

초소형 라플라시안 센서를 이용한 심박변이도의 측정에 관한 연구

이충근¹, 박현철¹, 신항식¹, 김홍래², 김용호², 이정환³, 김용준², 이명호¹
 연세대학교 전기전자공학과¹, 연세대학교 기계공학과², 건국대학교 의학공학부³

A Study on Measurement Heart Rate Variability using modified Laplacian Electrode

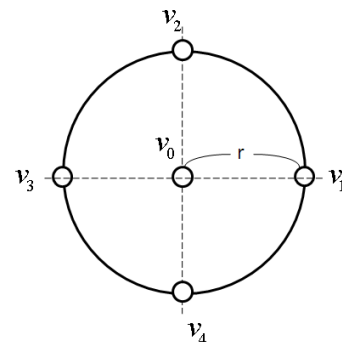
Chung-Keun Lee¹, Hyun-Chul Park¹, Hang-Sik Park¹, Hong-Rae Kim², Yong-Ho Kim², Jeong-Whan Lee³, Yong-Jun Kim², Myoung-Ho Lee¹

Dept. of Electric and Electronic Engineering, Yonsei University¹

Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei University²

School of Biomedical Eng., College of Biomedical and Life Science, Konkuk University³,

Abstract - 심전도는 심장의 전기적인 활동을 나타내는 지표로, 심장 활동 및 자율 신경계를 관찰하기 위해 R 파형의 간격을 측정함으로써 심박변이도를 추출할 수 있다. 심박변이도는 자율신경계의 관찰 이외에도 급성 심근경색의 예후관정이나 심장급사 예견, 당뇨병 관찰, 감성 및 스트레스 평가 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 심전도의 추출해야하는 과정을 거쳐야 하기 때문에, 임상적인 목적이 아닐시에도 3 전극을 몸에 부착하여 측정하는 것은 심박변이도에 대한 접근성을 떨어 뜨리고 있다. 본 연구에서는 심박변이도의 측정을 위하여 수정된 방식의 라플라시안 전극을 설계하고 이를 이용해 심박변이도의 측정 및 분석을 함으로써 접근성 높은 새로운 심박변이도 측정용 전극에 대해 제시하였다.



<그림 1> 라플라시안 전극의 배치

1. 서 론

심전도는 심장의 전기적인 활동을 나타내는 파형으로, 심장의 이상 유무를 판단하는 하나의 지표가 된다. ST segment의 변화나, 리듬의 안정성, 심방의 조기 수축 등은 심전도를 이용한 부정맥 진단의 대표적인 예이다. 심전도는 부정맥의 진단 이외에도 그 심박의 변이도를 분석을 통해 자율신경계의 분석, 급성 심근경색의 예후관정이나 심장급사 예견, 감성 및 스트레스 평가 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 부정맥의 진단이 아닌 단순한 심박의 변이도 측정에도 심전도를 측정하는 3 전극을 부착하는 기존의 시스템을 활용하고 있어 측정에 대한 접근성을 제한하고 있다.

이를 해결하기 위해서 기존의 연구에서는 심장의 벡터를 축소시켜서 측정하는 패치형태의 심전도 측정 장비가 연구 되었고, 또한 전극의 수를 축소하기 위해서 2전극 방식의 심전도 측정 증폭기가 연구되었다 [1-3]. 그러나 패치형태의 심전도 측정의 경우에는 Ag/AgCl의 3 전극 방식을 유지하기 때문에 시스템의 크기가 커질 수 있으며, 2 전극 방식 측정 역시 두 성분의 공통성분을 측정 전극에 피드백 시키는 구조이기에 시스템의 복잡성이 존재한다.

따라서, 본 논문에서는 정확성이 높고 하나의 센서에서 심박변이도를 측정할 수 있는 새로운 전극을 설계하고, 이를 평가하였다. 평가는 표준 측정 방식과 제안된 센서를 활용한 방법을 통해서 그 정확성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 라플라시안 전극 이론

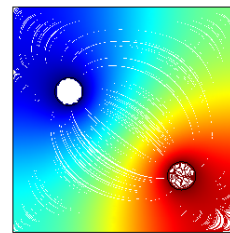
라플라시안 전극을 이용한 심전도의 측정은 bin he et al[4]이 제시하였다. 그 방법적 기저는 라플라시안 변위법에 기초하고 있는데, 라플라시안 변위법은 그림 1과 같은 5 전극을 테일러 시리즈의 확장파 Ames[5] 에 의해 설명되어진 유한차근사법(finite difference approximation)에 의해 설명되어진다.

$$V_s = \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = \frac{1}{r^2} \left(\sum_{i=1}^4 v_i - 4v_0 \right) \quad (1)$$

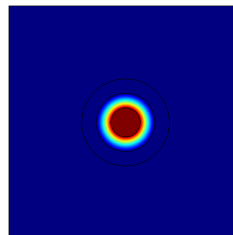
식 (1)에 의하면 두 전극 사이의 거리가 짧을수록 보다 큰 심전도 신호를 측정할 수 있음을 알 수 있다. 또한 거리가 좁아지게 되면 부계환 방식의 오른다리 구동회로를 사용하지 않아도 되기 때문에 회로가 간소화 되는 장점이 있다[6].

2.2 시뮬레이션을 통한 전극의 설계.

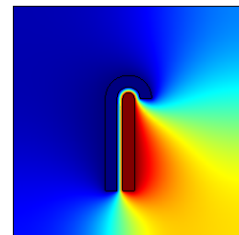
라플라시안 ECG는 주위 원형 전극들의 합의 평균값에서 가운데 전극에서의 전위를 빼주는 값에 의해서 발생한다. ECG는 심장의 전기활동에 대한 벡터적인 신호이기 때문에, 원통형의 전통적인 라플라시안의 전극의 경우, 다른 방향의 벡터값들까지 같이 수렴하기 때문에, 신호성분이 낮아지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서 센서 구조에 따른 전장(Electric field)시뮬레이션을 통해서 최적의 모형을 산출하여 전통적인 라플라시안의 전극을 수정하였다. 시뮬레이션은 Comsol 3.2를 이용하여 수행하였다.



(a) Ag/AgCl



(b) Laplacian



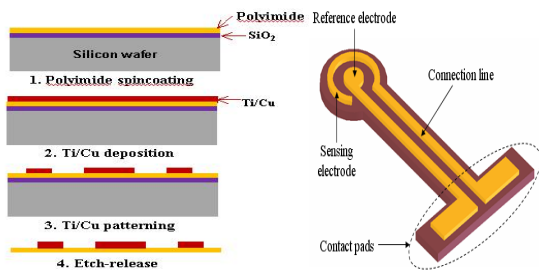
(c) Modified Laplacian

<그림 2> 전극들의 전장(electric field) 시뮬레이션

위의 그림2에서 보듯이 (a)는 lead II 의 전장을 나타낸 것이고, (b) 전통적인 라플라시안 전극의 전장을 나타낸 것이다. (a)에서 보듯이 벡터는 좌하측 으로 벡터가 형성되나, 전통적인 라플라시안의 전극의 경우 모든 벡터를 수렴하는 형성을 띤다. 그림 (c) 수정된 라플라시안 방식으로 반원을 제거한 뒤 선형 전극을 덧붙인 형태로 상단부는 라플라시안 전극에 의해 전장이 수렴되고 하단부는 자연스럽게 전장이 커져 lead II 와 같은 벡터를 형성하는 것을 알 수 있다.

2.3 수정된 라플라시안 전극 공정

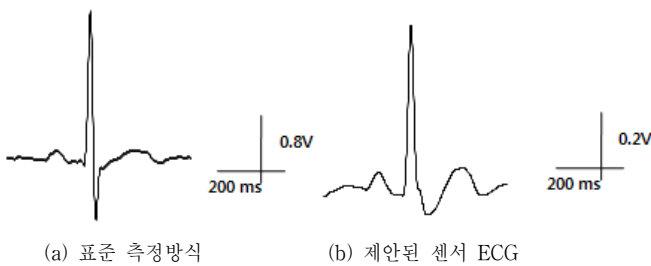
수정된 라플라시안 전극의 공정은 다음과 같다. 실리콘 웨이퍼에 폴리이미드를 스펙코팅을 한 후, 오븐에 넣어 60℃에서 4시간, 250℃에서 3시간에 걸친 경화 작업을 거친다. evaporator를 이용하여 Ti와 Cu를 약 5 μm 증착한다. 노광 후 현상, Ti, Cu 에칭을 통하여 패터닝 과정을 거친다. RIE를 사용하여 심전도 센서의 패턴 부분 이외의 폴리이미드를 에칭하여 센서를 완성한다. 이를 그림 3에서 나타내었다.



〈그림 3〉 수정된 라플라시안 전극의 공정

2.4 실험 및 결과

완성된 전극을 이용하여 심장의 전기적인 신호의 측정을 시도하였다. 5명의 실험에 동의한 건강한 20~30 대의 사람들을 대상으로 하였다. 신호는 Biopac MP150 ECG 100C 모듈을 2개를 사용하여, 표준 전극 부착 방식과 제안된 센서를 이용한 ECG 신호를 1 kHz의 샘플링 주파수 해상도를 통해 계속하였다. 측정된 신호에 대해서 Matlab2008b를 이용하여 신호처리를 수행하였고 양 신호간의 형태분석과 심박변이도를 관찰하였다.



〈그림 4〉 ECG 파형의 비교

위의 그림4 에서 (a)는 표준 방식에서 측정된 ECG 신호 샘플이며, (b)는 제안된 라플라시안 전극을 통해 측정된 ECG 신호 샘플이다. 진폭에 대해서는 표준방식에 비해 제안된 센서 방식은 약 0.25배의 크기를 가졌다. R peak 까지에서는 시간적 특성은 별다른 차이를 보이지 않으나, ST-segment에서 측정된 신호는 표준 방식과 달리 넓게 분포하는 특성을 보이므로, ST-segment를 통한 부정맥 진단에는 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 그 신호간의 상관계수 값은 0.83 이었다.

다음은 측정된 신호를 이용하여 심박변이도를 관찰하였다. 심박변이도는 Pan-Tompkins 알고리즘[7]을 바탕으로 R-peak 검출을 수행하여 관찰하였다. 다음 표-1은 각 파라미터에 대한 통계값을 나타낸다. 5명의 샘플에 대해 SDNN, LF, HF, LF/HF 성분비를 추출하였으며, Student-t test를 통해서 통계처리 하였다. 그 결과 시간영역 분석인 SDNN 에서는 상관계수와 p-value 값들이 주파수 영역 분석법에 비해 다소 값이 떨어지는 경향이 나타났으며, 주파수 영역 분석인 LF, HF, LF/HF 의 값은 두 신호간의 유의성이 높게 나옴을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제안한 전극을 활용한 심박변이도 측정 및 분석에 유효성이 높게 나타난 것을 관찰할 수 있었다.

〈표 1〉 표준 방식의 ECG와 라플라시안의 전극에서 측정된 ECG에서의 HRV 성분 비교

	SDNN		LF		HF		LF/HF	
	STD	LPC	STD	LPC	STD	LPC	STD	LPC
Sub 1	0.03273	0.03274	0.03678	0.03680	0.01399	0.01411	2.62809	2.60735
Sub 2	0.06404	0.06413	0.04367	0.04365	0.01821	0.01866	2.39744	2.33889
Sub 3	0.04632	0.04640	0.01253	0.01252	0.02522	0.02559	0.49672	0.48904
Sub 4	0.04277	0.04284	0.00639	0.00639	0.01124	0.01135	0.56870	0.56295
Sub 5	0.03634	0.02961	0.03849	0.03846	0.01511	0.01510	2.54712	2.54792
t-test	0.877927		0.99942		0.953099		0.979371	
상관 계수	0.978496		0.999999		0.999676		0.999797	

2.5 본 연구의 제한점

본 연구는 제안된 센서에 대한 예비연구적인 차원에서 이루어 졌다. 전극의 임피던스 특성을 고려한 증폭기를 설계를 해야하고, 실험에서 전극을 심장 가까이에 직관적으로 부착하였으므로 전극 위치에 대한 고려가 부족하였다. 또한 실험개체수가 통계적으로 충분하지 못했다는 한계를 지닌다.

3. 결 론

본 연구는 심박변이도 측정을 위한 연구로 초소형 라플라시안 전극을 시뮬레이션을 통해 설계를 하고, 이를 완성하였다. 이 후 심전도 신호와 심박변이도 신호를 표준 방법과 비교하여 그 유효성을 검증하였다. 제안된 라플라시안 전극은 심전도 파형의 경우, ST-segment 부분에 대해 표준 방법과 정성적으로 상이한 결과가 도출됨을 확인하였으며, 심박변이도는 표준 방식과 근사한 값이 나온 것을 확인하여 근사적 방법을 통하여 신호가 측정됨을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

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

[참 고 문 헌]

[1] Kunsoo shin, et al, "WHAM:A novel, wearable heart activity monitor based on Laplacian potential mapping", Proceeding of 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp.7361-7364, 2005
 [2] (주) KT 솔루션사업본부, "홈네트워크용 헬스케어 시스템 개발", 정보통신부 최종 연구결과 보고서, pp.32-44, 2005
 [3] D.Dobrev, "Two-electrode low supply voltage electrocardiogram signal amplifier", Med & Biol. Eng. & Comput., Vol.42, pp.272-276, 1983
 [4] He B, D. Wu, "Laplacian electrocardiography", Crit. Rev. BME, Vol. 27(3-5), pp.285-338, 1999
 [5] Ames, "Numerical Methods for Partial Differential Equations", New York:Barnes & Noble, Inc., pp.15-19, 1969
 [6] A.B. Wilkinson, "E.c.g electrode system using closely spaced electrodes", Med & Biol. Eng. & Comput., Vol.21, pp.647-649, 1983
 [7] J. Pan and W.J. Tompkins, "A Real-time QRS Detection Algorithm", IEEE Trans.Biomed.Eng., Vol.3, pp.230-236, 1985