

패치형 바이폴라 심장활동 모니터링 시스템을 이용한 스트레스 상태의 HRV 평가*

HRV Evaluation under Stress Condition
by Using Patch Type Bipolar Heart Activity Monitoring System

양희경 · 이정환*† · 이영재* · 김경섭** · 이강휘*** · 최희정****
Heui-Kyung Yang · Jeong-Whan Lee*† · Young-Jae Lee* · Kyeong-Seop Kim**
Kang-Hwi Lee*** · Hee-Jung Choi****

청주대학교 전자정보공학부
School of Electronics and Information Engineering, Cheongju University

건국대학교 의학공학부 의공학실용화기술연구소*
School of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University*

건국대학교 의학공학부**
School of Biomedical Engineering, Konkuk University**

중외메디칼 연구소***
R&D center, Choongwae Medical***

건국대학교 간호학과****
Department of Nursing, Konkuk University****

Abstract

In this study, we have developed the patch type HAMS (Heart Activity Monitoring System) which is non-restricted, non-awarable and non-invasive. The module using wireless telecommunication to receive the ECG (electrocardiogram) signal at the computer has mobility which it easily monitors the heart activity of subjects in no time for long term at any time and places. We developed the small patch type electrode which can be attached on the chest. Also the reliability and moving artifact of ECG signal measured by this electrode have been verified. Using HAMS, we measured the HRV (Heart Rate Variability) parameters, the questionnaire evaluation for anxiety and stress and the amount of stress hormone (cotisol) to evaluate the stress effect in HRV on the same subject. As a result of comparing the values under non stressed and stressed condition, there was significant difference on many parameters. And the parameter highly related with stress on Pearson's Correlation Coefficient has been examined. These show that using HAMS is able to evaluate the function of autonomic nervous system. Therefore, we can

* 본 연구는 2008 과학기술부 특정기초연구사업(No. R01-2008-000-21000-0)의 일환으로 수행되었음.

† 교신저자 : 이정환 (건국대학교 의학공학부 의공학실용화기술연구소)

E-mail: jwlee95@kku.ac.kr

TEL: 043-840-3798

FAX: 043-851-0620

predict heart problem in daily life by using HAMS. Also we expect that this module can be applied for more application as health monitoring system.

Keywords : HAMS (Heart Activity Monitoring System), patch type bipolar ECG (Electrocardiogram) electrode, HRV (Heart Rate Variability), stress, cortisol

요약

본 연구에서는 무구속, 무자각, 무침습적인 패치형 심장활동 모니터링 시스템(HAMS)을 개발하였다. 이 심전도 모듈은 무선 통신을 사용하여 신호를 컴퓨터로 전송 받아 실시간으로 피검자의 심장 활동 상태를 언제 어디서나 장시간 동안 손쉽게 모니터링 측정할 수 있는 이동성을 갖추고 있다. 가슴에 부착이 가능한 패치 타입의 소형 전극을 자체 제작하였고, 측정된 심전도 신호에 대한 신뢰성 검증이 이루어졌다. HRV에 대한 스트레스의 영향을 평가하기 위하여 HAMS을 이용하여 동일한 피험자를 대상으로 HRV 파라미터와 불안, 스트레스 항목에 대한 설문지 평가, 스트레스 호르몬(코티졸)양을 측정하였다. 일상 상태와 스트레스 상황에서의 값들을 비교한 결과, 많은 파라미터에서 유의미한 차이가 나타났다. 또한 피어슨 상관계수로부터 스트레스와 상관성이 높은 파라미터를 검토하였다. 이는 HAMS를 이용하여 자율신경계 기능 평가가 충분히 가능하다는 것을 보여주는 것이다. 이러한 결과로부터 HAMS를 통하여 일상생활에서 심장 이상을 예측할 수 있으며, 건강 모니터링 시스템으로 활용도가 높을 것으로 기대된다.

주제어 : HAMS, 패치형 바이폴라 심전도 전극, 심박변동, 스트레스, 코티졸

1. 서론

최근 식생활의 변화에 따른 운동 부족 및 고도 비만의 증가, 고령사회로 접어들면서 심장 질환으로 인한 사망률이 지속적으로 증가하고 있다. 심전도 신호는 임상에서 심장관련 질환을 진단하기 위하여 가장 널리 사용되는 검진방법이다. 그러므로 일상생활 중에서 지속적인 심전도 모니터링이 가능하다면 심장 질환 환자뿐만 아니라 심장에 부하를 줄 수 있는 운동 중에도 사전에 급작스러운 심장의 이상 증세를 예상할 수 있다.

또한 심박동 변동에 반영되는 자율신경계 활동으로부터 신체적 부하는 물론 정신적 부하 즉 스트레스 상태를 평가할 수 있다. 그러므로 다양한 시간 영역과 주파수 영역 분석법에 의해 스트레스에 대응하는 교감신경계의 활동 양상을 알 수 있다.¹⁾

스트레스에는 크게 더위, 추위, 소음 등의 물리학적 요인에 의한 것, 피로, 질병 등의 생리학적 요인에 의한 것, 대인관계 등에 의한 사회, 심리적 스트레스가 있다. 스트레스가 증가하게 되면 교감신경계를 활성화시키고 부교감신경계를 억제하면서 혈압, 심박동

수, 호흡수가 증가한다. 이외에도 신체적 증상으로 두통, 성 기능 장애, 근육의 과긴장, 소화불량과 식욕 변화 등이 나타날 수 있고 정서적 반응으로 흥분, 무력감, 수면 장애, 우울감, 조바심 등이 나타날 수 있다.

적당한 스트레스는 효율성과 생산성을 높여주지만 지나친 스트레스는 질병을 일으키거나 사망에 이르게 하는 등 스트레스는 중요한 건강위험인자라 할 수 있다. 그러므로 스트레스를 잘 인지하고 관리하는 것이 건강유지 및 증진에 반드시 필요하다.²⁾

소형화, 무구속, 무자각, 무침습적인 심전도 신호 측정을 위해 다양한 연구가 수행되고 있다. 압력센서 또는 용량성 센서 배열을 이용하여 수면 중 심전도와 호흡 및 체동을 측정하는 기술이 다양하게 개발되었으나 시트 라는 공간적인 제약성이 있으며, 손목시계형 센서로 맥박을 측정하여 자율신경계 활동을 분석하는 기술은 무구속 센싱이 아니므로 피험자에게 불편을 초래한다. 전도성 섬유를 이용한 심전도 측정 기술은 동잡음과 피복과 피부 간의 접촉에 의한 노이즈에 민감하다. 또한 벨트형 센서로 생체신호를 측정하는 기술은 피험자를 구속하므로 측정 시 불편함을 초래하게 된다.³⁾⁴⁾⁵⁾

1) Murata A. (1992), Measurement of mental workload by heart rate variability indexes, Ergonomics Vol.28, No.2, 91-98.

2) 이인혜 외 (1997), 정신생리학, 제11장 심장활동과 행동, 학지사, 269-294

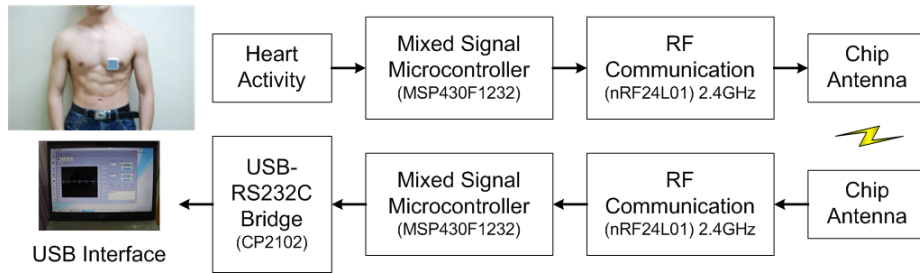


그림 1. HAMS의 구성

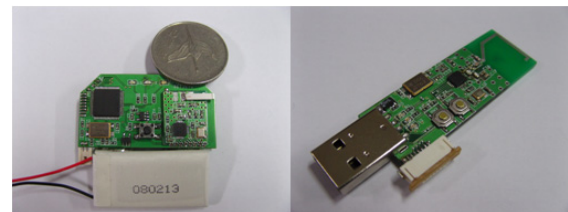
본 연구에서는 생체신호 측정에서의 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 가슴에 부착 가능한 패치 타입의 소형 전극을 자체 제작하였다. 심전도 측정 장치의 성능을 검증하기 위하여 동일한 피험자를 대상으로 스트레스에 노출되지 않은 상태와 시험 직전의 스트레스 상태에서 설문지 조사, 혈액검사를 통한 스트레스 호르몬량 측정 및 심전도 신호를 기록하여 스트레스와 자율신경계 활동의 상관성을 검토하였다. 심전도 신호의 심실 수축 시 발생하는 R 피크를 검출하고, 이 R 피크 간격을 이용하여 다양한 파라미터를 분석하는 과정을 통하여 일상생활 중에 변화하는 HRV(Heart Rate Variability)를 추정할 수 있다.

그림 1은 HAMS의 구성도, 그림 2는 구현된 HAMS 모듈의 무선 송수신부를 보여주고 있다.

2. 심장 활동 감시 시스템(HAMS) 개발

2.1. HAMS의 구성

본 연구의 심전도 측정에 사용된 심장활동 감시 시스템(HAMS : Heart Activity Monitoring System)은 무선 통신을 사용하여 신호를 컴퓨터로 전송 받아 실시간으로 피험자의 심장 활동 상태를 언제 어디서나 장시간 동안 손쉽게 모니터링 측정할 수 있는 이동성을 갖추고 있다.



(a) 송신부 (b) 수신부
그림 2. HAMS모듈의 프로토타입

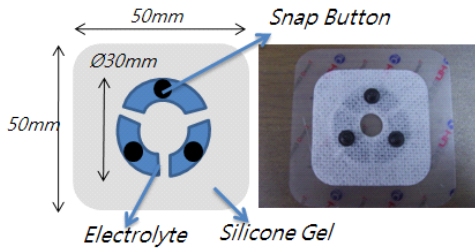
신호처리를 위하여 시스템에 사용된 프로세서는 소형, 저전력의 특성을 가지는 Texas Instrument사의 MSP430F1232칩이다. 저전력으로 고속의 무선 데이터 송수신을 위하여 Nordic Semiconductor사의 nRF24L01 (2.4GHz 대역) 칩을 사용하였다. 측정 모듈의 소형화를 위하여 세라믹 칩 안테나를 사용하여 무선 송수신단을 구성하였다. 그리고 무선으로 전송된 데이터를 Silicon Lab.사의 CP2102 칩을 사용하여 PC의 USB 단자에 연결하여 원격에서 측정되는 심전도 데이터를 수신할 수 있는 수신모듈을 구현하였다.

2.2. 수정된 바이폴라 전극 구현

그림 3은 패치형의 수정된 바이폴라 전극을 갖는 심전도 전극을 나타낸다. 이 심전도 전극은 기존의 표준사지 유도 측정에서 사용하던 전극을 하나의 패드(pad)에 일정한 간격으로 배열 하여 최소한의 활동 전위 차만을 이용하여 신호를 측정할 수 있다. 이동상황에서 다수의 전극 부착으로 인한 불편함을 줄이기 위해 흉부에 간편하게 부착할 수 있는 5cm×5cm 크기의 패드에 3개의 전극을 원형으로 배열한 수정된 원형 바이폴라 전극을 제작하였다. 전극간의 거리를 최

- 3) 임용규, 김고근, 박광석 (2005). 침대에 부착된 용량성 전극 배열을 이용한 수면 중의 심전도 측정. 추계 대한의용생체 공학회, 516-519
- 4) Fred Chen, Henry Wu, Pei-Lan Hsu, Robert Sheridan, and Hongshen Ma (2008), SmartPad : A wireless, Adhesive-Electrode-Free, Autonomous ECG Acquisition System, 30th IEEE EMBC Conference, 2345-2348
- 5) Jorg Ottenbacher, Malte Kirst, Luciana Jatoba, Michal Hufleit, Ulrich Grobmann, and Wilhelm Stork (2008), Reliable Motion Artifact Detection for ECG Monitoring Systems with Dry Electrodes, 30th IEEE EMBC Conference, 1695-1698

소화 하여 하나의 패드에서 쌍극유도 방식으로 생체 신호를 측정할 수 있다. 수정된 바이폴라 전극은 snap 버튼을 통해 심전도 측정 모듈과 탈착이 가능하도록 설계되어 사용 시의 편리할 뿐 아니라 케이블의 제거로 인해 EM 간섭을 최소화하였다.⁶⁾



(a) 전극의 크기 및 구성 (b) 전극의 실물 형태
그림 3. 수정된 바이폴라 전극 설계

2.3. HAMS의 성능 평가

HAMS로 측정된 파형의 신뢰도를 평가하기 위하여 MP150(Biopac Inc., 미국) 심전도 측정 모듈을 사용하여 심전도 파형을 측정(Lead II)하였다. 동시에 HAMS를 흉부유도 측정 위치 V1~V6에 차례로 부착하여 흉부 위치에 따른 심전도 변화를 측정하였다.

11명의 피험자를 대상으로 두 부위에서 동시에 측정된 심전도 신호의 정규화 과정 후 피어슨 상관계수를 구하였다. 그 결과, V3과 V4 지점의 P, Q, R, S, T 파형은 임상심전도 파형과 비교하여 유사도가 각각 0.903, 0.873의 높은 값으로 나타났다.

HAMS로 심전도 신호를 측정할 때의 동잡음의 영향을 보기 위하여 0km/hr~6km/hr로 속도를 2km/hr씩 증가시켜가면서 약 2분간 심전도 신호를 기록하였다. 심전도 파형에서 동잡음의 영향이 기저선에 나타나기는 하지만, 신호처리에 의해 보다 개선된 파형을 얻을 수 있다.

3. HAMS를 이용한 스트레스 부하 평가

3.1. 실험개요

본 실험은 2007년 11월에 건국대학교 간호학과 학

6) 이강휘, 이정환, 이영재, 김경섭, 양희경, 신진수, 이명호 (2008), 수정된 바이폴라 전극을 갖는 착용형 심장활동 모니터링 시스템 구현 및 임상 심전도와의 상관관계 분석, 57(6), 대한전기학회, 1102-1108

생 41명을 대상으로 한 스트레스 평가이다. 스트레스를 받지 않는 일상적인 상황과 스트레스 상황에서 동일한 피험자를 대상으로 실시하였다. 여기서 일상적인 상황이란 시험을 2, 3주 앞둔 시점을, 시험 당일은 스트레스를 많이 받을 것으로 판단하여 스트레스 상황으로써 설정하였다.

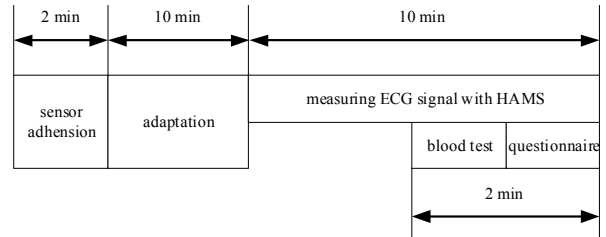
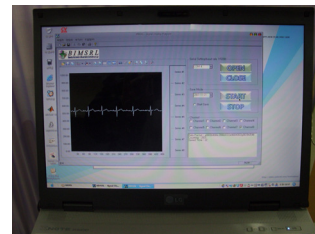
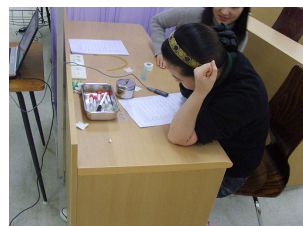


그림 4. 정신적 스트레스 평가 절차

그림 4는 정신적 스트레스 평가를 위한 실험과정을 나타낸 것이며, 그림5는 실험장면을 보여주고 있다. 피험자에게 실험내용에 대해 충분히 설명하고 동의서를 받은 후, 간호사의 입회 하에 실험진행 및 채혈이 이루어졌다.



(a) 심전도 측정



(b) 설문지 평가



(c) 코티졸 측정 위한 채혈

그림 5. HAMS를 이용한 스트레스 평가 실험 장면

충분한 안정을 취한 후 센서를 부착하고 약 10분간의 적응기간 후, HAMS를 이용하여 125Hz 샘플링 주파수로 심전도 신호를 기록하였다(Labview ver7.1, National Instruments). 5분 이상 심전도 신호를 측정 후 심전도 신호 기록과 동시에 혈중 스트레스 호르몬

인 코티졸 측정을 위한 채혈과 설문지 평가를 실시하였다. 설문지는 불안(anxiety, 20-80 scales), 스트레스(stress, 0-100 scales)의 두 항목에 대해 평가를 실시하였다.

3.2. 실험방법

3.2.1. 혈중 스트레스 호르몬 측정

코티졸은 부신피질에서 분비되는 스테로이드 호르몬으로서, 질병이 아닌 일반인의 경우 신체적, 심리적 스트레스로 인해 분비가 증가된다. 코티졸의 혈중 농도는 일반적으로 오전 6~8시 사이에 가장 높은 농도를, 자정 경에 가장 낮은 농도를 나타낸다.⁷⁾

본 연구에서의 혈중 코티졸 양의 측정 방법은 다음과 같다. 전완의 말초정맥을 통해 수집한 혈액을 Radioimmunoassay 방법(RIA competitive method) 으로 COAT-A-COUNT Cortisol (DPC) 시약을 사용하여 1470 Wizard(PerkinElmer, Finland)로 분석하였다. 이러한 방법으로 측정된 코티졸의 정상 범위는 오전에 5~25 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 오후에 2.5~12.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이다. 본 연구를 위한 대상자의 혈액채취는 몇 명의 학생을 제외하고는 모두 오전에 이루어졌다.

3.2.2. 설문지 평가

불안이란 긴장, 두려움, 신경 쓰임, 걱정 등으로 표현됨과 동시에 자율신경계의 활성화나 각성을 동반하는 개념이다. 본 연구에서는 Spielberg가 개발한 상태-기질불안(State-Trait Anxiety Inventory: STAI) 도구 중 상태불안(S-Anxiety) 척도 즉 STAI Form Y-1을 이용하여 측정하였다.⁸⁾

본 도구는 응답자의 느낌, 감정을 표현하는 20문항으로 구성되어 있으며, 4점 척도의 선택지를 제시하고 있다. 점수의 범위는 최저 20점에서 최고 80점으로서 점수가 높을수록 불안 정도가 높음을 의미한다.

스트레스는 시각적 상사척도(Visual Analogue Scale:

VAS)를 사용하여 측정하였다.⁹⁾ 시각적 상사척도란 100mm 길이의 연속선 상에 어떤 특성이나 태도의 정도를 표시하도록 함으로써 그 속성을 측정하는 도구이다.

본 연구에서는 연속선의 양 끝에 "스트레스가 전혀 없음", "극도의 스트레스 상태"로 표시하고 응답자로 하여금 자신이 느끼는 스트레스의 정도를 연속선 안에 표시하게 하였다. 점수는 응답자의 표시가 0(스트레스 전혀 없는 상태)에서부터 얼마나 멀리 떨어져 있는지의 길이(mm)를 측정함으로써 구하였다.

3.2.3. HRV parameters

HAMS로 측정된 심전도 신호로부터 R피크를 검출하여 RRI(RR Intervals) [msec]를 구하였다. 그리고 University of Kuopio의 HRV Analysis Software ver 1.1 과 Matlab(ver 6.5, the Mathworks, Inc.)으로 구현한 분석 알고리즘을 이용하여 심전도 데이터를 분석하였다. 분석 데이터 길이는 256개의 RRI로 하였으며, interpolation rate를 4Hz로 설정하여 파라미터를 구하였다.

HRV분석법은 크게 시간영역과 주파수영역 분석으로 나눌 수 있으며, 시간영역 분석법은 통계적 분석법과 기하학적 분석법으로 나눌 수 있다.¹⁰⁾¹¹⁾

RRI 시계열 데이터로부터 통계적 파라미터에 해당하는 mean RR, mean HR (heart rate), SDNN (Standard deviation of Intervals), RMSSD (the square root of the mean squared differences of successive RR intervals)를 구할 수 있다. 또한 RRI의 histogram으로부터 기하학적 파라미터인 HRV triangular index, TINN (triangular interpolation of interval histogram) 을 구할 수 있다. 또한 RRI를 가로축 RRI[n], 세로축 RRI[n+1]로 플로

9) Wewer, M.E., & Lowe, L.K. (1990), A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in Nursing and Health* 13, 227-236.

10) Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996), Heart rate variability-Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *European Heart Journal* 17, 354 - 381.

11) Toichi M., Kubota Y., Murai T., Kamio Y., Sakihama M., Toriuchi T., Inakuma T., Sengoku A. and Miyoshi K. (1999), The influence of psychotic states on the autonomic nervous system in schizophrenia, *International J. of Psychophysiology* 31, 147-154.

7) Stewert P.M. (2008), The adrenal gland. In Kronenberg H.M., Melmed, S., Polonsky, K.S., & Larsen, P.R. *Kronenberg : Williams Testbook of Endocrinology*(11ed). Philadelphia, PA:Saunders Elsevier.

8) Spielberg, C.D., Gorsuch, R.L., Lushene, R., Vagg, P.R. & Jacobs, G.A.(1983), State-Trait Anxiety Inventory for Adults. Mind Garden, Inc.

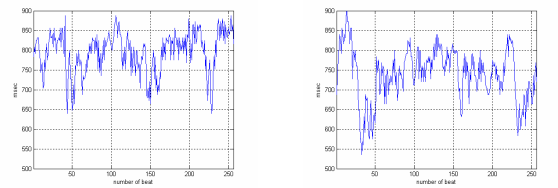
팅하면 Lorentz plot이 구현된다. L과 T는 각각 축방향과 축의 직각방향으로 표준편차를 구하여 4배를 한 것이며, L/T는 심장교감활동 인덱스 CSI 그리고 $\log_{10}(L \cdot T)$ 는 미주신경활동 인덱스 cardiac vagal index CVI를 나타낸다. 이는 각각 교감, 부교감신경 활동을 반영하는 기하학적 파라미터이다.

주파수 영역 분석법으로서 FFT 파워 스펙트럼이 있다. FFT 스펙트럼에서 LF 성분은 0.04-0.15 Hz, HF는 0.15-0.4Hz 주파수 범위를 가리킨다. norm LF, norm HF는 각각 정규화된 성분들을 말하며, LF/HF는 정규화된 성분들의 비를 가리킨다. HF성분은 주로 미주신경 활동을 반영한다. 어떤 연구자들은 LF가 교감활동을 정량적으로 나타낸다고 하는 반면 교감과 미주신경활동 양측을 반영한다고 하는 주장도 제기되기도 한다. LF/HF비는 교감신경활동에 반영되는 미주신경 밸런스를 나타낸다.

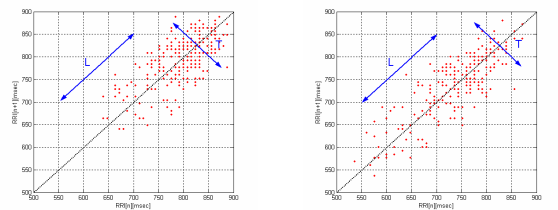
3.3. 스트레스 평가 결과

그림 6은 동일 피험자에 대해 스트레스 상태와 스트레스를 받지 않은 상태에서의 tachogram을 나타낸 것으로, 256개의 RR interval을 plot한 것이다.

그림 7은 RRI를 Lorentz plot으로 표현한 그림이다. 각각 축방향과 축의 직각방향으로 표준편차를 구하여 4배를 곱한 L과 T로 CSI, CVI를 각각 교감, 부교감신경 활동을 반영하는 파라미터로써 값을 구하였다. 스트레스 상태에서는 점들의 분포비를 나타내고 있는



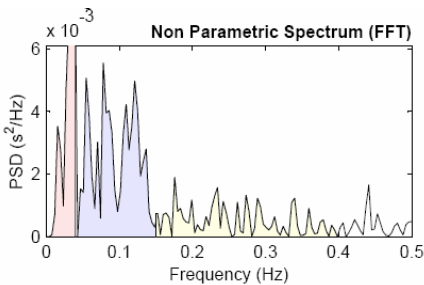
(a) non-stressed condition (mean RR=791ms) (b) stressed condition (mean RR=721ms)
그림 6. RR intervals의 시간경과 추이도



(a) non-stressed condition (CSI=2.053, CVI=3.331) (b) stressed condition (CSI=3.445, CVI=3.721)
그림 7. RR intervals 시계열 데이터의 Lorentz plot

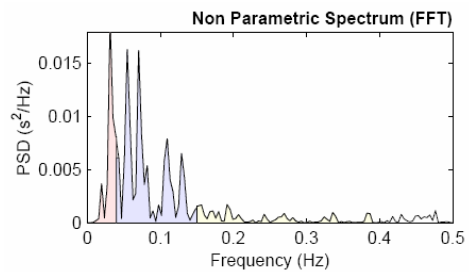
CSI의 값이 더 크게 나타난 것에서 저주파성분의 변동은 큰 반면, 고주파성분의 변동이 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다. 그림 8은 주파수 영역 분석법인 FFT 파워 스펙트럼을 나타낸 것이다. 일반적으로 정신적 부하 시에는 교감신경기능이 활성화된다.

생리적인 양 측 스트레스 호르몬양, 심리적인 양인 불안, 스트레스에 대한 설문지 결과, 그리고 심전도 신호로부터 추출된 파라미터들을 일상적인 상태와 시험 직전의 스트레스 상태를 T 검정에 의해 비교한 결



| Frequency Band | Peak (Hz) | Power (ms2) | Power (%) | Power (n.u.) |
|----------------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| LF | 0.0781 | 286 | 47.0 | 69.3 |
| HF | 0.1758 | 126 | 20.8 | 30.7 |
| LF/HF ratio | | | 2.258 | |

(a) under non-stressed condition



| Frequency Band | Peak (Hz) | Power (ms2) | Power (%) | Power (n.u.) |
|----------------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| LF | 0.0547 | 466 | 63.4 | 82.3 |
| HF | 0.1914 | 100 | 13.6 | 17.7 |
| LF/HF ratio | | | 4.647 | |

(b) under stressed condition

그림 8. HRV의 FFT 파워 스펙트럼 및 LF(0.04-0.15Hz), HF(0.15-0.4Hz) 주파수 대역 성분비

표 1. 일상 상태와 스트레스 상태 비교 (n=35)

| | non-stress | stress | p value |
|--------------------------|----------------|----------------|---------|
| hormone (serum cortisol) | 9.01 ± 2.5 | 14.44 ± 5.78 | p<0.01 |
| Anxiety | 39.2 ± 8.36 | 60.29 ± 9.82 | p<0.01 |
| Stress | 38.37 ± 21.61 | 77.03 ± 15.48 | p<0.01 |
| Mean RR | 650.36 ± 86.71 | 572.83 ± 71.11 | p<0.01 |
| SDNN | 41.98 ± 12.22 | 32.94 ± 8.58 | p<0.01 |
| Mean HR | 94.43 ± 11.67 | 106.97 ± 13.04 | p<0.01 |
| RMSSD | 38.53 ± 15.62 | 24.78 ± 8.2 | p<0.01 |
| HRV triangular index | 0.084 ± 0.02 | 0.071 ± 0.018 | p<0.01 |
| TINN | 214.86 ± 66.18 | 167.57 ± 42.57 | p<0.01 |
| CSI | 2.76 ± 0.79 | 3.56 ± 0.78 | p<0.01 |
| CVI | 3.46 ± 0.17 | 3.51 ± 0.15 | n.s. |
| norm LF | 62.01 ± 13.23 | 65.92 ± 12.78 | n.s. |
| norm HF | 37.99 ± 12.23 | 34.08 ± 12.78 | n.s. |
| LF/HF ratio | 1.94 ± 0.095 | 2.4 ± 1.39 | p<0.05 |

n.s : no significant

과를 표 1에 나타내었다(n=35, SPSS ver12).

스트레스 상태에서는 일상적인 상태보다 스트레스 호르몬, 스트레스 및 불안에 대한 설문지 점수, 평균 심박수, CSI, LF/HF비는 유의하게 증가하였다. 반면 mean RR, RMSSD, HRV triangular index, TINN은 유의하게 감소하였다. 그러나 시간영역의 CVI, 주파수 영역의 norm LF, norm HF 에서는 유의한 차이가 없었다.

표 2는 스트레스 호르몬, 설문지, HRV파라미터 간의 상관성을 피어슨 상관계수에 의해 분석한 결과를 나타낸 것이다. 혈중 스트레스 호르몬 양, 설문지 결과, HRV 파라미터에 대해 상관분석을 수행한 결과, 특히 설문지의 스트레스와 불안 항목, HRV 파라미터

중 RMSSD-SDNN, RMSSD-mean RR, HRV triangular index-SDNN, HRV triangular index-RMSSD, TINN-SDNN, TINN-RMSSD, TINN-HRV triangular index, CVI-CSI, LF/HF ratio, norm LF는 0.7 이상의 높은 상관계수로, 양의 상관성이 매우 높게 나타났다. 반면 mean HR, mean RR, CSI-RMSSD, norm HF, norm LF, HF/LF ratio, norm HF는 -0.7 이상의 높은 상관성을 갖는 음의 선형관계가 있다는 결과로 나타났다. 또한 설문지의 스트레스 항목, HRV 파라미터 중 CVI, norm LF, norm HF, HF/LF ratio는 단지 몇 개의 파라미터와 선형 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

4. 논의

일반적인 심전도 측정은 1mV 이하의 미세한 심장 전기 활동을 체표면에서 그 전위를 측정하는 방법이다. 이는 전원잡음, 호흡잡음, 근육잡음 등에 매우 취약하므로, 외부 잡음에 강하고 측정 방식이 편리하면서 일상생활 중에 사용이 가능한 휴대용 심전도 측정 방식이 필요하다.

본 연구에서는 기존의 휴대용 심전도 측정 시스템이 가지고 있는 이동상황에서의 측정 문제를 최소화하기 위하여 수정된 바이폴라 전극을 제안하였다.

이 전극을 사용한 심전도 신호의 신뢰성 평가를 위해 표준 심전도 신호와 동시에 심장활동을 측정하여 파형의 상관도를 분석한 결과, 임상적 분석에 활용되는 심전도 파형과 높은 유사성 나타냄으로서 HAMS로 측정된 파형을 임상에서의 활용가능성이 높다고

표 2. 스트레스 호르몬, 설문지 결과, HRV 파라미터간의 상관분석 결과 (피어슨 상관계수)

| | s_hmn | anxiety | stress | SDNN | MeanRR | MeanHR | RMSSD | RR tri dx | TINN | CSI | CVI | normLF | normHF |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| anxiety | .476** | | | | | | | | | | | | |
| stress | .490** | .827** | | | | | | | | | | | |
| SDNN | -.287* | -.210 | -.189 | | | | | | | | | | |
| MeanRR | -.394** | -.348** | -.287* | .504** | | | | | | | | | |
| MeanHR | .400** | .379** | .327** | -.476** | -.981** | | | | | | | | |
| RMSSD | -.422** | -.299* | -.217 | .866** | .665** | -.633** | | | | | | | |
| RR tri idx | -.265* | -.205 | -.211 | .855** | .457** | -.450** | .763** | | | | | | |
| TINN | -.323** | -.258* | -.179 | .920** | .446** | -.421** | .868** | .878** | | | | | |
| CSI | .471** | .331** | .245* | -.445** | -.566** | .594** | -.700** | -.363** | -.445** | | | | |
| CVI | .164 | .072 | .053 | .253* | -.085 | .122 | -.005 | .363** | .294* | .653** | | | |
| normLF | .245* | .118 | .026 | -.088 | -.008 | .012 | -.312** | -.084 | -.134 | .478** | .384** | | |
| normHF | -.245* | -.118 | -.026 | .088 | .008 | -.012 | .312** | .084 | .134 | -.478** | -.384** | -1.000** | |
| L/H ratio | .277* | .184 | .055 | -.060 | -.065 | .071 | -.311** | -.067 | -.128 | .500** | .373** | .913** | -.913** |

* : p<0.01 ** : p<0.05

할 수 있을 것이다. 또한 속도를 점차 빠르게 변화시켜가며 심전도 파형을 측정할 결과, 동잡음의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다. 즉 움직임을 되도록 억제하는 실험환경에서뿐만 아니라 일상생활에서의 심전도 측정에도 안정되고 신뢰성 있는 파형을 측정할 수 있다는 것을 의미한다.

HAMS의 성능 및 실용성을 검토하기 위해 스트레스 상태에서의 자율신경계 활동을 검토하였다. 동일한 피험자에게 스트레스 호르몬 측정, 설문지 평가를 통하여 일상적인 상태와 스트레스가 높은 상태의 HRV 파라미터를 비교하였다. 또한 피어슨 상관계수로부터 스트레스와 상관성이 높은 파라미터를 검토하였다. 그 결과 스트레스와 일상적인 상태에서 많은 HRV 파라미터가 큰 차이를 보였다. 이는 HAMS를 이용하여 자율신경계 기능 평가가 충분히 가능하다는 것을 보여주는 것이다. 일상생활 속에서도 심혈관 질환의 모니터링에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

HAMS는 일반적인 심전도 측정에서와 같이 3개의 전극을 필요로 하는 것이 아니라 하나의 패치형 전극만으로 심전도 측정이 가능하므로 일상생활에서 보다 장시간 무구속, 무자각적으로 심전도 신호의 측정이 가능하다. 또한 무선통신 프로토콜을 이용하여 자유롭게 기기간의 연결이 이루어지므로 유비쿼터스 환경에 적합하며 일상생활에서의 건강 모니터링 시스템으로의 적용이 기대된다.

현재 개선해야 될 문제점은 땀이 많은 조건에서 전극과 피부간의 접촉력 약화로 인해 심전도 신호에 많은 잡음이 유입된다는 점, 그리고 무선 통신에서 끊김이 발생할 수 있다는 점이다. 이를 보완, 수정한다면 더욱 안정적이고 신뢰성 있는 심전도 신호를 얻을 수 있을 것이며, 보다 다양한 환경에서의 적용으로 확대될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 이강휘, 이정환, 이영재, 김경섭, 양희경, 신건수, 이명호 (2008). 수정된 바이폴라 전극을 갖는 착용형 심장활동 모니터링 시스템 구현 및 임상 심전도와의 상관관계 분석. 57(6), 대한전기학회, 1102-1108.
- 이인혜 외 (1997). 정신생리학, 제11장 심장활동과 행동. 학지사, 269-294.
- 임용규, 김고근, 박광석 (2005). 침대에 부착된 용

량성 전극 배열을 이용한 수면 중의 심전도 측정. 추계 대한의용생체공학회, 516-519.

- Fred Chen, Henry Wu, Pei-Lan Hsu, Robert Sheridan, and Hongshen Ma (2008). SmartPad : A wireless, Adhesive-Electrode-Free, Autonomous ECG Acquisition System. 30th IEEE EMBC Conference, 2345-2348
- Jorg Ottenbacher, Malte Kirst, Luciana Jatoba, Michal Huflejt, Ulrich Grobmann, and Wilhelm Stork (2008). Reliable Motion Artifact Detection for ECG Monitoring Systems with Dry Electrodes. 30th IEEE EMBC Conference, 1695-1698.
- Murata A. (1992). Measurement of mental workload by heart rate variability indexes. Ergonomics Vol.28, No.2, 91-98.
- Spielberger, C.D., Gorsuch, R.L., Lushene, R., Vagg, P.R. & Jacobs, G.A.(1983). State-Trait Anxiety Inventory for Adults. Mind Garden, Inc.
- Stewert P.M. (2008). The adrenal gland. In Kronenberg H.M., Melmed, S., Polonsky, K.S., & Larsen, P.R. Kronenberg : Williams Testbook of Endocrinology(11ed). Philadelphia, PA:Saunders Elsevier.
- Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability- Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. European Heart Journal 17, 354-381.
- Toichi M., Kubota Y., Murai T., Kamio Y., Sakihama M., Toriuchi T., Inakuma T., Sengoku A. and Miyoshi K. (1999). The influence of psychotic states on the autonomic nervous system in schizophrenia. International J. of Psychophysiology 31, 147-154.
- Wewer, M. E., & Lowe, L. K. (1990). A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. Research in Nursing and Health 13, 227-236.

원고접수 : 09.02.10

수정접수 : 09.03.24

게재확정 : 09.06.19