

스트레스 판별을 위한 무구속 심탄도의 파라미터 분석

전감표* · 노윤홍** · 정도운***

*동서대학교 디자인 & IT 전문대학원 · **동서대학교 일반대학원 · ***동서대학교
컴퓨터정보공학부

Analysis of the Unconstrained BCG Parameter for Stress Discrimination

Pyo-Gam Jeon* · Yun-Hong Noh** · Do-Un Jeong***

*Graduate School of Design & IT, Dongseo University · **Graduate School, Dongseo University ·

***Division of Computer & Information Engineering, Dongseo University

E-mail : jgpnova@chol.com, noh108@nate.com, dujeong@dongseo.ac.kr

요 약

심장관련 질환은 현대사회에서 업무 과중과 스트레스에 의해 발병 가능성이 높아지고 있으며, 일상생활 중 건강상태를 지속적으로 모니터링하여 심장질환 관련 응급상황에 대처하기 위한 많은 연구들이 수행되고 있다. 본 연구에서는 가정 또는 사무실에서 무구속적인 방법으로 지속적인 심장 활동 상태의 모니터링이 가능한 무구속 의자형 심탄도 계측 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템에서 계측된 심탄도 신호로부터 건강모니터링을 위한 특징성분을 검출하기 위해 웨이브렛 변환과 템플릿 매칭을 혼합한 신호처리방법을 제안하였다. 또한 적응 문턱치를 통해 심탄도 신호에서 심박동을 검출하였으며 심박동의 간격으로부터 HRV(heart rate variability)를 계산하였다. 구현된 시스템의 성능평가를 위하여 심전도와 동시에 심탄도를 측정하였으며, 두 신호로부터 심박동 검출 성능을 비교하여 구현된 무구속 의자형 심탄도 계측 시스템의 유용성 및 무자각 건강모니터링의 가능성을 확인하였다. 또한 스트레스에 따른 HRV의 변화를 관찰하기 위하여 피실험자로부터 인위적으로 숨을 참고 강제호기를 통해 흉강내압을 증가시켜 인위적인 육체적 스트레스를 가하는 발살바를 유도하였으며, HRV의 시간 및 주파수 영역에서 도출되는 파라미터들을 평가하여 심탄도 모니터링을 통해 안정 상태와 스트레스 상태의 판별 및 무구속 건강모니터링의 가능성을 평가하였다.

키워드

BCG, ECG, unconstrained, stress, HRV(heart rate variability)

1. 서 론

일상생활에서 현대인들의 정신적, 신체적 건강을 해치는 요인으로 잘 알려진 스트레스는 오랜 기간에 걸쳐 지속될 경우 산소 요구량이 많아지고, 관상동맥 경련, 심장 전도 시스템의 전기적인 불안정성이 나타난다. 또한 이러한 증상들에 따른 불규칙한 혈액의 흐름을 정상적으로 유지하기 위하여 심장의 과부하를 일으키게 되어 심혈관계에 부정적인 영향을 준다. 따라서 과도한 만성적 스트레스는 우리 몸의 모든 기관에 부정적 영향을 미쳐 관련된 모든 질병을 야기할 수 있기 때문에 개인 차원에서 스트레스 관리가 매우 중요하다[1].

기존 연구에서는 심전도를 계측하여 심장의 박동과 박동사이의 변화를 나타내는 HRV의 분석을 통해 스트레스를 측정하기 위한 연구를 수행하였다. 또한 장시간 또는 일상생활 중에 심전

도를 보다 편리하게 측정하기 위하여 이동성 및 휴대성을 강조한 심전도 계측 시스템에 관한 연구들이 수행되었다[2][3]. 하지만 기존 심전도 계측은 전극의 부착 및 계측시스템과의 연결을 위한 리드선의 사용으로 인해 활동의 불편함을 유발한다.

본 연구에서는 기 연구 수행된 가정 또는 사무실에서 무구속적인 방법으로 지속적인 심장의 활동상태의 모니터링이 가능한 무구속 의자형 심탄도 계측 시스템을 이용하여 신호를 계측하고 전처리 과정 및 적응 문턱치를 통해 심박동을 검출하였다[4]. 또한 스트레스에 따른 HRV의 변화를 관찰하기 위하여 피실험자 10명을 대상으로 30분간 인위적인 육체적 스트레스를 가하는 발살바 조작을 유도하였으며, HRV의 시간, 주파수 영역 분석을 통해 안정 상태와 스트레스 상태를 판별 및 건강모니터링의 가능성을 확인하고자 하였다.

II. 본 론

2.1. 심탄도 계측 시스템

본 연구에서는 무구속적으로 심장의 활동 상태를 모니터링 하기 위하여 의자형 심탄도 측정 시스템을 구현하였다. 심탄도의 측정을 위하여 의자에 싱글 로드셀을 부착하여 앉는 자세나 위치에 상관없이 단일지점에서 피검자의 무게변화를 계측할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한 로드셀에서 출력되는 신호로부터 체중과 심탄도 신호를 추출하기 위해 필터와 연산증폭기를 이용한 신호처리회로를 구현하였다.

신호처리회로에 의해 검출된 체중 신호 및 심탄도 신호의 디지털 변환 및 무선 전송을 위하여 무선센서노드(TIP710CM, Maxfor Co., Korea)를 이용하였다. 무선센서노드를 통해 12-bit 분해능으로 체중신호는 1 sample/sec, 심탄도 신호는 100 sample/sec 속도로 채널별 가변 샘플링 하였으며, 샘플링 된 데이터의 효율적 무선전송을 위하여 패킷의 길이를 가변적으로 조정 가능하도록 구성하였다. 구현된 심탄도 측정시스템의 전체 구성도를 그림 1에 나타내었다.

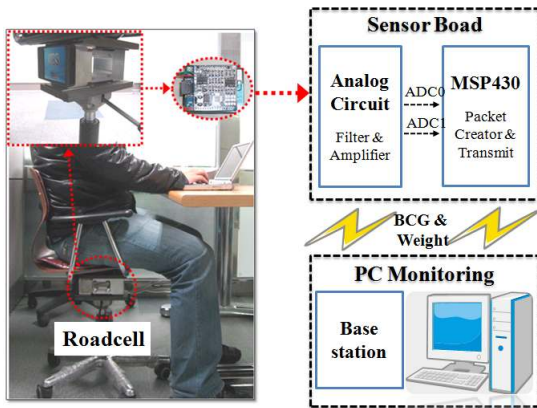


그림 1. 전체 시스템 구성.

2. 심탄도 전처리 과정

심탄도를 이용한 무구속 건강모니터링을 수행하기 위해서는 심박동의 검출이 필수적이며, 이를 위해서는 심전도 신호의 R파에 해당하는 심탄도 신호의 J파를 검출해야만 한다. 하지만 심탄도 신호의 경우 심전도 신호와는 다르게 J파의 주파수 대역 및 신호의 크기가 주위파형성분과 유사하기 때문에 심전도 신호처리에 적용하는 일반적인 신호처리방법으로는 피크검출의 오류 발생 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 심탄도로부터 심박동을 검출하기 위하여 웨이브렛 변환 및 템플릿 매칭, 적응 문턱치의 신호처리기법을 제안하였다. 먼저 웨이브렛을 이용하여 기저선 변화 및 잡음성분을 제거하였으며, 템플릿 매칭을 이용하여 신호의 크

기를 정규화 하였다. 또한 적응문턱치기법을 적용하여 정확한 피크를 검출하고자 하였다. 제안한 심탄도 신호처리 과정을 그림 2에 나타내었다.

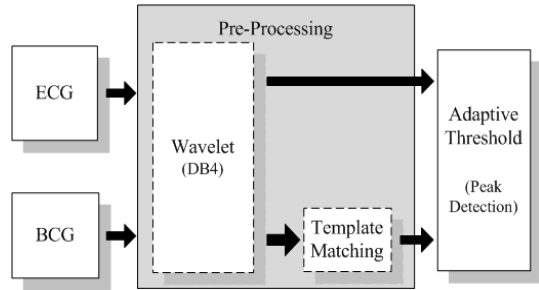


그림 2. 심탄도 신호처리 과정.

3. 심탄도로부터 HRV 추출

본 연구에서는 가정 또는 사무실에서 무구속적인 방법으로 지속적인 심장의 활동상태의 모니터링이 가능한 무구속 의자형 심탄도 계측 시스템을 이용하여 신호를 계측하고 전처리 과정 및 적응 문턱치를 통해 HRV를 검출하고자 하였다. HRV는 현재 임상에서 일반적으로 사용되고 있는 분당 평균 심박동수와 다르게 박동과 박동 사이의 변화 추이를 정량화한 것으로써 심전도 신호에서 RR간격을 시계열 신호로 변환하여 시간축에 재배열한 신호이다.

HRV는 측정이 용이하고 교감신경과 부교감신경계의 영향을 받기 때문에 많은 정신신체질환과 스트레스성 질환에 관여하는 자율신경계의 정량적 지표로써 사용된다. HRV는 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$HRV = \frac{J_{peak}(n+1) - J_{peak}(n)}{\text{Sampling Rate}} \quad (1)$$

4. HRV의 시간 및 주파수 영역 분석

HRV의 분석방법에는 시간 영역에서의 분석 방법과 주파수 영역에서의 분석 방법이 있다. 시간영역 분석 방법은 HRV의 변이성을 평균, 분산, 변동계수 등과 같은 통계치를 이용하여 전반적인 특성을 분석하는 방법이다. 시간영역 분석에서 사용되는 파라미터들은 SDNN, RMS, pNN50 등이 있다. 먼저 SDNN은 일련의 HRV 신호의 장시간 심박동 간격의 표준편차를 의미하며, 임상적으로 SDNN의 감소는 좌심실 이상과 관련이 있고, 좌심실 빈맥, 갑작스런 심정지 등을 예측하는데 이용되고 있다. 다음으로 RMS는 일련의 HRV 신호의 제공근 평균을 나타내고, HRV의 단기간 변화를 반영하여 심장의 부교감신경계 영향을 평가하기 위하여 많이 이용되고 있다. 마지막으로 pNN50은 일련의 HRV 신호의 심박동 간격들 사이의 차이가 50ms이상인 간격의 비율을 pNN50이라 한다. 표 1에 시

간영역 분석방법에서 도출되는 파라미터들을 나타내었다.

표 1. HRV의 시간 영역 파라미터

파라미터	설 명
SDNN	심박동 간격의 전체 분산
RMS	심박동 간격의 제곱근 평균
pNN50	차이가 50ms 이상인 심박동 간격의 개수의 비율

주파수 영역에서의 HRV 분석 방법은 FFT(fast fourier transform)로 주파수 영역으로 변환하여 주파수의 PSD(power spectrum density)를 분석하여 각 주파수 대역별 자율신경계의 영향을 분석하기 위해 사용된다. 즉 심박변동을 초래하는 자율신경계의 활동이 주기적이라는 점을 토대로 HRV를 특성 주파수와 PSD를 가지는 각 주기성분으로 분해함으로써 자율신경계를 구성하는 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 구분할 수 있다. 따라서 자율신경계를 평가하는 비침습적인 방법으로써 가장 널리 사용되고 있다.

주파수영역 분석에서 주로 사용되는 주파수 대역은 HF, LF, VLF, LF/HF이 있다. 각 주파수 대역별 성분의 생리적 메커니즘에 연관된 내용을 표 2에 나타내었다.

표 2. HRV의 주파수 영역 파라미터

주기 성분	주파수 대역	관계 신경계
VLF	0 ~ 0.04 Hz	체온조절, 호르몬 분비, 레닌-엔지오텐신
LF	0.04 ~ 0.15Hz	교감신경계, 부교감신경계, 압력수용기 반사, 혈관운동
HF	0.15 ~ 0.4Hz	호흡계(부교감신경)
LF/HF		교감, 부교감 신경계의 자율신경활동

특히 HF는 호흡주기와 관계가 있으며, 인체의 반사 시스템과 밀접한 관계를 가지고 있어 호흡영역이라고도 한다. 특히 부교감신경계의 활성도가 감소하면 심실환이 발생할 수 있으며, 스트레스 또는 통증이 나타나고, 매우 긴장된 상태를 유지하게 된다.

본 연구에서는 HRV의 시간, 주파수영역 분석을 통해 스트레스에 따른 HRV의 변화를 관찰하고자 하였다. 이를 위하여 피실험자로부터 인위적으로 숨을 참고 강제호기를 통해 흉강내압을 증가시켜 인위적인 육체적 스트레스를 가하는 발살바 조작을 유도하였으며, 안정 상태와 스트레스 상태를 비교하여 심탄도 모니터링을 통해 스트레스 상태의 판별 가능성을 확인하고자 하였다.

III. 실험 및 결과

1. 심박동 검출 성능 평가

본 연구에서 적용한 웨이브렛 신호처리와 템플릿 매칭 기법을 적용한 심탄도 신호처리기법의 성능평가를 위하여 심전도와 심탄도를 동시에 계측하여 심박동 검출성능을 평가하고자 하였다. 실험대상은 건강한 대학생 10명을 대상으로 30분간 심전도와 심탄도를 동시에 계측하는 실험을 수행하였다. 이때 피검자는 의자에 편안하게 앉아 독서를 하는 상태에서 심탄도 신호를 계측하였으며, 심전도는 사지유도법 중 리드 I 방법을 사용하여 계측하였다. 이때 피크검출 정확도는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$Accuracy(\%) = \frac{TP}{TP+FP+FN} \times 100 \quad (2)$$

여기서 TP(true positive)는 심전도로부터 검출된 피크의 개수를 의미하며, FP(false positive)는 심탄도로부터 J 피크 외에 추가로 주변의 피크가 검출된 오류이며, FN(false negative)는 피크 검출이 누락된 오류를 의미한다.

실험결과를 살펴보면 심전도에서 피크갯수를 기준으로 했을 때 피크검출 성공률이 평균 98.1%를 보인다. 또한 심전도 신호로부터 검출한 심박동수와 웨이브렛 및 템플릿매칭을 적용한 심탄도로부터 검출한 심박동수의 유의성을 확인하기 위하여 상관관계를 분석한 결과 상관계수는 0.97, P 값은 < 0.0001로 유의성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에 의해 구현한 심탄도 계측 시스템이 심전도를 대신하여 전극을 사용하지 않고 무구속적으로 심박동 검출이 가능함을 확인하였다.

표 3. 피크검출 성능평가 결과

	T.P (ECG)	Peak (BCG)	Error			Accuracy[%]
			F.P	F.N	Total Error	
Object 1	2367	2355	8	20	28	98.8
Object 2	2532	2552	22	2	24	99.1
Object 3	2187	2157	9	39	48	97.9
Object 4	2124	2121	6	9	15	99.3
Object 5	2209	2224	28	13	41	98.2
Object 6	2325	2315	15	25	40	98.3
Object 7	2145	2125	13	33	46	97.9
Object 8	2104	2123	42	23	65	97.0
Object 9	2311	2281	12	42	54	97.7
Object 10	2404	2400	36	40	76	96.9
Average						98.1

2. HRV 분석 결과

본 연구에서는 스트레스 판별 및 무구속 건강 모니터링의 가능성을 평가하기 위하여 피검자

10명으로부터 총 5회의 발살바 조작을 유도하여 심탄도를 계측하고 각 상태별 HRV 시간 및 주파수 영역에서 도출되는 파라미터들을 분석하고자 하였다. 먼저 HRV의 시간 영역에서 파라미터들을 분석한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그 결과 SDNN과 pNN50에서는 스트레스 상태와 안정 상태에 따른 규칙성이 나타나지 않음에 따라 스트레스를 판별 할 수 있는 유의한 파라미터가 아님을 확인하였으며, RMS에서는 스트레스 상태일 때 부교감신경계의 활성도가 감소하는 것으로 알려진 것처럼 발살바를 유도하였을 때 HRV가 전체 피검자에 대하여 감소하는 것으로 나타났다.

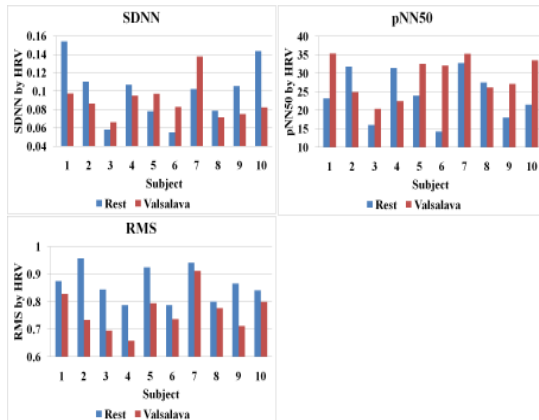


그림 3. 시간 영역에서 HRV의 파라미터 분석 결과.

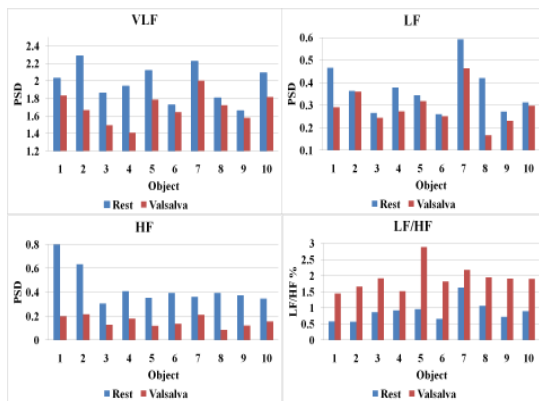


그림 4. 주파수 영역에서 HRV의 파라미터 분석 결과.

그림 4는 피검자 10명을 대상으로 스트레스 상태와 안정상태의 HRV를 FFT하여 주파수 영역별로 PSD 분석한 결과로서 VLF, LF, HF대역에서 발살바를 유도하였을 때 즉, 스트레스 상태일 때 활성도가 감소한 것으로 나타났으며, LF/HF 에서는 그 비율이 증가하였다.

특히 HF와 LF/HF에서 그 차가 크게 나타남에 따라 부교감신경계의 영향을 잘 반영하는 것으로 판단된다. 따라서 HRV의 시간영역에서 RMS와 주파수 영역에서 HF 또는 LF/HF분석을 통해 스트레스와 안정 상태를 판별할 수 있는 가능성을 확인하였으며, 본 연구에서 구현된 심탄도 계측 시스템을 이용하여 심전도 측정시 사용되는 전극 및 리드선 없이 무구속 건강모니터링이 가능함을 확인하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 무구속 의자형 심탄도 계측 시스템을 이용하여 심탄도 신호를 계측하고 전처리 과정 및 적응 문턱치를 통해 HRV를 검출하였다. 또한 발살바 조작을 유도하여 심탄도를 계측하고 각 상태별 HRV 시간 및 주파수 영역에서 도출되는 파라미터들을 분석하여 안정 상태와 스트레스 상태를 비교하였다. 실험결과 무구속 심탄도 모니터링을 통해 스트레스 판별의 가능성을 확인할 수 있었으며, 향후 연구에서는 다양한 스트레스 상태에서 보다 최적화된 신호 처리기법 및 다양한 실험군을 대상으로 건강과라미터 개발에 대한 연구를 수행하고자 한다.

감사의글

본 연구는 중소기업청의 산학공동 기술개발지원사업 및 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역혁신센터의 연구비를 지원받았음

참고문헌

- [1] 우종민, “스트레스와 심박동수 변이”, 가정의학회지, Vol. 25, No. 11, 2004.
- [2] J. Muhlsteff, O. Such, R. Schmidt, M. Perkuhn, H. Reiter, J. Lauter, J. Thijs, G. Mutsch, M. Harris “Wearable approach for continuous ECG and Activity Patient-Monitoring” Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2004.
- [3] Jorg Ottenbacher, Stephan Romer, Christophe Kunze, Ulrich Großmann, Wilhelm Stork “Integration of a Bluetooth Based ECG System into Clothing” Eighth IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp. 186-187, 2004.
- [4] Yun-Hong Noh, Hsein-Ping Kew, Do-Un Jeong, “BCG Monitoring System using Unconstrained Method with Daubechies Wavelet Transform” Inter. Conf. on IML, 2009.