

용적맥파 측정법을 이용한 신경병증 당뇨병 족부질환의 진단

Diagnosis of neuropathic foot of diabetics using photo-plethysmography

남기창*, 유창용**, 정원혁***, 김진태***, 박중훈***, 김덕원*
Ki-Chang Nam*, Chang-Yong Ryu**, Won-Hyuk Jung***, Jin-Tae Kim***, Joong-Hoon Park***,
Deok-Won Kim*

Abstract - The population of diabetes is continuously increasing because of the economic development and the lifestyle modification. If diabetes become chronic condition, it can cause various complications. Among many other complications, diabetic foot is the most fatal issue since it may require amputation of the legs. Diabetic foot has three different types such as neuropathic, neuro-ischemic and ischemic. Among these types, patients of neuropathic foot experience sensory abnormality. Nerve conduction velocity (NCV) is used for diagnosing neuropathic foot but this method uses strong electric stimulus to cause severe pain to the patients. In this study, two channel photo-plethysmography was used as noninvasive screening tool for distinguish neuropathic foot and normal group by observing blood flow of both finger and toe simultaneously.

Key Words : photo-plethysmography, diabetic foot, neuropathy, blood flow

1. 서론

경제발전과 생활양식의 변화로 우리나라에서도 당뇨병이 점점 증가하고 있다. 미국에서는 해마다 약 3만 명의 환자가 당뇨병으로 다리의 일부를 절단하는 수술을 받고 있다[1]. 우리나라에서도 당뇨병성 족부병변(diabetic foot)으로 불구가 되는 환자들이 점점 증가하고 있다. 당뇨병 환자에서 족부병변은 별다른 이상 없이 심각한 상태로 이행하는 것이 가장 큰 문제점이다. 당뇨병성 족부병변의 병인은 신경병성(neuropathic), 신경-허혈성(neuro-ischemic), 허혈성(ischemic)의 3가지로 구분된다[1].

현재 당뇨병성 신경병증을 진단하기 위해서는 이상감각을 호소하는 환자들을 대상으로 신경전도검사(nerve conduction velocity: NCV)를 실시하여 신경병증의 유무를 진단하고 있다. 그러나 신경전도 검사는 강한 전기 자극을 환자에게 직접적으로 가하므로 심한 자극을 유발하여 환자들이 심한 고통을 호소하는 경우가 많다[2]. 따라서 환자들의 고통을 최소화 하면서 당뇨병성 신경병증을 판별할 수 있는 검사방법에 대한 요구가 있어왔다.

본 연구에서는 광혈류측정 (photo-plethysmography: PPG) 센서를 이용하여 비관혈적으로 간편하게 발가락과 손가락에서의 혈류량을 측정하여 혈관폐색 환자를 구분하고, 신경병증이 있는 그룹과 신경병증이 없는 그룹간의 혈류량의 차이를

확인함으로써 당뇨병성 족부병변 환자들의 손가락과 발가락의 혈류량 변화를 사전 검사하는 장비와 소프트웨어를 개발하여 임상에서 활용할 수 있도록 하고자 하였다.

2. PPG(photo-plethysmography) 측정 시스템

2.1. PPG 측정 시스템 의 하드웨어

PPG 혈류량 측정 시스템은 그림 1과 같이 구성 된다. 양 손가락과 발가락을 동시에 측정할 수 있는 Nellcor DS-100A Durasensor®와 호환되는 2개의 PPG 센서, PPG 센서 제어 및 증폭기 부분인 2채널 앰프, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 DAQ pad(National Instruments®, PCI-6020E), 측정된 신호를 화면에 표시하여 주며, 하드디스크에 데이터를 저장하는 데이터 저장 프로그램과 펜티엄급 노트북으로 구성 된다.

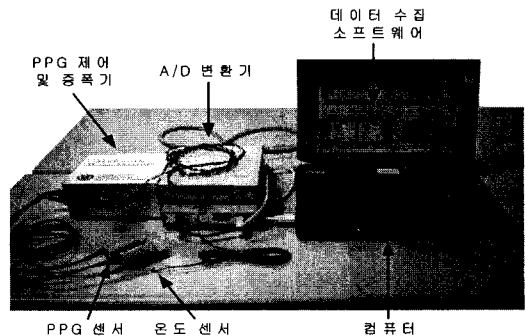


그림 1. 2채널 PPG 측정 시스템

저자 소개

- * 연세대학교 의과대학 의공학교실
- ** 한국전자통신연구원
- *** 연세대학교 대학원 생체공학협동과정

2.2. PPG 측정 시스템의 소프트웨어

소프트웨어는 LabVIEW 6i로 개발하였으며 크게 두 부분으로 나누어진다. 그림 2는 양손의 검지 혹은 양발의 엄지발가락을 측정하는 프로그램으로 현재 측정하고 있는 신호를 실시간으로 보여주고 있다. 적색광과 적외선광에 의한 혈류 측정 결과가 동시에 표시된다.

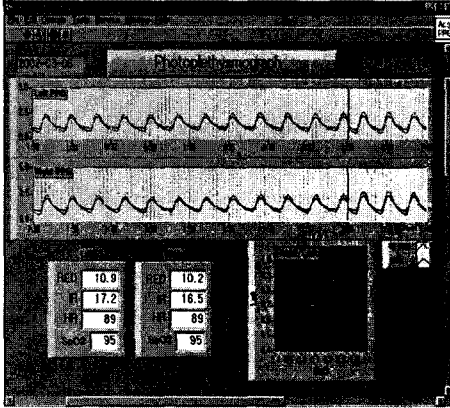


그림 2. 2채널 PPG 저장 프로그램

그림 3은 2채널 PPG 분석 프로그램의 화면이다. 분석 프로그램에서는 양손가락과 양발가락에서 얻어진 신호 파일을 동시에 열어서 분석할 수 있다. 그러므로 왼쪽과 오른쪽 손가락 및 발가락의 혈류량, 양 손가락에 대한 발가락의 혈류량 비교도 가능하다.

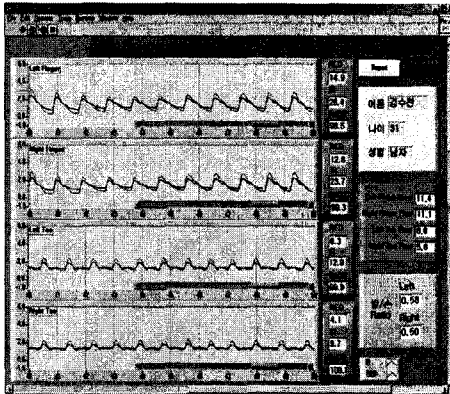


그림 3. 2채널 PPG 혈류량 분석 프로그램

측정된 4개의 혈류(왼 손가락, 오른 손가락, 왼 발가락, 오른 발가락)는 각각 피검자의 기본적인 혈류량 차이를 제거하기 위해 발가락 혈류량/손가락 혈류량의 비율로 계산된다. 손가락과 발가락의 혈류량이 같으면 1의 값을 가지며, 손가락보다 발가락의 혈류량이 크면 1보다 큰 값을 갖게 된다.

3. 실험방법

당뇨병으로 진단받은 환자 54명(나이 57.2 ± 10.6 세)에 대해 서 누운 자세에서 오른쪽 상지와 하지에서 신경전도검사를 한 후에 PPG 혈류량 측정기를 이용하여 양손과 양발에서 각각 1분 30초 동안의 PPG 신호를 측정하였다.

대조군은 당뇨병이 없고 상지와 하지에 특별한 혈관 질환이 없는 42명(나이 39.9 ± 14.7 세)의 정상인을 대상으로 하였다. 하지의 비골, 경골 운동신경과 비복 감각신경의 이상 유무에 따라, 하지 신경에 이상이 없는 경우는 당뇨병성 족부 실험군(diabetic leg), 하지 신경에 이상이 있는 경우는 당뇨병성 신경병증 족부 실험군(diabetic leg neuropathy), 그리고 정상인은 정상 대조군(normal control)으로 구분하였다. 정상인 대조군의 평균 나이는 40 ± 15 세(42명), 당뇨병성 족부 실험군은 58 ± 11 세(29명), 당뇨병성 신경병증 족부 실험군은 56 ± 10 세(22명)이었다. 심한 부종으로 인해 다리의 혈관이 폐색된 환자 1명과 양발, 오른쪽 발의 혈관 폐색이 있는 환자 2명은 신경전도검사 데이터 분석에서 제외하였다. 그 외 51명의 신경전도검사를 실시한 당뇨병 환자들은 감각이상, 저릿저릿한 감각, 냉감 등을 호소하였으나 혈관 폐색은 없었다.

신경전도검사는 약 30분 정도의 시간이 소요되었고, 이를 끝낸 후에 PPG 혈류량을 측정하였다. 그림 4와 같이 정상인도 누운 자세에서 1분 30초 동안의 PPG 혈류량을 측정하였다. PPG 센서는 그림 4와 같이 클립형태의 PPG 센서를 손가락과 발가락에 끼워서 사용하였다. PPG 센서는 클립안쪽의 접촉부분에 쿠션이 있어서 측정부위에 밀착하도록 되어있어 빛이 들어가지 않도록 되어있다.

통계처리는 SPSS 8.0 for Windows (SPSS Inc.)를 이용하여 Mann-Whitney U 검정 (independent samples t test)을 하였다[3].



그림 4. 2채널 PPG 혈류량 측정기를 이용하여 발가락 혈류량을 측정하는 사진

4. 결 과

그림 5는 신경전도검사서 다발신경병증(poly-neuropathy)과 중증신경병증(severe neuropathy)의 진단을 받은 당뇨병환자의 PPG 혈류량 그래프이다. 이 환자는 하지의 비골, 비복

과 경골신경에 이상이 있었다. 손가락에서보다 발가락의 PPG 혈류량 그래프의 진폭이 더 컸고, 발/손 PPG 혈류량 비에서도 정상인의 평균값보다는 2배 이상 컸다.

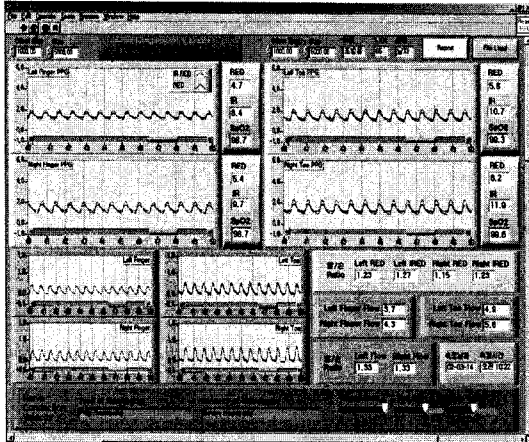


그림 5. 당뇨병성 신경병증 환자의 손가락과 발가락 혈류 파형

정상인의 경우 왼쪽과 오른쪽의 발/손 PPG 혈류량 비는 각각 0.46 ± 0.20 , 0.41 ± 0.18 이었다. 표 1에서와 같이 당뇨병성 족부 실험군의 좌우측 PPG 혈류량 비는 각각 0.40 ± 0.28 , 0.62 ± 0.69 , 당뇨병성 신경병증 족부 실험군은 각각 1.23 ± 1.49 , 0.83 ± 0.45 이었다. 좌측과 우측 PPG 혈류량 비 모두에서 정상 대조군과 당뇨병성 족부 실험군 사이에 유의한 차이가 없었으나 정상 대조군과 당뇨병성 신경병증 족부 실험군, 당뇨병성 족부 실험군과 당뇨병성 신경병증 족부 실험군 사이에는 유의한 차이가 있었다. 즉, 신경병증이 있는 실험군이 신경병증이 없는 군보다 PPG 혈류량비가 더 높았다. 또한 PPG 혈류량 비를 이용한 혈류량 측정에서 하지에 신경병증이 있는 경우에 그렇지 않은 경우보다 좌우측 모두에서 혈류량비가 유의하게 증가한다는 것을 확인 할 수 있었다.

표 1. 정상 대조군, 당뇨병성 족부 실험군, 당뇨병성 신경병증 족부 실험군에서의 손가락과 발가락 PPG 비 (평균±표준편차)

평균±표준편차	Left Ratio	Right Ratio
정상 대조군 (n=42)	0.46 ± 0.20	0.41 ± 0.18
당뇨병성 족부 실험군 I(n=29)	0.40 ± 0.28	0.62 ± 0.69
당뇨병성 신경병증 족부 실험군 (n=22)	1.23 ± 1.49	0.83 ± 0.45

5. 고찰 및 결론

본 연구에서는 PPG 센서를 이용하여 손가락 발가락에 대

한 발가락의 혈류량 비를 측정된 새로운 방법을 사용하여 정상인과 당뇨병 환자에서 혈류량 비를 측정된 결과, 신경병증이 있는 환자의 혈류량비가 당뇨병증이 없는 환자와 정상인의 혈류량비보다 높게 측정되었으며, 신경병증이 있는 그룹과 없는 그룹간의 유의한 차이가 있는 것을 알 수 있었다.

신경전도검사는 신경에 직접적으로 최대 100 mA의 전기적인 자극을 가하므로 피검자가 놀라거나 고통을 호소하는 경우가 많이 있다. 또한 전체 검사에 소요되는 시간도 보통 20~30분의 시간이 소요되며 1회 검사비도 결코 적은 비용이 아니다. PPG 센서를 이용하여 손가락과 발가락의 혈류량을 측정해서 그 비를 이용하여 허혈성 및 신경병성 족부를 검사하는 방법을 사용하면 빛을 이용하기 때문에 비관혈적(noninvasive)이어서 피검자에게 전혀 고통이 없을 뿐만 아니라 검사시간이 5분 정도 밖에 소요되지 않기 때문에 피검자에게 고통을 주지 않고 빠른 시간에 검사가 가능하다. 감각이상 등의 증상이 있으나 신경전도검사서 정상으로 판명되는 환자가 상당수 있는데, 적은 비용과 빠르게 검사할 수 있는 PPG 혈류량 측정으로 미리 사전검사를 하고 이상이 있는 경우에만 신경전도검사를 실시한다면 비용절감 및 시간절약을 할 수 있어 더 많은 환자가 정확한 검사를 받을 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한 혈관폐색과 신경병증은 어느 정도 진행된 후에 발견되는 경우가 많은데, 주기적인 PPG 혈류량 검사를 통해 혈관폐색과 신경병증 유발이 되는 시기를 조기에 발견할 수 있어서 당뇨병으로 인한 혈관폐색과 신경병증을 예방할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것이다.

본 연구는 2004년 산업자원부 산업기술개발사업으로 수행되었음.(과제번호:10017058).

참고 문헌

- [1] 대한당뇨병학회, 제2판 당뇨병학, 고려출판, pp475-569, 1998
- [2] 조용욱, 당뇨병성 족부병변의 병인과 진단, 제13차 대한당뇨병학회 춘계학술대회, 제24권, 부록2호 : 연수강좌, pp.S-55-S-64, 2000
- [3] 안재익, 유근영, 이종환, 의학 보건통계분석, 서울: SPSS 아카데미, 1999
- [4] Midttun M, Blood flow rate in arteriovenous anastomoses: from the candle to the grave, Clinical Physiology, 20, 5, pp.360-365, 2000