

무구속 심탄도 모니터링을 통한 스트레스지수 분석

노윤홍* · 정도운**

*동서대학교 디자인 & IT 전문대학원, **동서대학교 컴퓨터정보공학부

Analysis of the Stress Index through Unconstrained BCG Monitoring

Yun-Hong Noh* · Do-Un Jeong**

*Graduate School of Design & IT, Dongseo University

**Division of Computer & Information Engineering, Dongseo University

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

요 약

최근 유비쿼터스 헬스케어가 부각됨에 따라 심장의 활동상태를 보다 편리하게 측정하기 위하여 이동성 및 휴대성을 강조한 심전도 측정 시스템 및 스트레스 상태를 분석하기 위한 연구들이 수행되고 있다. 하지만 기존 심전도 측정은 전극의 부착 및 측정시스템과의 연결을 위한 리드선의 사용으로 인해 활동의 불편함을 유발한다. 본 연구에서는 기 연구 수행된 가정 또는 사무실에서 무구속적인(unconstrained) 방법으로 지속적인 심장의 활동상태의 모니터링이 가능한 무구속 의자형 심탄도 측정 시스템을 구현하였다. 무구속적인 방법으로 심탄도 신호를 측정하고 심탄도신호로부터 심박동변이율을 추출함으로써 일상생활 중 스트레스를 모니터링 하고자 하였다. 구현된 시스템을 통한 스트레스 모니터링의 가능성을 평가하기 위하여 안정상태의 심박동변이율과 인위적인 신체적 스트레스인 Valsalva 조작을 유도한 후 심박동 변이율을 비교평가 하였다. 건강한 대학생 10명을 대상으로 비교 분석을 수행한 결과 안정 상태와 육체적 스트레스 인가 후 심박동 변이율의 변화 양상을 관찰할 수 있었으며, 무구속적인 방법에 의해 스트레스의 모니터링이 가능함을 확인 할 수 있었다.

키워드

BCG, Unconstrained, Valsalva, Stress, HRV

1. 서 론

현대인들의 정신적, 신체적 건강을 해치는 요인으로 잘 알려진 스트레스는 오랜 기간에 걸쳐 지속될 경우 산소 요구량이 많아지고, 관상동맥 경련, 심장 전도 시스템의 전기적인 불안정성 등 신체적인 이상을 유발할 수 있으며, 스트레스가 지속적으로 누적될 경우 우울증 등 정신적 이상을 유발시킬 수 있다. 따라서 스트레스의 모니터링을 통한 체계적인 관리가 매우 중요하다[1].

스트레스는 크게 심리적 스트레스와 신체적 스트레스로 구분할 수 있으며, 심리적 스트레스의 경우 정신과 전문의에 의한 설문, 면담 등을 통해 진단하는 방법을 사용한다. 그리고 신체적인 스트레스의 경우 심전도, 맥파, 피부전기전도도 등의 생체신호 측정 및 분석을 통해 모니터링이 가능하며, 일반적으로 스트레스 모니터링을 위해 사용하는 방법은 심장의 박동과 박동사이의 변화를 나타내는 심박동 변이율(heart rate

variability, HRV)을 측정하여 주파수 영역에서 스펙트럼 분석을 통해 스트레스 상태를 분석한다.

심박동 변이율을 측정하기 위해서는 심장의 전기적인 활동 상태를 나타내는 심전도의 측정이 필수적이며 보다 편리하게 심전도를 측정하기 위하여 이동성 및 휴대성을 강조한 심전도 측정 시스템에 관한 연구들이 수행되었다[2][3]. 하지만 기존 심전도 측정은 전극의 부착 및 측정 시스템과의 연결을 위한 리드선의 사용으로 인해 활동의 불편함을 유발한다.

본 연구에서는 기 연구를 통해 수행된 무구속적인(unconstrained) 방법으로 지속적인 심장의 활동상태의 모니터링이 가능한 의자형 심탄도 측정 시스템을 이용하여 심탄도 신호를 측정하였다[4]. 또한 측정된 심탄도 신호로부터 심박동 정보를 추출하기 위하여 전처리 과정 및 적응 문턱치기법을 적용하여 정확한 심박동을 검출하였다. 스트레스에 따른 심박동변이율의 관찰을 위

해 안정 상태와 신체적 스트레스를 유발시킨 상태에서의 신호변화를 관찰하고자 하였으며, 이를 위해 안정된 휴식상태에서의 심탄도 신호와 피실험자에게 인위적으로 숨을 참고 강제호기를 유발하는 Valsalva 조작을 유도한 상태에서의 심탄도 신호를 계측하여 두 신호를 비교평가 하였다.

III. 본 론

1. 심탄도 계측 시스템

심탄도 신호는 심장의 수축과 이완에 따라 심장과 혈관에서의 혈류변화에 따른 탄도를 계측한 신호를 의미하며, 상 신호의 측정범위는 0 ~ 7mg, 주파수 범위는 0 ~ 40Hz의 신호로 이루어진다. 또한 심전도 측정과는 다르게 전극을 붙일 필요 없이 무구속 무자각 상태에서 지속적인 심장의 건강상태 모니터링이 가능하다.

본 연구에서는 무구속 상태에서 지속적인 심장의 활동 상태를 모니터링 하기 위하여 기 수행연구에 의해 구현된 의자형 심탄도 측정 시스템을 이용하였다. 심탄도의 측정을 위하여 의자의 상판과 하판에 로드셀을 부착하여 앉는 자세나 위치에 상관없이 단일지점에서 피검자의 무게변화를 계측할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한 로드셀로부터 출력되는 신호로부터 체중과 심탄도 신호를 추출하기 위해 필터와 연산 증폭기를 이용한 신호처리회로를 구현하였다.

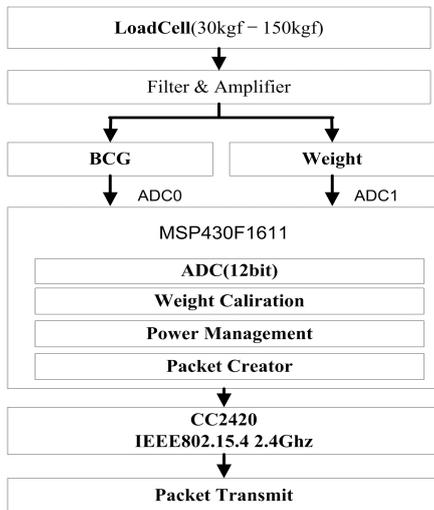


그림 1. 심탄도 시스템의 구성.

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, 샘플링된 데이터의 효율적 무선전송을

위하여 패킷의 길이를 가변적으로 조정 가능하도록 구성하였다. 구현된 심탄도 측정시스템의 구성도를 그림 1에 나타내었다.

2. 심탄도 전처리 과정

심탄도 신호에서 심박동을 검출하기 위해서는 심전도 신호의 R파에 해당하는 심탄도신호의 J파를 검출해야만 한다. 하지만 심탄도의 J파는 주위 파형과 주파수 대역 및 신호의 크기가 유사하기 때문에 일반적인 신호처리방법으로는 피크검출이 불가능하다. 따라서 심탄도 신호로부터 기저선변화의 제거 및 잡음성분의 제거를 통한 심박동수의 검출을 위하여 웨이블릿을 이용한 전처리과정을 수행하였다. 웨이블릿 변환은 수식 1, 2와 같이 웨이블릿 함수와 스케일 함수의 기저함수(basis functions)들의 집합으로 신호를 분해하여 시간-주파수 영역에서 표현하는 방법으로 60Hz전력선 잡음, 기저선 변동 및 근잡음 등과 같은 다양한 종류의 잡음제거가 가능할 뿐만 아니라 피크 검출을 위한 특징성분의 재구성이 가능하다[5].

$$\Psi(n) = \sum_k h(k) \Phi(2n - k) \quad (1)$$

$$\Phi(n) = \sum_k g(k) \Phi(2n - k) \quad (2)$$

Ψ = 웨이블릿 함수 Φ = 스케일 함수

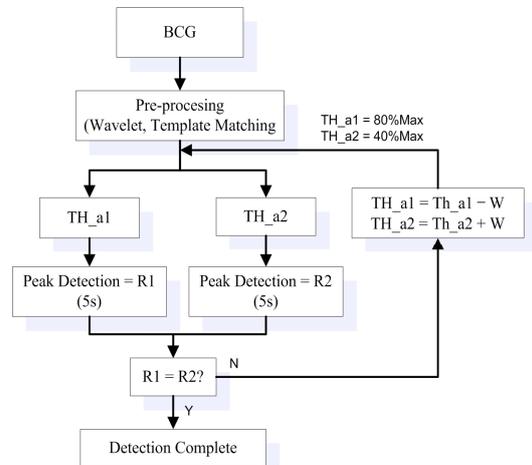


그림 2. 피크 검출 알고리즘.

본 연구에서는 DB4 웨이블릿을 이용한 심탄도 전처리기법을 이용하여 잡음영역을 제거하였으며, 심탄도 신호로부터 피크를 검출하기 위하여 신호에 따라 문턱치 값을 가변하는 적응 문턱치 설정 기법을 적용하여 피크검출을 수행하였다.

적응 문턱치 기법은 전처리된 심탄도 신호에 5초간격의 윈도우를 적용하여 윈도우 내에서 가장 큰 심탄도 피크의 80% 문턱치 TH_a1으로 설

정하고, 최대치의 40% 문턱치를 TH_a2로 설정한다. TH_a1과 TH_a2 각각의 문턱치를 이용하여 윈도우 내에서 피크검출을 수행하고 동일한 피크 개수가 될 때 까지 TH_a1은 문턱치 값을 감소시키고, TH_a2의 문턱치 값을 증가 시키는 과정을 반복 수행한다. TH_a1과 TH_a2에 의한 피크검출의 개수가 같아지면 이때의 TH_a1에 의해 검출된 피크를 최종 피크로 결정한다. 상기에 기술한 적응피크검출기법을 그림 5에 도시하였다.

3. 심탄도로부터 심박동 변이율 추출

기존 연구에서는 스트레스를 분석하기 위하여 시간에 따른 심박동수의 변화를 나타내는 심박동 변이율을 계산하고자 하였다. 심박동 변이율은 측정이 용이하고 교감신경과 부교감신경계의 영향을 받기 때문에 많은 정신신체질환과 스트레스성 질환에 관여하는 자율신경계의 정량적 지표로써 사용된다[6].

심박동 변이율은 현재 임상에서 일반적으로 사용되고 있는 분당 평균 심박동수와 다르게 박동과 박동사이의 변화 추이를 정량화한 것으로써 그림 1과 같이 심전도 신호에서 RR간격을 시계열 신호로 변환하여 시간축에 재배열한 신호이다.

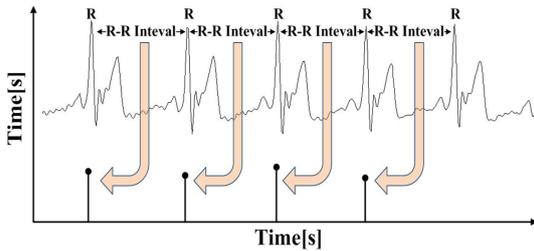


그림 3. HRV의 개요.

이러한 심장 박동간의 변화는 안정상태일수록 더 크고 복잡한 형태를 나타내며 운동을 하거나 스트레스 상태일 때에는 규칙적이고 일정한 형태를 나타낸다.

심박동 변이율을 이용하여 스트레스를 분석하는 방법에는 주파수 영역에서 스펙트럼의 크기와 분포를 관찰하는 분석 방법과 시간 영역에서 RR간격의 분산과 평균 등을 이용하는 방법이 있다. 하지만 주파수 영역에서의 분석 방법은 일정 시간 이상의 심전도 데이터가 획득된 후에 적용이 가능한데 본 연구에서는 실시간으로 획득이 가능한 시간영역에서의 분석방법을 이용하여 RR 간격의 변이를 해석하고 정신적 스트레스의 평가 지수로 활용하였다. 또한 스트레스에 따른 심박동변이율의 변화를 관찰하기 위하여 인위적인 신체적 스트레스인 Valsalva 조작을 유도하여 안정상태와 Valsalva상태를 비교 분석하고자 하였다.

III. 실험 및 결과

1. 심박동 변이율 추출

본 연구에서 심탄도 신호로부터 심박동 변이율을 추출하기 위하여 웨이브렛을 이용한 전처리 과정 및 적응 문턱치를 이용한 피크 검출 과정을 수행하였다. 먼저 심탄도 계측 시스템으로부터 측정된 10분 동안의 심탄도 원신호와 Valsalva 조작에 따른 기저선 변동의 잡음을 포함하는 20초 동안의 심탄도 신호 일례를 그림 4에 나타내었다. 그리고 심탄도 신호에 웨이브렛 전처리과정을 통해 기저선 변동 및 잡음을 제거한 후 적응 문턱치를 이용한 피크 검출 결과를 그림 5에 나타내었으며 전체 심탄도 신호에서 검출된 피크간 간격을 시계열 신호로 변환한 후 시간축에 재배열하여 심박동 변이율을 추출한 결과를 그림 6에 나타내었다.

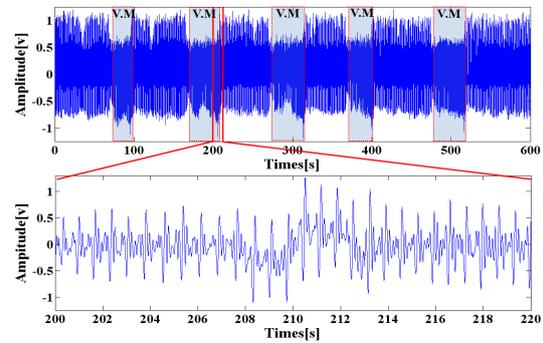


그림 4. 심탄도 원신호.

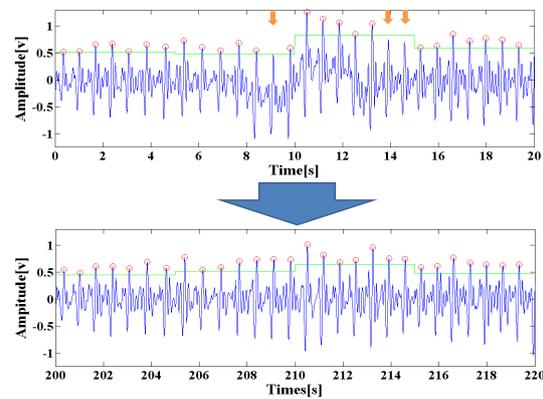


그림 5. 전처리 후 심박동 검출.

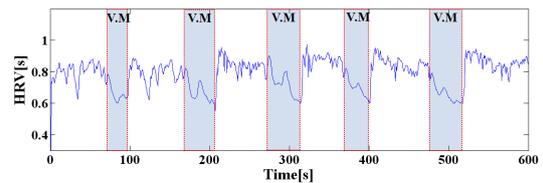


그림 6. HRV 추출 결과.

실험결과를 살펴보면 웨이브렛 전처리 과정을 통해 Valsalva 조작에 따른 기저선 변동의 잡음이 제거됨에 따라 피크 검출 오류가 발생한 구간에서 정상적으로 검출된 것을 확인 할 수 있다. 또한 심박동 변이율 추출 결과를 살펴보면 Valsalva 조작 구간에서 피크 간의 간격이 좁아짐에 따라 심박동이 빨라진다는 것을 확인 할 수 있다.

2. 스트레스에 따른 시간영역에서의 분석

본 연구에서는 인위적인 육체적 스트레스인 Valsalva 조작에 따라 안정 상태와 Valsalva 조작 상태에 따른 비교를 통하여 시간영역에서의 변화를 관찰하고자 하였다. 이를 위하여 건강한 대학생 10명을 대상으로 의자에 앉은 자세에서 인위적으로 숨을 참고 강제호기를 통해 흉강내압을 증가시키고, 심장으로 돌아가는 정맥유입을 방해하는 Valsalva 조작을 10분 동안 총 5회 유도하여 실험 데이터를 측정하였다. 안정 상태와 Valsalva 상태에서의 이전심박동수와 현재심박동수의 관계를 그림 7에 나타내었으며, 스트레스 따른 심박동수 변화 양상을 관찰 할 수 있다. 또한 10명의 피검자를 대상으로 심박동 변이율을 분석하여 안정 상태와 Valsalva 상태의 변화 양상을 분석하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8을 살펴보면 전체적으로 안정 상태일 때 심박동 변이율의 평균값이 Valsalva 상태일 때 평균값 보다 큰 것을 확인 할 수 있으며, 이는 스트레스 상태일 때 심장박동이 빨라진 것에 기인한다.

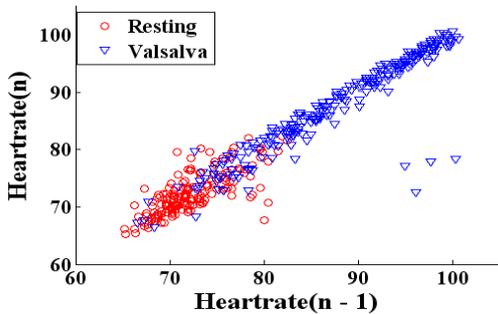


그림 7. 스트레스에 따른 심박동 변화.

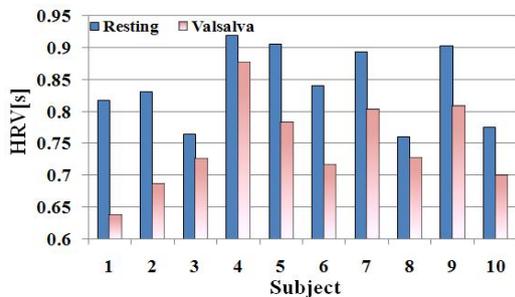


그림 8. 스트레스에 따른 HRV 분석결과.

IV. 결론

본 연구에서는 무구속적인 방법으로 심장의 활동상태 모니터링이 가능한 의자형 심탄도 시스템을 구현하였으며, 심탄도 신호로부터 심박동 검출을 위한 신호처리기법을 구현하였다. 또한 심탄도 신호로부터 스트레스 분석을 위하여 Valsalva 유도를 통한 안정 상태와 스트레스 상태에서의 심박동수 및 심박동 변이율 분석을 수행하였다. 실험결과 무구속 심탄도 신호를 통해 스트레스 분석의 가능성을 확인하였다.

향후 연구에서는 심탄도 신호로부터 시간영역 분석뿐만 아니라 심박동 변이율의 주파수 영역 분석을 통해 보다 신뢰성 있는 스트레스 지수 개발에 대한 연구가 필요하다.

감사의글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업 및 지식경제부의 지역혁신센터사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- [1] 우종민, "스트레스와 심박동수 변이", 가정의학회지, Vol. 25, No. 11, Suppl. November. 2004.
- [2] J. Mühlsteff, O. Such, R. Schmidt, M. Perkuhn, H. Reiter, J. Lauter, J. Thijs, G. Müsch, M. Harris "Wearable approach for continuous ECG and Activity Patient-Monitoring" Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS San Francisco, CA, USA • September 1-5, 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 (ISWC'04) pp. 186-187.
- [4] 노윤홍, 정도운, "무구속 건강모니터링을 위한 의자형 BCG 측정 시스템 구현" 2008 한국해양정보통신학회 춘계학술대회논문집, 12권, 1호, pp. 603-606, 2008.
- [5] Metin Akay, "Wavelet in Biomedical engineering," Anals of Biomedical Engineering, Vol.23, pp.531-542,1995.
- [6] 정기삼, "HRV의 개요", 가정의학회지, Vol. 25, No. 11, Suppl. November. 200