operating characteristic curves of parameters of median sensory nerve action potential at wrist and elbow stimulations. The amplitude of median sensory nerve action potential stimulated at elbow on diabetic patient was the most accurate parameter and next, the amplitude of median sensory nerve action potential stimulated at wrist.

고 찰

당뇨병성 신경병증은 침범된 신경의 종류와 양상에 따라 대칭적 또는 비대칭적으로 나타나고 단발성 신경염에서부터 다발성 신경염, 순수 감각신경 병변으로부터 순수 운동신경 병변에 이르기까지 임상적으로 여러 유형을 보이며, 자율 신경계와 뇌신경까지 침범하여 안면신경 전도의 지연을 보이기도 한다.[8] 아직까지 이상적이고 표준화된 분류 방법도 없을 뿐만 아니라 다발성 신경병증의 유형이 광범위하기 때문에 그 진단에서도 많은 이견이 존재하며 진단 방법도 다양하게 제시되고 있다. 최근의 추세는 문진표 등을 통한 임상 증상 및 이학적 소견과 전기진단 검사 등을 종합하여 단계적으로 이루어지고 있으며 이중 비교적 객관적이고 정량화가 가능한 전기진단 검사가 가장 중요한 진단 방법으로서 보편적으로 사용되고 있다.

그러나 당뇨병성 신경병증은 그 종류가 다양하고 광범위하기 때문에 흔히 실시하는 일반적 신경 전도 검사와 침근전도 검사로서는 한계가 있어 당뇨병성 신경병증의 조기 진단과 추적 관찰을 위해 여러 전기진단 검사 방법에 대한 연구가 행해지고 있으나[9], 이러한 추세 때문에 당뇨병성 신경병증을 위한 진단의 종류와 수가가 증가하여 인력, 시간 및 비용이 증가하는 역기능이 나타나게 되었다. 최근에는 당뇨병성 신경병증을 조기에 진단하여 조기 치료를 시작, 합병증을 예방하는 차원으로 연구가 진행되고 있으며, 당뇨병성 신경병증의 진단을 위한 간편하고 객관적인 방법이 요구되고 있다.

현재까지 신경병증을 진단하기 위해서는 신경병증이 의심되는 임상 증상 및 이학적 소견을 관찰한 후 전기진단 검사를 실시하며 그 원인에 따라 부수적인 혈액 검사나 진단 방사선 검사 및 필요에 따라 신경 생검까지 실시하게 되는데, 당뇨병성 신경병증은 대사성 질환이므로 임상증상 및 이학적 소견 후의 전기진단 검사 결과가 진단에 중요한 변수로 작용한다. 임상증상 및 이학적 소견과 전기진단 검사가 일치할 때와 임상증상 및 이학적 소견에서는 신경병증이 의심되지 않으나 전기진단 검사에서 신경병증으로 판명되는 불현성 신경병증의 경우는 이견이 없으나, 임상 증상 및 이학적 소견에서 신경병증이 의심되나 신경 전도 검사와 침근전도 검사에서 특별한 이상소견이 없을 경우 이에 대한 판정은 실질적으로 어려움에 처하게 된다.

Buchthal 등[9]은 축삭 변성이 주로 오는 당뇨병성 신경병증의 경우 최저 운동 신경 속도가 최고 운동 신경 속도보다 더 많이 감소되며, 이 최저 운동 속도의 감소가 첫 이상 소견이라 하였으며, 환자가 흔히 사지의 말초부위에 동통이나 감각이상을 호소하거나 감각저하를 호소하는 경우 신경 전도 검사와 침근전도 검사를 실시하였을 때에 특별한 이상 소견이 없을 경우 이는 작은 직경의 무수 신경 섬유의 침범에 의한다고 하였다. Rossi 등[10]과 안미경 등[11]은 일반적 신경 전도 검사 및 침근전도 검사로 진단되지 않는 조기 당뇨병성 신경병증에서 종아리 신경의 최저 전도 속도가 정상인보다 낮아져 있음을 보고하였다.

당뇨병성 신경병증은 먼 쪽의 신경 섬유를 주로 침범하고 운동신경 보다는 감각신경을 손상시키기 때문에[12] 김 등[13]은 감각신경 전도의 이상이 특징적인 초기 변화이므로 감각신경에 대한 말초 감각신경 전도와 체성 감각 유발 전위가 경미한 비정상 반응을 알아내는데 가장 민감하다고 하여 감각 전도가 정상이면서 체성 감각 유발 전위가 이상인 경우를 보고하였으나, 박 등[14]은 다발성 말초 신경병증이 없었던 환자에서 이상 소견을 보인 예는 없었다고 보고하였고, 체성 감각 유발 전위는 대신경에 의해 전달되고 H반사와 같이 여러 가지 요인에 의해 영향을 받기 때문에 정확한 감별 진단이 필요하다.

후기 반응의 하나인 F파는 일반적인 신경 전도 검사로는 측정하기 어려운 몸쪽의 운동신경 섬유만을 선택적으로 검사할 수 있는 방법이다. Kimura[15]는 운동신경의 이상이 운동 단위의 몸

쪽을 포함한 전체에 산재하기 때문에 F파의 잠시의 지연을 보인다고 하였고, 박 등[14]은 복합근 활동전위가 정상인 예에서 F파의 지연을 보인 예를 보고하여 먼 쪽 말초신경의 전도 이상이 없을 때에도 몸 쪽의 운동신경이 먼저 침범될 수 있다고 하였다.

Hendriksen 등[16]은 당뇨병 초기에 자율 신경에의 이상이 체신경의 이상보다 먼저 나타난다고 하였고 이 등[12]과 한 등[17]은 당뇨병 이환 기간이 짧은 경우 자율 신경계 기능 검사가 유용하다 하였으나, 박 등[14]은 당뇨병성 신경병증과 유의한 상관 관계가 없다고 하였다. 교감신경 피부반응 검사는 간편하고 비침습적인 방법이나 환자의 긴장도, 자극의 강도, 실내온도, 안정시 피부저항, 습성화 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다.[18]

Gilliatt 등[19]은 정상인에서 자골 감각신경 활동진폭이 정중신경에서보다 일반적으로 작다는 것을 보고하고 이는 제 2 손가락이 제 5 손가락에 비해 크고 기능적으로도 더 중요하므로 더 많은 감각신경 섬유가 있기 때문이라 가정하였다. 일반적 감각신경 전도 속도는 최고 전도 속도를 나타내는 큰 직경의 신경 섬유의 전도를 반영하고 최저 전도 속도를 나타내는 작은 직경의 신경 섬유의 비정상적인 상태는 잘 반영하지 못한다.[20] 따라서 신경 자극에 반응하는 감각 신경수의 정량치로서 병적 축삭 변화를 알아내는데 유용한 척도로 이용할 수 있는 감각신경 활동전위의 진폭과 지속시간 및 면적이 신경 전도 속도와 함께 감각신경을 평가하는 하나의 척도로 표준화되어 이용되고 있다.

당뇨병성 신경병증은 대사성 질환으로 병변이 일부분에 국한되기보다는 산재되는 양상이다. 그러므로 일반적 신경 전도 검사로 이상 소견이 나타나지 않는 초기의 신경병증에서 고식적 방법인 손목관절에서 자극하여 제 2 손가락에서 기록하여 얻은 정중 감각신경의 진폭과 지속시간 및 면적보다는 더 긴 거리의 병적 상태를 반영하는 팔꿉관절에서 자극하여 얻은 정중 감각신경의 진폭과 지속시간 및 면적의 변화가 크다고 가정 할 수 있다. 그리고 정상인도 여러 영향인자에 의해 감각신경 활동전위의 진폭의 변화가 많이 나타날 수 있으며, 특히 생리적인 시간상 산포(temporal dispersion)에 의해 진폭이 감소될 수 있기 때문에, 진폭과 지속시간의 영향을 모두 포함하는 감각신경 활동전위의 면적이 보다 정확하게 말초 신경 자극 전달 기능을 반영한다는 보고도 있다.[21-24]

그러나, 본 연구에서 가장 정확도가 높았던 것은 팔꿉관절에서 자극하여 기록한 진폭으로 면적보다 더 정확도가 높게 나왔으며 시간상 산포의 정도를 반영하는 지속시간이 손목관절과 팔꿉관절 자극시 두 경우 모두에서 통계적으로 정상인과 유의한 차가 없었고 팔꿉관절 자극시의 지속시간의 평균치는 정상인에서의 평균치 보다 떨어지는 결과를 보였다. 이는 표면전극으로 측정시 진폭이 너무 작아 정확한 지속시간을 측정하기 어려움으로 인한 측정상의 오류이거나, 최저 신경 전도 속도를 나타내는 작은 직경섬유의 탈수초화에의한 전도 차단 혹은 상쇄로 생각된다. 이러한 지속시간의 불분명으로 인해 진폭에 비해 면적 또한 좋은 변수가 되지 못한 것으로 생각된다.

팔꿉관절 자극시의 진폭 다음으로 정확도가 높았던 것은 손목관절 자극시의 진폭으로, 팔꿉관절 자극과 손목관절 자극시의 면적보다 정확도가 높았다. 그러나 본 연구에서 팔꿉관절 자극시 진폭 변화가 손목관절 자극시의 진폭 변화에 비해 더 뚜렷하게 나타난 것은 단순한 시간상 산포 때문이라기 보다는, 팔꿉관절을 자극하여 얻은 진폭이 더 긴 거리의 신경 생리를 반영하므로 당뇨병으로 인한 전도 차단이나 축삭 상실이 손목관절 자극 때보다 더욱 잘 나타날 수 있기 때문이라고 생각한다. 또한 진폭의 감소율이 면적의 감소율보다 팔꿉관절 및 손목관절 자극시 모두에서 더 감소하였는데, 이는 본 연구에서 일반적 신경 전도 검사에서 나타나지 않는 초기 당뇨병 환자를 대상으로 하여 탈수초화에 의한 전도차단이나 축삭 상실과 함께 시간상 산포의 영향도 완전히 배제할 수 없

으며, 지속시간의 측정오차도 무시할 수 없다.

지름 9㎛ 이상의 정상 신경 섬유가 약 200개 정도면 전기진단 검사에서 정상인 기시잠시를 얻을 수 있고 이 수치는 정상 장딴지 신경 섬유의 약 1/4에 해당한다고 하며 가장 빠른 신경 섬유에 의해 결정되고[25], 진폭은 대략 지름이 약 9㎛ 이상 되는 신경 섬유들이 탈분극될 때의 합이라는 것을 생각하면[26] 큰 직경 섬유의 병변이 일반적인 전기진단 검사의 기준보다는 적을 때 기시잠시보다는 진폭의 변화가 더 크리라고 가정할 수 있다. 이론적으로는 신경 섬유의 병적 변화를 지속시간과 면적이 가장 잘 대변할 수 있으나 일반적으로 임상에서 사용하는 전기진단 방법으로는 그 변화를 정확하게 나타낼 수 없다는 점과 일반적 방법으로 진폭은 비교적 쉽고 정확하게 측정 가능하다는 점을 고려하면 자료를 분석할 때 진폭에 더 큰 비중을 두는 것이 타당하다고 생각한다.

이상에서 팔꿉관절 부위에서 자극한 정중 감각신경 전도 검사가 일반적 신경 검사 및 침근전도 검사에서 이상소견이 없더라도 임상 증상과 함께 당뇨병성 신경병증의 조기 진단에 유용하다고 생각된다.

결 론

1998년 3월부터 8월까지 고신대학교 복음병원 내과에 입원한 인슐린 비의존형 당뇨병 환자 중 당뇨병으로 이환된지 4년 이상이며, 임상증상 및 이학적 소견에서 당뇨병성 신경병증이 의심되나 일반적 전기진단 검사에서 정상으로 판정된 20명을 대상으로 팔꿉관절 및 손목관절에서 자극하여 측정한 정중 감각신경 전도검사에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 환자군과 대조군에서 손목관절부 자극과 팔꿉관절부 자극시 지속시간을 제외하고 지속시간, 전도 속도, 진폭 및 면적에서 모두 통계적으로 차이가 있었다($p<0.05$).

2) ROC 곡선에서 팔꿉관절부 자극시의 진폭이 가장 정확도가 높고 손목관절부 자극시의 진폭, 면적 및 기시잠시의 순으로 정확도가 높았다.

일반적 전기생리학 검사로 진단이 용이하지 않은 초기 당뇨병성 신경병증은 임상적 중요성에도 불구하고 흔히 간과되어 적절한 치료 및 추적관찰이 이루어지지 않고 있다. 이러한 초기 당뇨병성 신경병증의 객관적 검사로서 정중 감각신경 전도 검사의 팔꿉관절 부위에 의해 기록된 진폭이 유용하며 임상에서 간단하게 실시할 수 있는 조기검사와 추적검사로 유용할 것이다.

참고문헌

1. Greene DA, Lattimer SA, Sima AAF: Sorbitol, phosphoinositides and sodium-potassium- ATPase in the pathogenesis of diabetic complications. N Eng J Med 316 : 599-606, 1987
2. Watkins PJ: Clinical observations and experiments in diabetic neuropathy. Diabetologia 35 : 2-11, 1992
3. Ross MA: Neuropathies associated with diabetes. Med Clinic North Am 77 : 111-124, 1993
4. 이이형, 윤정한, 임승길, 윤금석, 김원중, 김현만, 이현철, 허갑범: 당뇨병의 병형에 따른 합병증에 관한 연구. 대한당뇨병학회지 9 : 197-203, 1985
5. The Diabetes Control and Complications Trial Research Group: Factors in the development of diabetic neuropathy; baseline analysis of neuropathy in the feasibility phase of the Diabetes Controls and Complications Trial(DCCT). Diabetes 37 : 476-481, 1988
6. 고경수, 오태근, 김칠희, 박경수, 이문규, 김성연, 조보연, 이홍규, 고창순, 민헌기:

인슐린 비의존형 당뇨병 합병증에 관한 연구. 대한당뇨병학회지 15 : 257-262, 1991
7. Liveson WT, Ma DM: Laboratory reference for clinical neurophysiology, Philadelphia, FA Davis Company, 1992, 237-262
8. Said G: Diabetic neuropathy: an update. J Neurol 243 : 431-440, 1996
9. Buchthal F, Rosenfalck A: Sensory potentials in polyneuropathy. Brain 94 : 241-262, 1971
10. Rossi B, Sartucci F, Stefanini A: Measurement of motor conduction velocity with Hopf's technique in the diagnosis of mild peripheral neuropathies. J Neurol Neurosurg Psychiat 44 : 168-170, 1981
11. 안미경, 권희규: 최고, 최저 운동신경전도속도 검사를 이용한 당뇨병성 신경병증의 진단에 관한 연구. 대한재활의학회지 16 : 354-363, 1992
12. 이일영, 나은우, 문혜원, 임신영, 장지찬, 송민선, 김현만, 정윤석: 당뇨병성 신경병증의 전기진단학적 검사의 민감도에 관한 고찰. 대한재활의학회지 20 : 347-356, 1996
13. 김진호, 이은용, 이청기: 당뇨환자에서의 감각신경전도검사와 체성감각유발전위 검사. 대한재활의학회지 11 : 1-9, 1987
14. 박병규, 김기림, 차영훈: 당뇨병성 신경병증의 이학적 검사 및 전기생리학적 검사의 민감도. 대한재활의학회지 21 : 1201-1211, 1997
15. Kimura J: Electrodiagnosis in disease of nerve and muscle, 2nd ed, Philadelphia, FA Davis Company, 1989, 332-374
16. Hendriksen PH, Oey PL, Wieneke GH, Bravenboer B, Van Huffelen AC: Subclinical diabetic polyneuropathy: early detection of involvement of different nerve fiber types. J Neurol Neurosurg Psychiat 56 : 509-514, 1993
17. 한혜연, 안경희, 나영설: 당뇨병성 신경병증에서의 신경전도 검사와 자율신경계 기능검사의 비교 연구. 대한재활의학회지 12 : 175-182, 1984
18. Knezevic W, Bajada S: Peripheral autonomic surface potential-a quantitative technique for recording sympathetic conduction in man. J Neurol Sci 67 : 239-251, 1985
19. Gilliatt RW, Sears TA: Sensory nerve action potentials in patients with peripheral nerve lesions. J Neurol Neurosurg Psychiat 21 : 109-118, 1958
20. Shahani BT, Young RR: Clinical neuropathy Vol 1, Boston, Butterworth, 1981, 21-22
21. Mongomery EM, McQuillen MP: Grouped muscle action potential area. Arch Phys Med Rehabil 54 : 376-382, 1981
22. Gans B, Kraft G: M-response quantification: a technique. Arch Phys Med Rehabil 62 : 376-382, 1981
23. Onley RK, Budingen HJ, Miller RG: The effect of temporal dispersion on compound muscle action potential area in human peripheral nerve. Muscle Nerve 10 : 728-733, 1987
24. 한태륜, 성덕현: 말초신경 손상에 따른 운동신경복합전위에 관한 실험적 연구. 대한재활의학회지 62 : 291-299, 1988
25. Desmedt JE: New developments in electromyography and clinical neurophysiology Vol 2, Basel, Karger, 1973, 259-271
26. Behse F, Buchthal F: Sensory action potentials and biopsy of the sural nerve in neuropathy. Brain 104 : 473-493, 1978