

폐쇄성 수면 무호흡 검출을 위한 심박동변이율 분석

예수영¹, 김정국², 김동현^{3,a}

¹ 동서대학교 메카트로닉스공학과

² 동서대학교 전자공학과

³ 부산가톨릭대학교 방사선학과

Obstructive Sleep Apnea Analysis Based on Heart Rate Variability

Soo-Young Ye¹, Jung-Guk Kim², and Dong-Hyun Kim^{3,a}

¹ Mechatronics Engineering, Dongseo University, Pusan 617-716, Korea

² Electronics Engineering, Dongseo University, Pusan 617-716, Korea

³ Department of Radiological science, Catholic University, Pusan 609-757, Korea

(Received May 6, 2011; Revised June 9, 2011; Accepted June 16, 2011)

Abstract: In this study, OSA (the obstructive sleep apnea) periods were detected in patients with OSA during sleep because of the treatment was different according to the frequency and symptoms of obstructive sleep apnea. ANS (autonomic nervous activity) was changed by obstructive sleep apnea periods so we intended to detect the periods to care the obstructive sleep apnea patients. RR intervals, SDNN (standard deviation of normal to normal) and RMSSD (root mean square standard deviation) were calculated in time domain analysis and LF (low frequency), HF (high frequency), NHF (normalized high frequency), NLF (normalized low frequency) were calculated in frequency domain analysis of HRV (heart rate variability) with obstructive sleep apnea patients. In this paper, SDNN (standard deviation of normal to normal) of time domain analysis were decreased in the obstructive sleep apnea periods. And NLF and LF/HF ratio were increased and NHF (normalized high frequency) was decreased in the frequency domain analysis. The parameters can be used to treat obstructive sleep apnea patients by detecting the obstructive sleep apnea periods such as CPAP (continuous positive airway pressure).

Keywords: Obstructive sleep apnea, Heart rate variability

1. 서론

폐쇄성 수면무호흡증(obstructive sleep apnea, OSA)은 수면 동안 반복적인 상부기도의 협착이 일어나고 이로 인하여 공기의 흐름이 막혀, 혈중 산소포화도가 떨어지고 미세각성이 일어나면서 수면이 분절되는 질환으로서, 대개 심한 코골이와 과도한 주간 졸음이 동

반된다 [1]. 이로 인해 집중력 및 인지 기능의 저하, 주간 두통, 고혈압, 부정맥, 야간 심허혈, 심근경색, 뇌졸중 등과 연관성이 높으며, 자동차 사고 및 업무 관련 사고의 증가와도 높은 관련성이 있다는 사실이 밝혀지면서 최근에 많은 관심이 집중되고 있다 [2]. 이러한 OSA의 진단과 치료는 필수적인 연구 분야 인식되어지고 있고, 많은 연구들이 진행되고 있다. 먼저 OSA의 일반적인 진단 방법은 수면다원검사를 통해 획득되는 여러 가지 생체신호를 모니터링한 후 전문

a. Corresponding author: dhkim@cup.ac.kr

가에 의해서 진단되어진다. 이 검사 방법은 환자가 병원을 내원해야 하고, 또한 생체 신호를 획득하기 위해 여러 가지 전극을 부착해야 하는 번거로움이 있을 뿐만 아니라 고가의 비용을 지불해야 한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 몇 가지의 생체신호만을 측정하여 진단하는 많은 연구들이 진행 중 이다. Peppard는 호흡신호를 이용하여 폐쇄성 수면 무호흡을 진단하였고, Kushida는 코골이음을 이용하고, Victor는 산소포화도를 이용하여 폐쇄성 수면 무호흡에 관한연구를 하였다 [3-5].

OSA에 관한 많은 연구 중 수면 중의 반복적인 저산소증과 각성 반응에 의해 유발될 수 있는 자율신경계 활성화도 변화와의 관련성이 제시되고 있다 [6]. 즉, 자율신경계의 활성도를 판단 할 수 있는 심박동 변율을 이용하여 수면 중 폐쇄성 무호흡 구간을 검출할 수 있다. OSA를 가진 환자의 수면 중 무호흡 구간을 검출하여 그 빈도와 증상에 따라서 치료를 요하게 되는데, 무호흡 구간에서는 자율신경계의 활성도가 달라지기 때문에 이러한 특징을 이용하여 폐쇄성 수면 무호흡 치료를 위한 폐쇄 구간을 검출하고자 한다. 본 논문에서는 폐쇄성 수면 무호흡증을 가지고 있는 환자를 대상으로 수면 중 심박동변이율 (heart rate variability, HRV)의 시간영역 및 주파수 영역 분석결과를 이용하여 자율신경계의 활성도를 관찰하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 연구대상

PhysioNet에서 제공하는 1채널 심전도신호를 이용하였고, 피험자는 총 25명으로 나이는 27에서 60세이고, 몸무게는 53 kg에서 135 kg이었다. 심전도 신호는 8-10시간의 데이터양을 가지고 있으며, 12비트 해상도와 100 Hz의 샘플 된 데이터들이 저장되어 있다 [7]. 각 데이터에 대해서 호흡신호와 산소포화도를 근거로 전문가에 의해 1분 간격으로 무호흡 또는 저호흡을 나타내는 구간들이 제공되어 지고 있고, 저호흡과 무호흡 구간을 합해서 수면무호흡 구간으로 정하였다. 수면 중 호흡장애를 나타내는 지표로 시간 당 무호흡과 저호흡의 횟수를 나타내는 무호흡-저호흡 지수 (apnea-hypopnea index, AHI)를 주로 사용하고

있다. AHI 지수가 20이상 일 경우 중증(severe) 폐쇄성 무호흡을 나타내고 15이하 일 때는 경증(mild) 폐쇄성 무호흡으로 분류된다. 본 실험에서는 중증 20명과 경증 5명을 대상으로 실험을 하였다.

2.2 HRV 신호분석

OSA 환자의 HRV 신호 분석을 위한 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

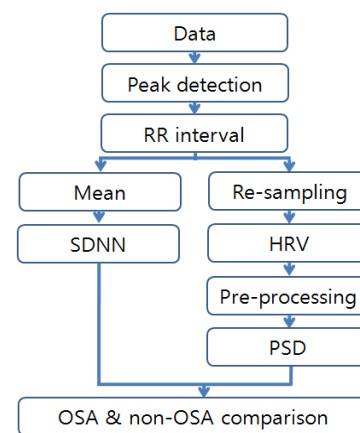


Fig. 1. Flowchart of the HRV signal analysis with OSA patients.

심전도 (electrocardiogram, ECG) 신호에서 피크를 검출한 후 RR 간격을 구한다. 시간 영역 분석을 위하여 RR 간격의 평균, SDNN (standard deviation normal to normal), RMSSD (root mean square standard deviation)를 구하였다. 시간 영역 분석은 OSA 환자의 RR 간격에 대한 전반적인 동적 특성을 반영할 수 있으나, 심박변동을 초래하는 생리학적인 메커니즘과 자율신경계의 활성화도에 대한 의미 있는 정보를 제공하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 주파수 분석을 하였고, 주파수 분석을 위하여 RR 간격을 리샘플링하여 HRV로 재구성하였다. HRV 신호의 PSD (power spectrum density)를 구하기 위하여 전처리 과정을 거친다. 이러한 전처리는 HRV 신호 내의 DC 성분들을 제거할 수 있는 끝점 매칭 (end matching)과 평균값제거 (mean subtraction) 그리고 평균화 (normalize) 과정을 거치게 된다. 주파수 분석 기법은 심전도 신호로부터 재구성된 HRV 신호에 FFT (fast fourier transformation)을

적용하여 파워 스펙트럼 밀도 (power spectrum density)를 구하였다 [8].

HRV 신호는 일반적으로 저주파 대역(low frequency band, LF : 0.1-0.15 Hz)과 고주파 대역(high frequency, HF : 0.15-0.25 Hz)으로 나누어 분석할 수 있다. 저주파 대역은 주로 교감 및 부교감신경계의 영향을 모두 받는다. 그리고 압수용체 및 혈관운동과 밀접한 연관 관계를 지닌다. 고주파 대역은 로 부교감신경계의 영향을 받는다. 이 영역을 호흡 영역이라고도 한다. 이는 호흡주기와 관계가 있으며 또한 인체의 반사 시스템과 밀접한 관계를 지니고 있기 때문이다 [9,10].

3. 결과 및 고찰

실험 결과를 표 1과 그림 2-5에 나타내었다. 표 1에서 OSA환자의 시간영역 및 주파수 영역의 분석결과를 평균 ±표준편차로 나타내었고, 환자의 OSA구간과 Non-OSA 구간을 구별하기 위한 통계분석법은 paired-t test를 실시하였고, 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 하였다. 데이터 분석은 통계 분석 소프트웨어인 SPSS (statistical package for the social sciences) 9.0을 사용하였다. 그림 2와 같이 SDNN은 OSA 구간에서 감소하는 경향을 나타내었다. RR 간격, RMSSD 그리고 pNN50은 통계적 유의성을 찾을 수 없었다. 주파수 분석 파라미터로 LF, HF와 LF/HF ratio을 구하였고, 이 파라미터들을 전체 파워 (total power)를 이용하여 정규화된 NLF (normalized low frequency, NLF)와 NHF (normalized high frequency, NHF)를 구하였다. 그림 3과 그림 5에서 NLF값과 LF/HF 비율 값은 OSA구간에서 증가하는 경향을 나타 되었고, 그림 4에서 NHF값은 OSA구간에서 감소하는 경향을 나타내었다.

Table 1. The results of HRV of time domain and frequency domain with OSA patients.

	Non-OSA period	OSA period
RR inter.	896.20 ± 138.32	828.58 ± 127.76
SDNN	116.02 ± 12.48 *	72.63 ± 14.98 *
RMSSD	53.80 ± 36.86	53.28 ± 28.36
LF	1561.30 ± 1128.298	2188.67 ± 1799.80
HF	1430.57 ± 1068.47	1006.13 ± 910.28
LF/HF	1.18 ± 0.56 *	2.58 ± 1.10 *
NLF	0.52 ± 0.10 *	0.70 ± 0.08 *
NHF	0.49 ± 0.10 *	0.30 ± 0.08 *

* : $P < 0.05$ mean±SD

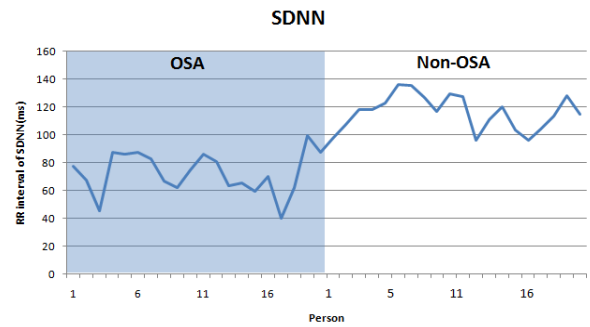


Fig. 2. The results of SDNN with OSA patients in time analysis.

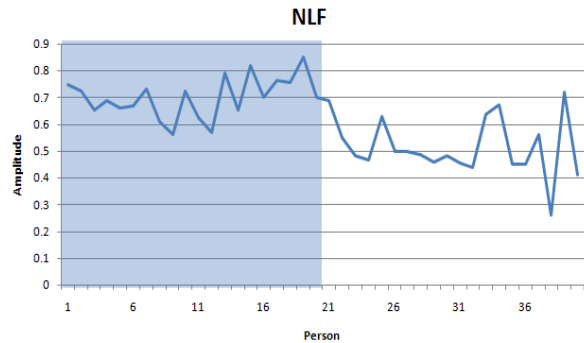


Fig. 3. The results of NLF with OSA patients in frequency analysis.

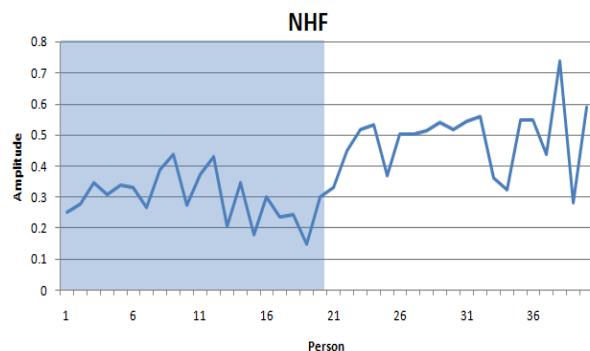


Fig. 4. The results of NHF with OSA frequency analysis.

4. 결론

OSA를 가진 환자의 병리학적 생리학적 특성은

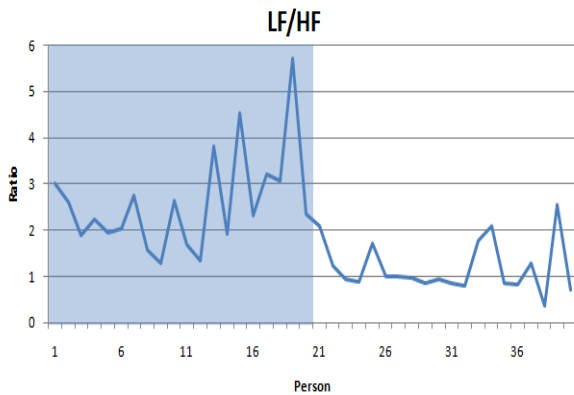


Fig. 5. The results of NHF with OSA frequency analysis.

매우 복잡하지만 혈압 변화에 밀접한 관련이 있음이 알려져 왔다.

특히 심혈관계 (cardiovascular)의 혈류 변화는 OSA 환자에게 많은 영향을 미친다 [11].

본 연구에서는 OSA환자의 HRV를 분석하기 위하여 시간영역파라미터와 주파수영역 파라미터를 구하여 OSA 구간과 Non-OSA구간을 구별하여 비교하였다.

시간영역 분석 파라미터인 SDNN은 OSA 구간에서 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 무호흡 구간에서 호흡곤란으로 인하여 혈압 (blood pressure)변이가 증가하고, 이로 인해 맥박수가 빨라지고, RR 간격의 변화정도가 감소되었음을 의미한다.

HRV의 주파수 분석은 자율신경계의 활성도를 알아보기 위하여 많이 사용되어지고 있다. 주파수 분석은 교감신경과 부교감 신경계의 영향을 잘 반영하므로 유용한 방법이고, 특히 비침습적인 방법이므로 널리 사용되어지고 있다. 폐쇄성 수면 무호흡 환자의 주파수 분석 결과 OSA구간에서 LF가 증가하고 HF가 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 무호흡이 일어나지 않는 구간보다 무호흡이 일어나는 구간에서 교감신경계가 활성화됨을 나타내고, 부교감신경계의 활성도가 저하되어 있음을 나타낸다. OSA 구간에서 심박동이 증가하게 되므로 이로 인해 교감신경계의 활성도는 높아지고 부교감신경계의 활성도는 낮아지게 된다.

또한, Non-OSA구간과 비교하여 OSA 구간에서 자율신경계의 균형 (autonomic balance)을 나타내는 LF/HF 비율 값의 증가는 OSA 구간에서 자율신경계의 균형이 깨어졌음을 의미한다. 자율신경계의 불균

형 상태는 외부자극에 대하여 자율신경계의 즉각적인 반응이 어려운 상태이다.

따라서 LF/HF 비율은 OSA를 판별하기 위하여 지표로 사용 가능함을 확인 할 수 있었다. OSA 가진 환자의 자율신경계 장애는 심혈관계 질환을 가중 시킬 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 따라서 OSA 환자의 수면중 OSA 구간을 구별하여 양압기도술 (continuous positive airway pressure, CPAP)과 같은 치료 여부 판단에 위와 같은 파라미터들을 이용할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0005952).

REFERENCES

- [1] S. Redline and K. P. Strohl, *Clin. Chest Med.*, **19**, 1 (1998).
- [2] M. Roberto, C. G. Luiz, L. M. Sergio, and L. M. Fernanda, *Einstein*, **5**, 1 (2007).
- [3] P. E. Peppard, T. Young, M. Palta, and J. Skatrud, *N. Engl. J. Med.*, **342**, 19 (2000).
- [4] C. A. Kushida, T. I. Morgenthaler, M. R. Littner, C. A. Alessi, D. Bailey, and J. J. Coleman, *Sleep*, **29**, 2 (2006).
- [5] J. V. Marcos, H. Roberto, Á. Daniel, D. C. Félix, and A. Mateo, *Med. Biol. Eng. Comput.*, **48**, 9 (2010).
- [6] L. M. O'rien and D. Gozal, *Sleep*, **28** (2005).
- [7] NIBIB, *PhysioNet the research resource for complex physiologic signals*, www.physionet.org (2011).
- [8] J. Mateo and P. Laguna, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **47** (2000).
- [9] R. S. Jaffe, D. L. Fung, and K. H. Behrman, *J. Auton. Nervous Syst.*, **46** (1993).
- [10] C. Guilleminault, D. Poyares, A. Rosa, and Y. S. Huang, *Sleep Medicine*, **6** (2005).
- [11] M. Aydin, R. Altin, A. Ozeren, L. Kart, M. Bilge, and M. Unalacak, *Tex. Heart J. J.*, **31**, 2 (2004).