

# PPG 2차 미분을 이용한 정상인과 당뇨병 환자의 말초혈관 탄성도 비교

## Comparison of peripheral vascular compliance between normal and diabetic group using second derivative of photoplethysmogram

김성우\*, 이주형\*, 강은석\*\*, 김수찬\*\*\*, 김덕원\*\*\*\*

Sung-Woo Kim, Ju-Hyung Lee, Eun-Seok Kang, Soo-Chan Kim, Deok-Won Kim

**Abstract** - Recently, the prevalence rate of diabetes in Korea has been increasing rapidly due to high growth of economy and changes in dietary lifestyle. Vascular complication is one of diabetic complications which have frequently occurred by obesity, hyperglycemia and impaired glucose metabolism. Photoplethysmogram(PPG) measured from finger and toe is very useful for evaluation of vascular aging and sclerosis level since the PPG signal represents characteristics of peripheral vascular. Several researchers have reported that second derivative of the finger PPG waveform was useful to evaluate vascular compliance and developed various analysis methods for vascular compliance. However, peripheral vascular compliance study for diabetic patient was never evaluated by using second derivative of PPG. Therefore, we aimed to objectively compare and to assess normal and diabetic group vascular compliance using the second derivative of PPG waveform in this study. The evaluated factors of second derivative of PPG are 'a', 'b', 'c', 'd', 'e' and b/a represents vascular compliance. Study found out that when vascular compliance is decreased, b/a is increased, the absolute value of b/a is decreased. The average vascular compliance of 50 diabetic patients with neuropathy is statistically lower than the normal group(p<0.05). We suggest an objective evaluation of peripheral vascular compliance for diabetic patients and prevention of vascular complication.

**Key Words** : vascular compliance, vascular complication of diabetes mellitus, second derivative of photoplethysmogram

### 1. 서 론

현재 우리나라 당뇨병의 유병률은 경제가 급격히 발전하고 식생활이 서구화됨에 따라 빠른 속도로 증가하고 있다. 당뇨병의 유병기간이 길수록 각종 합병증이 발생하여 더욱 심각한 증상을 나타내는데 그 중 비만 및 고혈당, 당대사장애로 인한 당뇨병성 혈관합병증과 말초 혈관 경화증이 많이 발병하고 있는 실정이다[1].

광혈류 측정법(Photo-plethysmography: PPG)은 비관혈적인 방법으로서, 적외선이나 적색 광을 이용하여 손가락 및 발가락의 말초혈관에서 일어나는 혈류량 변화를 간접적으로 측정할 수 있다. 측정된 PPG는 동맥의 맥동성분, 혈류 변화 등 말초혈관의 특성을 나타내기 때문에 혈관의 노화나 동맥경화 정도를 판단하는데 매우 유용하다[2].

PPG 신호의 2차 미분은 혈관의 탄성도에 대한 객관적인 평가를 위한 분석 방법으로 많은 연구가 이루어져 왔으며 관련된 다양한 분석 방법들이 개발되고 있다[3-7]. 그러나 아직 국내에서는 PPG 신호의 2차 미분 방법을 이용한 당뇨병 환자의 말초혈관 탄성도 연구가 전무하다.

따라서 본 연구에서는 광혈류량 측정법으로 손가락 및 발가락에서 얻어진 맥파 파형의 2차 미분분석을 통해 정상인 50명과 신촌 세브란스병원 당뇨병센터로부터 당뇨병으로 확진된 50명의 말초혈관 탄성도를 비교하고 객관적으로 평가하고자 하였다.

### 2. 실험 방법 및 말초혈관 혈류량 측정

광혈류량 측정기(Photoplethysmogram meter)로 측정되는 혈류량은 체온, 운동 여부, 실내 온도 등의 영향을 받을 수 있기 때문에 절대적인 혈류량의 측정이 쉽지 않으므로 말초혈관의 상대적인 혈류량을 측정하게 된다.

본 실험을 위해 4 채널 광혈류량 측정기를 개발하여 신경병증 당뇨병 환자의 말초혈관 혈류량 변화를 측정하였다.

피검자는 신촌 세브란스병원 당뇨병센터에서 당뇨병으로 확진된 신경병증 당뇨병환자 50 명과 정상인 50 명으로 당뇨병환자의 평균 연령은 65.1 ± 8.9세, 정상인의 평균 연령은 54.3 ± 10.2세 이다. 연령에 따라 혈관의 노화 및 혈관의 탄성도가 달라지기 때문에 정상인 집단과 당뇨병환자 집단의 연령대를 맞추어 실험하였으며 피검자들의 사전 동의를 얻어 신촌 세브란스병원 당뇨병센터에서 실험을 실시하였다.

측정 시 실내 온도의 영향을 고려하여 평균 실내온도를 유지하였고, 피검자는 측정 전 편안하게 누운 자세에서 5분 동안 안정을 취한 후, 개발된 4채널 광혈류량 측정기로 한 피검자 마다 손가락 한 쌍과 발가락 한 쌍씩 동시에 측정하였다.

#### 저자 소개

- \* 김성우 : 연세대학교 대학원 생체공학협동과정
- \* 이주형 : 연세대학교 대학원 생체공학협동과정
- \*\* 강은석 : 연세대학교 의과대학 내과학교실 조교수
- \*\*\* 김수찬 : 한경대학교 생물정보통신전문대학원 조교수
- \*\*\*\*김덕원 : 연세대학교 의과대학 의학공학교실 교수

측정에 사용된 센서 프로우브는 산소포화도 측정용 센서와 호환되는 Pulse Oximetry 프로우브(DS-100A, Nellcor, USA)이며, 센서의 적색광과 적외선광의 파장은 각각 660nm과 940nm이다. 각 손가락 한 쌍의 말초혈관 혈류 변화는 적외선광에 의한 측정 결과를 이용하였으며 데이터 수집장치(DAQ CARD-6062E, National Instrument, USA)를 통해 아날로그 신호를 12bit 디지털 데이터로 변환 후 PC(SV20, Samsung Electronics, Korea)에 저장하였다. 이 저장된 데이터는 LabVIEW 6.1 (National Instrument, USA) 프로그램을 이용하여 분석되었으며 매 측정 시 환경 변화 및 피검자간의 오차를 줄이기 위해 손가락 한 쌍과 발가락 한 쌍을 동시에 측정하여 그 결과를 분석하였다.

### 3. 당뇨병 환자 손가락의 PPG 2차 미분 분석

데이터는 한 피검자의 손가락 한 쌍 마다 30초 동안 저장되었고, 저장된 데이터에서 안정된 10초 구간을 선택하여 안정된 구간의 PPG 파형을 분석하였다. PPG 파형의 각 맥박 주기에서 혈류의 최대값과 최소값 차이는 혈류량 변화이며, 그림 1에 PPG 파형의 혈류량 변화를 나타내었다. 그림 2는 측정된 손가락 혈류량 변화의 분석 화면이다.

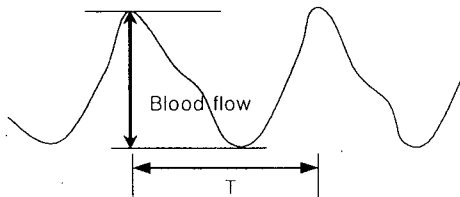


그림 1. PPG에서의 혈류량

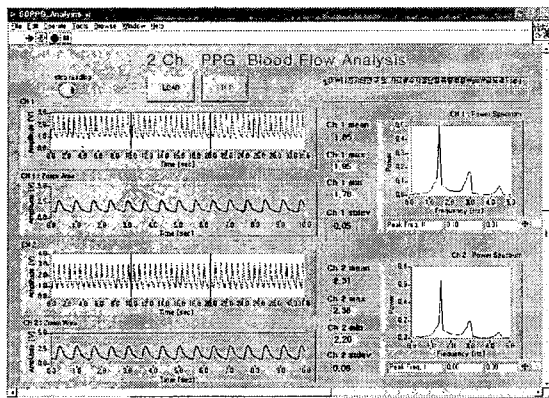


그림 2. 손가락의 혈류량 측정 및 분석

얻어진 데이터의 PPG 2차 미분 분석은 선택된 10초 구간으로 선택된 혈류 파형을 2차 미분하여 계산되었고, 그림 3과 같이 2차 미분한 파형에서 각 변곡점인 피크값(a, b, c, d, e)을 찾아 그 값을 배열로 산출하였다.

본 연구에서 분석한 5개의 피크값은 PPG 2차 미분을 이용하여 혈관의 노화나 탄성도를 분석한 다른 연구들[2-7]에서는 손가락에서 측정된 PPG 2차 미분 파형의 피크값을 그림 4와 같이 정의하고 있다[3].

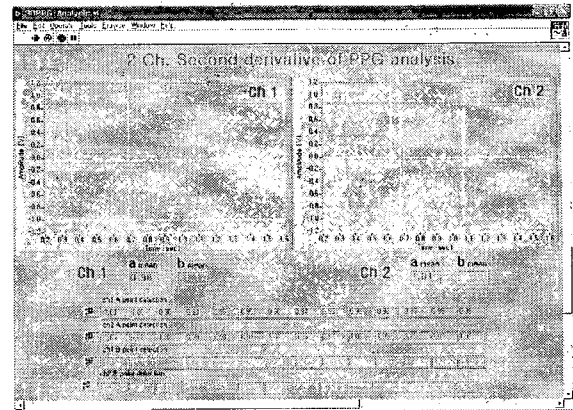


그림 3. 손가락의 PPG 2차 미분 분석

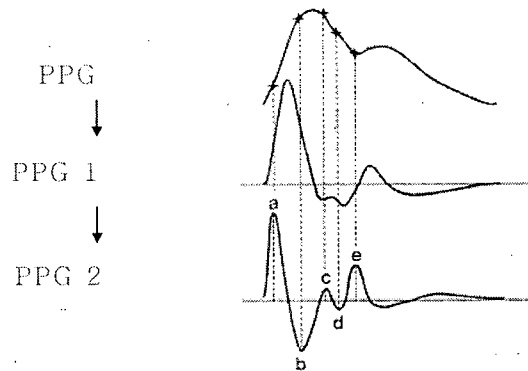


그림 4. PPG 원 신호와 1차 및 2차 미분

- ① a wave : initial positive wave
- ② b wave : early negative wave
- ③ c wave : re-upsloning wave
- ④ d wave : re-downsloning wave
- ⑤ e wave : diastolic positive wave

a, b wave는 좌심실의 심박출에 의해 나타나는 PPG 원 신호의 첫 번째 맥동성분인 초기 수축기와 관련이 깊다. a wave는 upsloping wave, b는 downsloping wave 로서 PPG 원 신호에서 첫째 변곡점 까지 급격히 올라가는 초기 수축기의 가속도 성분을 나타내고, c, d, e 는 초기 수축기 이후의 가속도 성분이다. a는 양(+)의 값, b는 음(-)의 값으로 나타내고, 이에 따라 b/a는 음(-)의 값으로 나타난다.

PPG 원 신호의 초기수축기에서는 혈관벽의 탄력 변화가 크게 나타나고 초기수축기 이후보다 말초혈관의 reflex wave의 영향이 매우 작게 나타난다. a wave와 b wave의 비율, b/a 값은 손가락 말초혈관의 탄성도 변화를 반영하며 말초혈관의 경화가 심해질수록 reflex wave가 크게 나타나 얻어진 초기 수축기 맥동 성분에 영향을 많이 주어 b/a의 절대값은 감소하게 된다[2-7].

각각의 피크 값으로 계산되는 비율로부터 아래와 같이 혈관의 탄성도나 노화 정도를 나타내었다.

- ① b/a : 혈관벽의 탄성도(compliance), 팽창성(distensibility).
- ② (b-c-d-e)/a : Aging Index, 혈관 노화나 동맥경화 등의 평가 인자로 사용.

#### 4. PPG 2차 미분 분석 결과

표 1은 신경병증 당뇨병 환자 50명의 손가락쌍(N=50)과 정상인 50명의 손가락쌍(N=50)의 PPG 2차 미분 분석 결과표이다. PPG 2차 미분 파형의 피크값으로 계산된 비율을 분석한 결과, 신경병증 당뇨병환자들의 b/a와 (b-c-d-e)/a 두 비율 모두 증가하였고 절대값은 감소하였다. b/a와 (b-c-d-e)/a는 나이가 많아지거나 혈관의 탄성도가 떨어질수록 그 값이 증가하므로 정상인에 비해 신경병증 당뇨병환자 손가락의 혈관 탄성도가 감소하였고 Independent T-Test로 분석한 결과 (SPSS 10, SPSS Inc., USA), 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

표 1. 당뇨병환자와 정상인의 PPG 2차 미분 분석 결과

	b/a	b-c-d-e/a
신경병증 당뇨환자 (N = 50)	-0.81	-0.62
표준 편차	±0.09	±0.07
정상인 (N = 50)	-1.09	-0.87
표준 편차	±0.14	±0.15
p-value	<0.05	<0.05

정상인과 당뇨병 환자의 PPG 2차 미분값 비교

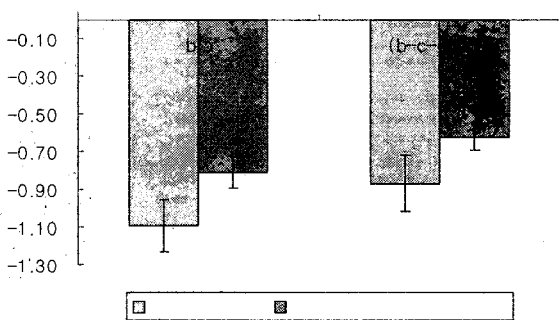


그림 5. 정상인과 당뇨병 환자의 PPG 2차 미분값 비교

#### 5. 고찰 및 결론

본 연구에서는 PPG 파형의 2차 미분 분석을 통하여 정상인과 당뇨병성 혈관합병증 발병율이 높은 당뇨병 환자의 말초혈관 탄성도를 비교하였다. PPG 파형의 2차 미분값 b/a와 (b-c-d-e)/a는 혈관의 탄성도 및 나이의 증가에 따른 혈관의 노화를 의미하고 신경병증 당뇨병환자의 말초혈관 탄성도는 정상인의 말초혈관 탄성도보다 유의하게 감소함을 알 수 있었다. 반면에 c/a, d/a, e/a 값은 정상인과 신경병증 당뇨병환자 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다. PPG 2차 미분 분석

c/a, d/a, e/a 세 개의 파라미터는 b/a와 (b-c-d-e)/a에 비해 그 크기가 너무 작기 때문에 PPG 원 신호로부터 말초혈관의 탄성도를 분석하기 위해서는 b/a와 (b-c-d-e)/a 두 개의 파라미터를 중점적으로 연구하는 것이 보다 효과적이라고 사료된다.

끝으로, 본 연구로부터 비침습적이고 간단한 방법으로 당뇨병 환자의 말초혈관 탄성도와 혈관 경화정도를 객관적으로 평가하고, 진단하여 당뇨병 환자의 심혈관계질환 사전예방과 치료효과 판정에 도움을 줄 것으로 기대한다.

본연구는보건복지부지정휴대형진단치료기기개발  
센터사업으로수행되었음(과제번호:A040032).

#### 참 고 문 헌

- [1] 대한당뇨병학회, "제 2 판 당뇨병학", 고려출판, pp. 1-569, 1998.
- [2] K. Takazawa, N. Tanaka, M. Fujita, O. Matsuoka, T. Saiki, M. Aikawa, S. Tamura, C. Ibukiyama, "Assessment of Vasoactive Agents and Vascular Aging by the Second Derivative of Photoplethysmogram Waveform", Hypertension. vol. 32, pp. 365-370, 1998.
- [3] Y. Iketani, T. Iketane, K. Tanakawa, M. Murata, "Second Derivate of Photoplethysmogram in Children and Young People", Jpn Circ J, vol. 64, pp. 110-116, 2000.
- [4] L.A. Bortolotto, J. Blacher, T. Kondo, K. Takazawa, M.E. Safar, "Assessment of Vascular Aging and Atherosclerosis in Hypertensive Subjects: Second Derivative of Photoplethysmogram Versus Pulse Wave Velocity". Am J Hypertension, vol. 13, pp. 165-171, 2000.
- [5] J. Hashimoto, K. Chonan, Y. Aoki, T. Nishimura, T. Ohkubo, A. Hozawa, M. Suzuki, M. Matsubara, M. Michimata, T. Araki, Y. Imai, "Pulse Wave Velocity and the Second Derivative of the Finger Photoplethysmogram in Treated Hypertensive Patients: Their Relationship and Associating Factors". Journal of Hypertension, vol. 20, no. 12, pp. 2415-2422, 2002.
- [6] J. Hashimoto, D. Watabe, A. Kimura, H. Takahashi, T. Ohkubo, K. Totsune, Y. Imai, "Determinants of the Second Derivative of the Finger Photoplethysmogram and Brachial-Ankle Pulse-Wave Velocity: The Ohasama Study". Am J Hypertension, vol. 18, pp. 477-485, 2005.
- [7] J. Simek, D. Wichterle, V. Melenovsk, J. Malik, S. Svacina, J. Widimsk, "Second Derivative of the Finger Arterial Pressure Waveform: An Insight into Dynamics of the Peripheral Arterial Pressure Pulse". Physiological Research, vol. 54, pp. 505-513, 2005.