

PPG 2차 미분을 이용한 정상과 재접합 손가락의 혈관 탄성도 비교

Comparison of vascular compliance between normal and replanted fingers using second derivative of photoplethysmogram

김성우*, 김진태*, 홍현기*, 김수찬**, 김덕원***

Sung-Woo Kim, Jin-Tae Kim, Hyun-Ki Hong, Soo-Chan Kim, Deok-Won Kim

Abstract - Up to the present, finger replantation patients have complained about various symptoms because of blood circulatory failure. Objective evaluation methods for the level of the blood circulatory failures in fingers were needed other than patient's subjective symptoms and complaints. Photoplethysmogram(PPG) measured from fingers 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, vascular compliance study for finger replantation patient was never evaluated by using second derivative of PPG. Therefore, we aimed to objectively compare and to assess normal and replanted finger 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. For 43 finger replantation patients, the average vascular compliance of replanted finger is lower than the normal finger statistically(p=0.001). we suggested an objective evaluation of finger vascular compliance for finger replantation patients and effect of surgical operation.

Key Words : vascular compliance, finger replantation, second derivative of photoplethysmogram.

1. 서 론

현재까지 손가락 재접합술을 받은 환자들은 혈류 장애로 일어나는 다양한 증상을 호소해왔다. 손가락 재접합 후 손가락의 형태는 유지하고 있더라도 기능이나 혈류 장애에 의한 증상들을 호소하는 경우가 많다[1].

환자들은 주로 냉감, 저림, 통증을 호소하며 손가락 재접합 환자의 혈류 장애 정도 및 장애 등급은 환자의 주관적인 증상 호소에 의존하여 결정되는 예가 많으므로 보다 객관적인 평가가 요구된다.

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

PPG 파형의 2차 미분은 수지의 혈관 탄성도에 대한 객관적인 평가를 위한 분석 방법으로 많은 연구가 이루어져 왔으며 관련된 다양한 분석 방법들이 개발되고 있다[3-7]. 그러나

아직 국내에서는 PPG 파형의 2차 미분 방법을 이용한 수지 접합 환자의 혈관 탄성도 연구가 미미한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 PPG 2차 미분을 이용하여 재접합 수지의 혈관 특성 및 수지 재접합술 이후의 혈류 장애에 대한 객관적인 평가를 하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 손가락 혈류량 측정

손가락의 혈류량은 체온, 운동 여부, 실내 온도 등의 영향을 받을 수 있기 때문에 절대적인 혈류량의 측정이 쉽지 않으므로 PPG로 손가락 말초혈관의 상대적인 혈류량을 측정하게 된다.

본 실험을 위해 2 채널 PPG(photoplethysmography)측정기를 개발하여 재접합 손가락의 혈류량 변화를 측정하였다.

실험에 참여한 피검자는 총 43 명으로 남자 30 명, 여자 13 명 모두 성공적인 손가락 재접합술을 받은 사람들이며, 이들의 평균 연령은 44.0 ± 12.0세 이다. 2004년 4월부터 5월까지 재접합술 전문 병원인 서울 시내 2개 병원을 직접 방문하여 측정하였고, 재접합 환자 43명의 측정일 기준 수술 경과 기간은 평균 11.2 ± 11.3 개월 이었다.

측정 시 실내 온도의 영향을 고려하여 평균 실내온도를 유지하였고, 피검자는 측정 전 편안하게 앉은 자세에서 5분 동안 안정을 취한 후, 한 피검자 마다 양쪽 제 1수지(엄지 손가락)부터 제 5수지(새끼 손가락)까지 같은 손가락 한 쌍씩 모두 5번의 측정을 시행했다.

저자 소개

- * 김성우 : 延世大學 一般大學院 生體工學協同課程
- * 김진태 : 延世大學 一般大學院 生體工學協同課程
- * 홍현기 : 延世大學 一般大學院 生體工學協同課程
- ** 김수찬 : 韓京大學 生物情報通信專門大學院 專任講師
- *** 김덕원 : 延世大學 醫科大學 醫學工學教室 教授

측정에 사용된 센서 프로우브는 산소포화도 측정용 센서와 호환되는 Pulse Oximetry 프로우브(DS-100A, Nellcor, USA)이며, 센서의 적색광과 적외선광의 파장은 각각 660nm과 940nm이다. 혈류 변화의 측정은 적외선광에 의한 측정 결과를 이용하였으며 데이터 수집보드(DAQ-board ; PCI-6020E, National Instrument, USA)를 통해 아날로그 신호를 12bit 디지털 데이터로 변환한 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 양쪽 손가락을 동시에 측정하여 그 결과를 분석하였다.

3. 제점합 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.

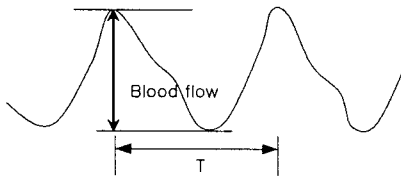


그림 1. PPG에서의 혈류량

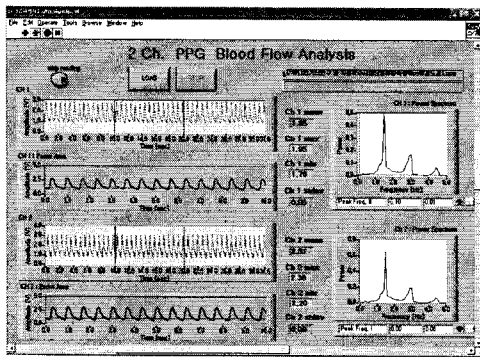


그림 2. 손가락의 혈류량 측정 및 분석

얻어진 데이터의 PPG 2차 미분 분석은 선택된 10초 구간으로 선택된 혈류 파형을 이차 미분하여 계산되었고, 그림 3과 같이 이차 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].

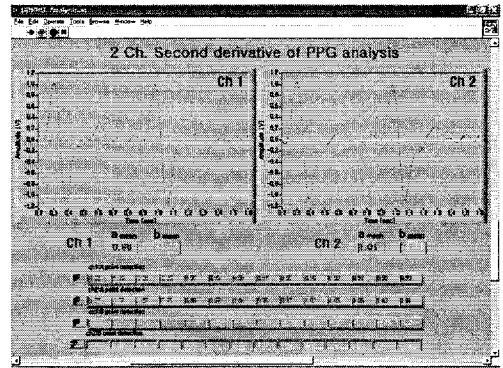


그림 3. 손가락의 PPG 2차 미분 분석

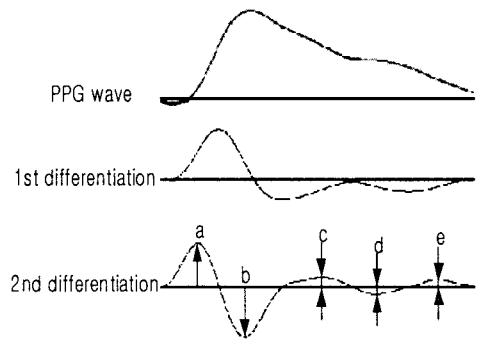


그림 4. PPG 원 파형과 1차 및 2차 미분 파형

- ① a wave : initial positive wave
- ② b wave : early negative wave
- ③ c wave : re-up sloping wave
- ④ d wave : re-down sloping wave
- ⑤ e wave : diastolic positive wave

a, b wave는 좌심실의 심박출에 의해 나타나는 PPG 원 파형의 첫 번째 맥동성분인 초기 수축기와 관련이 깊다. a wave는 upsloping wave, b는 downsloping wave 로서 PPG 원 파형에서 첫 번째 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 나타나고, 이에 따라 b/a는 음(-)의 값으로 나타난다.

PPG 원 파형의 초기수축기에서는 혈관벽의 탄력 변화가 크게 나타나고 초기수축기 이후보다 말초혈관의 reflex wave의 영향이 매우 작게 나타나므로 a wave와 b wave의 비율, b/a 값은 손가락 말초혈관의 탄성도 변화를 반영한다[2-7].

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

- ① b/a : 혈관벽의 탄성도(compliance), 팽창성(distensibility).
- ② d/a : 혈관벽 장력이나 경화도.
- ③ c/a : d wave 영향을 많이 받음.
- ④ e/a : 좌심실 동맥 및 말초혈관의 이완.
- ⑤ (b-c-d-e)/a : Aging Index, 혈관 노화나 동맥경화 등의 평가 인자로 사용.

4. PPG 2차 미분 분석 결과

표 1은 손가락 재접합술을 받은 43명의 손가락(N=43)에서 절단된 손가락(N=6)을 제외한 정상 손가락(N=345)과 재접합 손가락(N=79)의 PPG 2차 미분 분석 결과표이다. PPG 2차 미분 파형의 피크값으로 계산된 비율을 분석한 결과, 재접합 손가락(N=79)에서 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 정상 손가락에 비해 재접합술을 받은 손가락의 혈관 탄성도가 감소하였고 Independent T-Test 로 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

정상과 재접합 손가락의 PPG 2차 미분값을 비교한 결과를 그림 5와 같이 그래프로 나타내었다.

표 1. 정상과 재접합 손가락의 PPG 2차 미분 분석 결과

	b/a	c/a	d/a	e/a	b-c-d-e/a
정상 손가락 (N = 345)	-0.809	+0.036	-0.200	+0.024	-0.669
Standard Deviation	±0.202	±0.227	±0.108	±0.061	±0.505
재접합 손가락 (N = 79)	-0.698	-0.003	-0.203	+0.026	-0.518
Standard Deviation	±0.273	±0.231	±0.115	±0.066	±0.574
p-value	0.001	0.179	0.816	0.809	0.021

정상과 재접합 손가락의 PPG 2차 미분값 비교

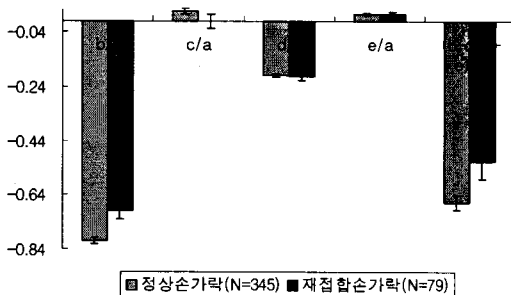


그림 5. 정상과 재접합 손가락의 PPG 2차 미분값 비교

5. 고찰 및 결론

본 연구에서는 재접합술을 받은 43명을 대상으로 PPG 파형의 2차 미분 분석을 이용하여 재접합에 성공한 손가락과 반대측 정상 손가락의 혈관 탄성도를 비교하였다. 그 결과, PPG 파형의 2차 미분값 b/a와 (b-c-d-e)/a는 혈관의 탄성도 및 나이의 증가에 따른 혈관의 노화를 의미하고 재접합 손가락의 말초혈관 탄성도는 정상 손가락의 말초혈관 탄성도보다 유의하게 감소함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 b/a와

(b-c-d-e)/a 두 비율만이 유의한 결과를 보였고 c/a, d/a, e/a 값은 b/a와 (b-c-d-e)/a에 비해 그 크기가 너무 작기 때문에 이들이 혈관 특성에 어떤 영향을 미치는가에 대해서는 앞으로 더 많은 연구가 필요하다.

본 연구를 바탕으로 손가락 재접합 환자의 말초혈관 특성과 혈류 장애 정도를 객관적으로 평가하고, 앞으로 산업재해 및 관련 장애가 증가함에 따라 발생하는 많은 재접합 환자의 재접합술 효과 판정과 예후의 판단에 도움을 줄 것으로 기대한다.

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

참 고 문 헌

- [1] 황종익, 김수신, 백세민, "혈관조형술에 중점을 둔 Buerger's 병의 임상적 고찰", 대한성형외과학회지, 2호, 제14권, pp. 211-218, 1987. 4.
- [2] K. Takazawa, N. Tanaka, M. Fujita, O. Matsuoka, T. Saiki, M. Aikawa, S. Tamura, C. Ibukiya, "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.