

운동부하를 통한 PPG와 HRV 상관성 평가에 관한 연구

이충근¹, 민세동¹, 신항식¹, 윤용현¹, 이명호¹
연세대학교 전기전자공학과¹

A Study on Correlation of Photoplethysmogram Variability and Heart Rate Variability using Exercise Test

Chung-keun Lee*, Se-Dong Min*, Hang-Sik Shin*, Yong-Hyun Yun*, Myoung-Ho Lee*
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University¹

Abstract - 심박변이도는 자율신경계의 균형 상태를 나타내는 중요한 지표이다. 동적인 환경내에서 항상성을 유지하려는 인체가 각 신경계를 조율하는 수치로 심박의 변화를 시간영역과 주파수영역으로 나누어 그 값을 측정하여 분석하였다. 그 중 심전도의 측정방식에서 간략히 하고자 광학적 방법으로 심장의 박동을 측정하는 PPG 변화량이 심박변이도와 유사하다는 연구가 진행되어 왔다. 하지만, 심전도와 PPG는 혈압의 영향을 받는다. 본 연구에서 운동부하 실험을 주어 혈압을 상승 시킨 뒤, 심전도를 통해 산출한 심박변이도와 PPG를 통해 산출한 맥박변이도를 비교하여 두 상관성에 대하여 연구하였다.

1. 서 론

심박변이도는 자율신경계의 분석, 급성 심근경색의 예후판정이나 심장 급사 예견, 감정 및 스트레스 평가 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 부정맥의 진단이 아닌 단순한 심박의 변이도 측정을 함에 있어서 심전도를 측정하는 3전극을 부착하는 기존의 시스템을 활용하고 있어 측정에 대한 접근성을 제한하고 있다. 이를 개선하고자 하여 PPG를 이용하여 그 맥박의 변이도(photoplethysmogram variability, 이하 PV)를 구하여 이 분석법이 기존의 심박 변이도 분석 방법과 상관성이 있다는 연구가 보고되어 지고 있다. 이는 PPG가 손가락 끝에서 측정이 가능하고 하나의 모듈에서 신호가 획득되어지기 때문에, 사용성이나 편의성 측면에서 기존의 ECG 방식에서 유도되는 방식보다 우수하기 때문이다 [1].

그러나, PPG에서 측정되어지는 맥박은 혈관의 유순도에 비례하며 혈관의 길이, 단면적, 혈관벽의 특성에 영향을 받는다. 또한 나이, 당뇨병, 수면, 심혈관계 질환, 호흡, 혈압 등에 의해서도 영향을 받기 때문에, 경향성은 유출할 수 있으나, 정확한 측정에는 다소 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 운동부하를 통해 혈압의 변화를 주어서 혈압의 변화가 심박변이도와 맥박변이도 사이의 상관성에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

2. 본 론

2.1 혈압의 기전

혈압은 심박출량에 따른 순환계의 말초 저항에 의해 생겨난다. 혈압의 조절은 하나의 시스템에서 이루어지는 것이 아닌 독립적인 시스템들이 서로 연계되어 이루어진다. 교감신경과 부교감신경의 길항 작용에 의해 조절되는 압력수용체(baroreflex)가 있으며, 혈액내 염분에 따라 신장에서 분비되는 레닌-안지오텐신(renin-angiotensin) 조절 시스템, 폐의 신경적 활동(neural activity) 및 기계적 활동 등 호흡에 관리되는 시스템이 그 기전이다. 따라서, 자율신경계가 관리하는 체계와 동시에 다른 독립적인 시스템 기전이 관여하기 때문에, 심박출량으로만 측정되는 심전도 RR 간격과 달리 심박출량들의 말초 기관으로의 전달로 측정되어지는 PPG에서의 간격은 차이가 나타나게 된다[2].

2.1.1 심박 및 맥박의 변이와 맥파전달시간의 관계

PPG는 심장의 맥동성 압력파가 대동맥관벽으로부터 말초부위까지 전달되는 양을 나타내는 지표인데, 그 전달과정에서 지연시간을 가지고 있다. 이를 맥파전달 시간(Pulse Transit Time, 이하 PTT)이라고 한다. 그림 1은 심전도와 PPG 간의 관계를 나타낸다. RRI는 심박간의 간격을 나타내며, peak PPI는 PPG의 peak 점간의 간격, onset PPI는 PPG의 활동 지점간의 간격을 나타낸다. PPG의 Onset 지점과 peak 지점간의 시간차의 절반값을 PTT로 나타내며, 이는 Δt 로 나타낸 것이다. 맥파 전달시간과 기존의 연구에서는 혈압과 맥파도달시간(Pulse Transit Time)은 좋은 상관성을 가진 것으로 보고되어 지고 있다[3].

$$RRI_1 = R_2 - R_1 \quad (식 1)$$

$$Peak PPI_1 = Peak PPG_2 - Peak PPG_1 \quad (식 2)$$

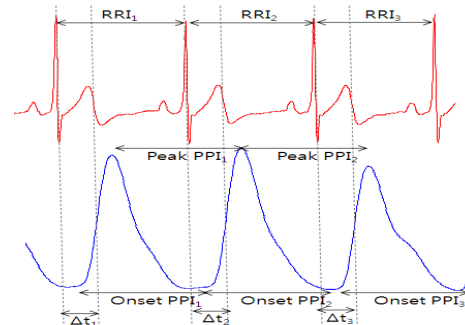
$$Onset PPI_1 = Onset PPG_2 - Onset PPG_1 \quad (식 3)$$

의 관계가 있다. 심전도에서 측정된 심박의 간격은 PPG의 간격에도 반영이 되며, 여기에 PTT가 더해지게 된다. 식 (2)와 (3)에 심박과 PTT를 반영하게 되면 식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$Peak PPI_1 = RRI_1 + \Delta t_2 + c \quad (식 4)$$

$$Onset PPI_1 = RRI_1 + \Delta t_2 + d \quad (식 5)$$

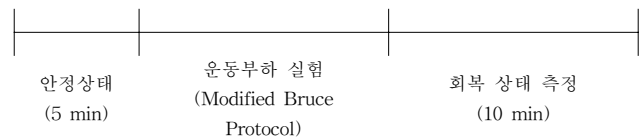
여기서 c와 d는 상수이고, Δt_2 는 혈압에 따라 달라지는 전달 시간이다. 즉 심전도에서 측정되는 간격시간 외에 추가적인 전달 시간이 더해지는 것이고 이 전달시간이 혈압에 영향을 받아 가변적으로 변하기 때문에 심전도에서 추출한 신호와 PPG에서 추출한 박동 시간차는 서로 오차가 있는 신호를 나타내게 된다.



<그림 1> 제목을 적어주세요

2.3 실험

실험은 다음과 같이 진행되었다.



<그림 2> 실험 과정 프로토콜

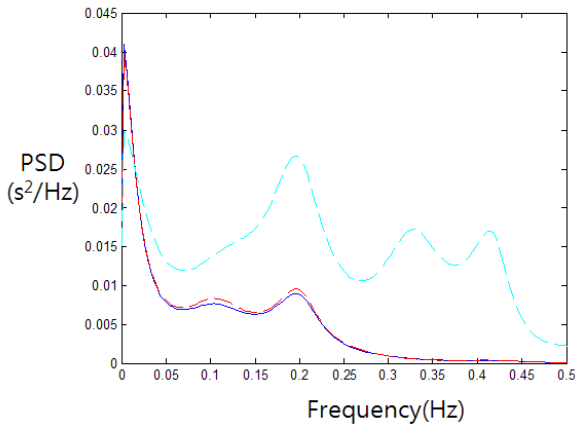
실험대상은 본 실험의 취지에 동의한 건강한 20~30대 남성 5명이 참여하였다. 초기에 5분간 안정 상태에서 ECG, PPG를 측정하였다. 안정 상태에서 측정이 완료된 뒤, AHA 운동부하 실험 권고안에 따라, 수정된 bruce protocol 운동 부하 실험을 수행하였다[4]. 운동 부하 실험이 완료된 뒤에 10분 회복기 동안 다시 ECG, PPG를 측정하였다. 실험 중 호흡으로 인한 HF 성분의 변화를 최소화 시키기 위하여 호흡은 0.16 Hz로 제어하였다.

각각 실험장비는 Biopac MP150 ECG100C, PPG100C 모듈을 사용하여

1 ksps(sampling per second)의 해상도로 측정을 하였다. 신호처리에는 Matlab2008b를 사용하여 수행하였다. ECG의 경우, 필터로 인한 시간 지연효과를 최소화 하기 위해 영위상(zero-phase) 대역통과 필터를 설계 하였으며, Pan-Tompkins 알고리즘을 이용하여 R 파를 검출하였다[5]. PPG는 전후값 평균 필터(moving average filter)를 영위상 대역통과 필터로 전처리를 하였으며, 지역 최저값(local minima), 지역 최고값(local maxima)을 통해 PPG의 onset 지점과 peak 지점을 추출하여 ECG의 R 파와의 시간차를 구함으로써 PTT를 구하였다.

2.4 결과

결과적으로 모든 실험 결과 모두 안정상태에서는 PV와 HRV 모두 유사한 데이터 값을 나타내었다. 상관계수도 1이 나왔으며, 다만 PV를 PPG의 Onset 지점에서 추출한 경우에는 값의 차이가 나타났는데, 이는 지역 최저값 알고리즘의 경우, 파형의 최저값이 나온다 하여 그 지점이 꼭 Onset 지점이 되는 것은 아닌 것으로 보인다. 따라서, 이후 연구 결과에서는 Onset으로 유도된 PV 값은 제외시켰다.



〈그림 3〉 Sub2의 시간 및 주파수 영역 분석값들의 변화 (실선 : HRV, 점선 : Peak PV, Onset PV(아래순서대로))

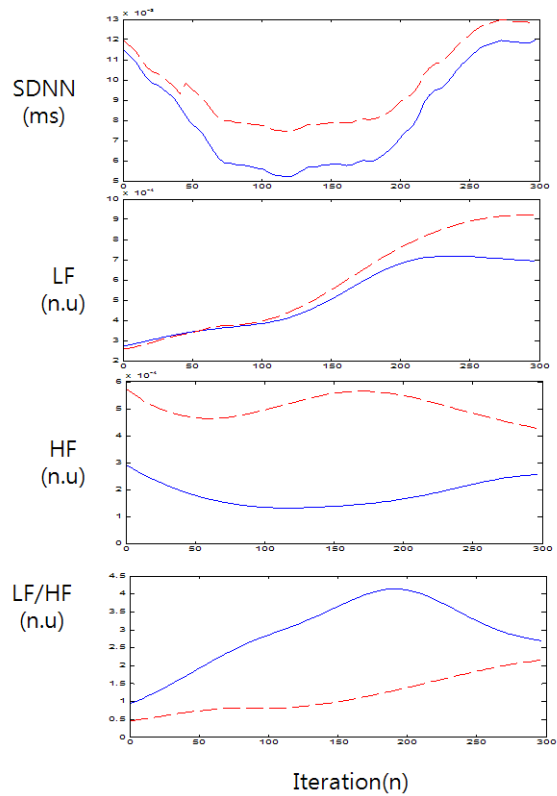
그림 4는 sub 2의 운동부하 후의 HRV의 시간영역 분석지표인 SDNN과 주파수 영역 분석 지표인 LF, HF, LF/HF를 나타낸 것이다. 1초 간격으로 5분간의 HRV와 PV를 산출하여 약 300개의 데이터값을 획득하였다. 직선(solid line)으로 표시된 것이 HRV를 나타내며, 점선(dot line)으로 표현된 것은 PV의 파형을 나타낸다. SDNN은 값의 차이는 있으나 상관성이 0.99로 경향성은 일치하는 것으로 보여진다. 교감 신경계에 관여하며 혈관의 압력수용체(baroreceptor)를 반사하는 것으로 알려진 LF 성분은 0.98로 혈압의 관여성은 PV는 HRV와 유사하게 나타났다. 이외에 호흡성분을 제어하는 HF 성분은 상관성이 -0.38로 나타났으며, 그 실험의 호흡 제어 프로토콜에도 불구하고 가장 상관성이 낮은 값을 나타내었다. 그에 따라 LF/HF 비는 자연스럽게 상관 계수가 0.48 낮은 값을 나타내었다.

이에 따라서 각 실험대상자들간의 상관성의 평균값을 다음 표 1에 나타내었다. 또한 표 1에 PTT 시간 변화값을 같이 나타내었다.

〈표 1〉 HRV와 PV와의 평균 상관계수 및 안정상태 및 부하상태 PTT

	SDNN	LF	HF	LF/HF
HRV-PV	0.995	0.979	0.039	0.647
상관계수	±0.06	±0.012	±0.618	±0.204
	안정 상태		운동 부하 상태	
평균 PTT	448±14(ms)		425±97(ms)	

표를 비교해 보면 운동부하 후에는 PTT 시간이 단축되고 편차가 안정 상태보다 크기 때문에 그 정확성을 제한한다는 것을 따라서, PV와 HRV는 운동부하 등과 같은 호흡과 혈압에 영향을 미치지 않는 범주에서 그 경향성과 정확성이 유지된다고 판단할 수 있다.



〈그림 4〉 Sub2의 시간 및 주파수 영역 분석값들의 변화

3. 결 론

본 연구에서는 HRV와 PV의 상관성에 관한 연구로 그 상관성에 영향을 미치는 요소로 혈압의 증가로 인한 PTT와 혈압을 상정하였다. 운동부하 실험을 통해서 그 요소에서 변화가 있을시에 상관성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 혈압과 호흡이라는 두가지 요소를 연속적으로 측정하지 않았고 실험 개체수가 미진하였기 때문에 이 결과값에 대한 신뢰성을 보여주진 못하였다. 따라서, 추후 연구에서는 연속혈압과 호흡에 대한 부분을 고려하여 보다 정확성이 있는 결과를 도출할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2005-S-093-03, 생체신호처리기반의 Implantable System 개발]

[참 고 문 헌]

- [1] Nicholas D. Giardino, "Comparison of finger plethysmograph to ECG in the measurement of heart rate variability", Psychophysiology, 39, 246-253, 2002
- [2] 이종은, "혈압의 조절", 보건연구정보센터, 2002
- [3] W. Chen, et al, "Continuous estimation of systolic blood pressure using the pulse arrival time and intermittent calibration", Med. Biol. Eng. Comput., Vol. 38, pp. 569-574, 2000
- [4] Gerald F. Fletcher, et al, "Exercise Standards for Testing and Training: A Statement for Healthcare", Circulation American Heart Association, vol.104, pp.1694-1740, 2001
- [5] J. Pan and W.J. Tompkins, "A Real-time QRS Detection Algorithm", IEEE Trans.Biomed.Eng., Vol.3, pp.230-236, 1985