

점증적 틸트 각도 변화에 대한 심박변동에 관한 연구

정기삼*, 신진수**, 이정환*, 최석준*, 안준***, 진중선***, 이명호*

* 연세대학교 공과대학 전기공학과

** 연세대학교 의료기기 기술연구소

*** 연세대학교 의과대학 재활의학과

A Study on Heart Rate Variabilities during Graded Head-up Tilt

K.S. Jeong*, K.S. Shin**, J.W. Lee*, S.J. Choi*, J. Ahn***, J.S. Chon***, M.H. Lee*

* Dept. of Electrical Eng., College of Engineering, Yonsei University

** The Institute of Medical Instruments Technology, Yonsei University

*** Dept. of Rehabilitation Med., College of Medicine, Yonsei University

ABSTRACT

In this paper, the power spectral analysis and fractal dimension analysis of heart rate variability(HRV) were performed to evaluate effects of orthostatic stress with head-up tilt on autonomic nervous system(ANS) for 24 young and healthy subjects(age: 24 ± 5 yr.). The ECG and respiration signals were recorded at the tilt angle of 0° , 15° , 30° , 45° , 70° and 90° successively for 5 minutes per each stage under the condition of frequency controlled respiration (0.25Hz). Heart rate(HR) gradually increased as the angle increased. Similarly, according to the increment of angle, normalized low frequency(LF) component(0.05-0.15Hz) gradually increased, whereas normalized high frequency(HF) component (0.20-0.30Hz) was reduced. From these results it is speculated that orthostatic stress, head-up tilt, results in the prevalence of sympathetic tone in autonomic balance with the increment of sympathetic tone and the decrement of parasympathetic tone, which seems to mean that autonomic nervous system plays a major role in compensating for disturbances of cardiovascular system due to it.

서론

자율신경계의 이상이 여러 질환의 발병에 크게 관여한다는 인식이 고조되면서 자율신경계의 활동을 정확하게 평가할 수 있는 방법의 필요성이 크게

대두되고 있다. 이러한 필요성에 따라 적외선 체열 촬영기를 이용한 체표면 온도의 측정, 혈중에서 자율신경계 신경전달 물질에 대한 분석, 자율신경계에 대한 전기생리학적 검사, 약물에 대한 자율신경계의 반응, 땀의 정량적 측정, 동공 및 음부신경 반사에 대한 평가 등 여러 가지 평가 방법들이 제시되어 사용되어 왔다[1]. 그러나 이와 같은 검사법은 정량화가 어렵고 재현성이 부족하며, 특히 인체에는 적용하기 어려운 침습적방법(invasive method)이라는 점에서 임상 적용에 많은 제한을 받아왔다. 심박(또는 R-R간격)은 외란에 대해 체내의 항상성(homeostasis)을 유지하기 위해 끊임없이 변동하며, 이와 같은 변동을 정량화 한 것을 심박변동(heart rate variability : HRV)이라 한다. 최근, 심박변동을 이용하여 비관혈적으로 자율신경의 활동을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 신뢰성과 재현성이 뛰어나다는 사실이 밝혀지면서 활발한 연구가 진행 중에 있다. 심박변동 신호로 자율신경의 활동을 평가하기 위해서는 크게 두 가지의 방향을 설정하여야 한다. 첫째는 피검자의 교감신경과 부교감신경의 활동을 구별해 낼 수 있는 실험 프로토콜이며, 둘째는 수집된 심박변동신호를 처리하는 알고리즘이다. 실험 프로토콜로는 크게 틸트테이블(tilt table)에 의한 직립부하 실험, 운동부하 실험, 약물에 의한 신경계 차단 실험, 동물을 대상으로 한 해부학적 실험 등으로 나누어진다. 신호처리 방법 역시 많은 시도가 있었는데, 주로 통계적 방법에 의한 시간영역해석, 전력스펙트럼(power spectrum)을 이용한 주파수영역 해석, 그리고 비주기적 성분에 대한 비선형 동역학 해석등이 주류를 이루고 있다. 틸트 테이블을 이용한 실험은 직립부하에 의한 심혈관계의 불균형과 이를 보상하기 위한 자율신경계의 활동을 관찰하기 위한 것으로 Mukai[2], Butler[3], Jaffe[4]등 많은 학자들에 의해 수행되어

왔다. 선행된 연구들은 직립부하 피검자, 시간, 각도, 단계의 모든 면에 있어 공통된 점이 거의 없으며, 신호처리 방법과 결과에 대한 생리학적인 해석 역시 많은 차이를 보인다. 따라서 본 논문에서는 점증적 각도의 변화를 통하여 심혈관계의 적응성 및 자율신경계의 항상성 조절 활동을 관찰함으로써 교감신경과 부교감신경의 활동을 구분해 낼 수 있는 직립부하 프로토콜 설계를 목적으로 한다.

본 논문에서는 24명의 젊고 건강한 피검자(24±5세, 남성 12명, 여성 12명)를 대상으로 데이터를 수집하고 전력스펙트럼 해석과 프랙탈 차원(fractal dimension)을 통하여 분석하였다. 분석된 결과를 근거로 직립 부하에 대한 정상인의 자율신경 활동 평가를 할 수 있는 프로토콜을 제시하였다.

실험 방법

본 논문에서는 심혈관계 및 자율신경계의 질병이 없고 1주 이내에 약물을 복용하지 않은 건강한 남녀 24명을 피검자로 선정하였다. 실험 전날 피검자들에게는 음주, 카페인을 함유한 청량음료 등의 섭취를 금지하였다. 실험은 식사를 하고 최소한 2시간이 경과한 후에 조용하고 온도조절(23-24℃)이 된 실험실에서 실시하였다. 각 피검자의 호흡률은 개인적인 차이가 있고, 심박변동에 큰 영향을 주기 때문에, 본 실험에서는 피검자의 호흡을 분당 15회(0.25 Hz)로 조절하였다.

표1 직립부하 프로토콜

Table 1 Protocol for orthostatic stress

Step	Tilt Angle	Time
1	0°	5 min.
2	15°	5 min.
3	30°	5 min.
4	45°	5 min.
5	70°	5 min.
6	90°	5 min.

실험 당일 피검자는 Tilt Table(Laberne MFG Co., Model 1060E, 미국)상에서, 데이터 수집장치로부터 발생하는 소리에 따라 호흡률을 조절하는 법을 연습하면서 실험 환경에 적응하도록 하였다. 그 후, 피검자는 틸트테이블상에서 누운 상태로 10분간의 안정을 취한 후, 표 1과 같은 실험 프로토콜하에서 심전도와 호흡신호를 동시에 기록하였다. 심전도 신호는 QRS군을 비교적 크게 기록할 수 있는 리드 II를 사용하여 기록하였다. 또한 호흡신호는 지름이 0.01인치인 J형 열전대를 이용하여 제작한 센서를 피검자의 코밑에 부착하여 측정하였다. 샘플링율(sampling rate)에 따른 R파의 검출오차를 최소화하기 위해서는 500Hz 이상의 샘플링 주파수가 요구되며, 본 논문에서는 심전도 신호를 1000Hz의 주파수로 샘플링하여 기록하였다.

신호처리

심박변동신호를 유도하기 위해서는 먼저 A/D 변환된 심전도 신호로부터 R파를 검출하여 심박동열(cardiac event series)을 구성하여야 한다. 본 연구에서 R파는 위상학적 맵핑을 이용한 수정된 공간속도(spacial velocity) 알고리즘[5]을 사용하여 검출하였다. 검출된 R-R간격에서 부정맥이나 R파 검출 오류를 제거한 후, 4Hz로 재샘플링하여 등간격의 심박변동신호를 유도하였다[6]. 이렇게 얻어진 심박변동신호를 각 단계에서 각도 변화 시간이 포함된 초기 30초간(120샘플)의 데이터는 버리고 1024개의 샘플로 구성된 연속적인 레코드로 분할한 후, 각 레코드에 대해 전력스펙트럼의 추정과 프랙탈 차원을 계산한다. 전력스펙트럼은 Burg의 최대엔트로피법(maximum entropy method)[7][8]을 사용하여 추정하였으며 프랙탈 차원은 프랙탈 차원 1 알고리즘[9]을 사용하였다. 최종적으로 추정된 전력스펙트럼으로부터 자율신경계의 활동을 반영하는 지표를 계산한다. 일반적으로 심박변동신호에 대하여 세가지 주기 성분이 정의되었다. 첫째는 0.2Hz에서 0.4Hz 사이의 호흡 활동과 관련이 있는 고주파 성분(이하 HF 성분), 둘째로는 혈압조절 메카니즘과 관련이 있으며, 'Mayer wave'라고 알려진 0.1Hz를 중심으로 하는 저주파 성분(이하 LF 성분)이며, 셋째로 체온조절, 혈관운동, 다양한 심폐 메카니즘과 관련이 있을 것으로 생각되는 0.04Hz 근방의 초저주파 성분(이하 VLF 성분)이다. 일반적으로 LF 성분은 혈압조절을 담당하고 있는 압수용체반사(baroreflex)와 관련이 있으며, 주로 교감신경의 활동도를 나타내는 반면, HF 성분은 호흡과 관련이 있으며 부교감신경중에서 특히 미주신경의 활동도를 반영하는 지표로 알려져 있다. Malliani[10]등은 약물실험을 통하여 부교감신경을 차단하였을 때, LF 성분과 HF 성분이 동시에 감소하지만 남아 있는 성분의 대부분이 LF 성분임을 근거로 LF 성분이 교감신경의 지표이고 균형비의 중요성을 강조하였다. 따라서, 심박변동에 영향을 미치는 교감신경계와 부교감신경계의 활동 지표로서 LF 성분과 HF 성분의 상대적 전력을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 DC 성분 및 VLF 성분은 주기가 매우 긴 초저주파 성분이므로 본 연구에서 사용한 레코드 길이로는 분석이 불분명하며, 생리학적 메카니즘 역시 명확하지 않기 때문에 본 연구에서 제거하였다. 본 논문에서는 식 (1)과 같이 각 전력 성분을 전체 전력 P_{Total} 에서 VLF 성분 P_{VLF} 를 뺀 나머지 값으로 나누어 정규화하였다.

$$NP(f) = \frac{P(f)}{P_{Total} - P_{VLF}} \quad (1)$$

$$LF_N = \int_{0.5}^{1.5} NP(f) df \quad (2)$$

$$HF_N = \int_{2.0}^{3.0} NP(f) df \quad (3)$$

식 (1)에 의하여 정규화된 전력을 가지고 정규화된 LF 성분(이하 LF_N 성분)과 정규화된 HF 성분(이하 HF_N 성분)을 식 (2)(3)과 같이 계산하였다. 본 논문에서는 여기서 계산된 성분을 교감신경계의 활동도를 나타내는 지표로, 성분을 부교감신경계의 활동도를 나타내는 지표로 사용하였다.

결과 고찰

본 실험에서는 젊고 건강한 남/여성 피검자 24명을 대상으로 틸트테이블 각도를 0°, 15°, 30°, 45°, 90°로 세분화시켜 직립부하를 가함으로써 나타나는 심박변동신호의 변화 추이를 관찰 하였다. 그림 1은 24세 여성 피검자의 점증적 각도 변화에 따른 심박변동신호의 변화를 나타낸 것이다. 안정시에도 심박동은 끊임없이 변동되고 있으며, 각도에 따라 HF 성분은 감소하고 LF 성분은 증가함을 알 수 있다.

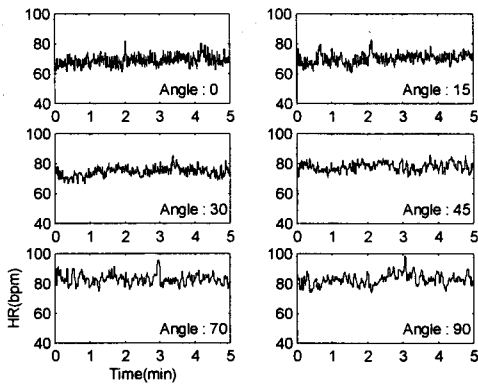


그림 1 점증적 각도 변화에 대한 심박변동신호
Fig. 1 HRV signal for the graded tilt

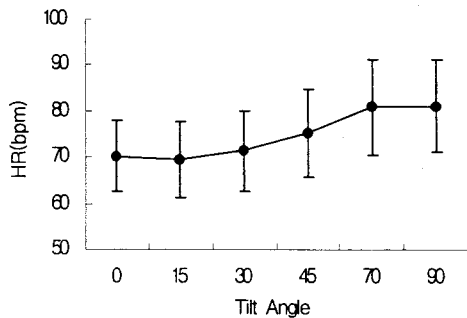


그림 2 평균 심박동수의 변화
Fig. 2 Changes of heart rate

평균 심박동수는 그림 2에서 보는 바와 같이 각도의 증가에 따라 전체적으로는 증가하는 경향을

보인다. 그러나 15°에서는 평균 심박수가 약간 감소하는 경향이 있고 30°까지는 완만한 증가를 보이다가 45°부터는 70°사이에서 급격한 증가를 나타낸다. 70°와 90°사이에는 큰 변화가 없었으나 평균적으로 70°에서 심박수가 약간 높게 나타남을 관찰 할 수 있다.

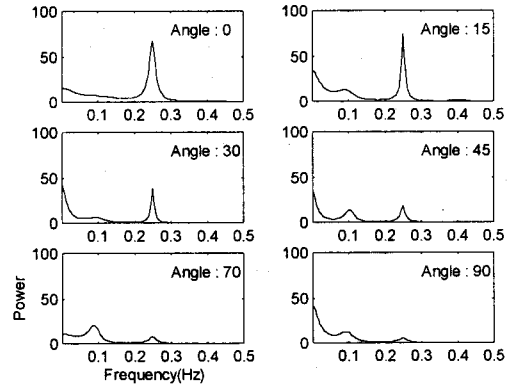


그림 3 심박변동신호의 전력스펙트럼의 변화
Fig. 3 Changes of HRV power spectrum

그림 3은 그림 1에 나타난 심박변동신호의 변화에 대한 전력스펙트럼을 나타낸 것이다. 각도의 증가에 따라 LF 성분은 증가하고 HF 성분은 감소하는 모습을 나타낸다.

그림 4에 나타난 바와 같이, LF_N 성분은 30°에서 70°사이에는 뚜렷한 증가를 나타내지만 0°와 15°, 70°와 90°사이에 큰 변화가 없었다.

그림 5에 나타난 바와 같이, HF_N 성분은 0°에서 70°까지는 뚜렷한 감소를 나타내지만 70°에서는 90°보다 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

그림 6은 프랙탈 차원을 살펴 본 것으로 각도의 증가에 따라 전체적인 감소 추세는 보이지만 45° 이상의 각도에서는 감소율이 둔화되고 오히려 70°에서 최소값을 나타내었다.

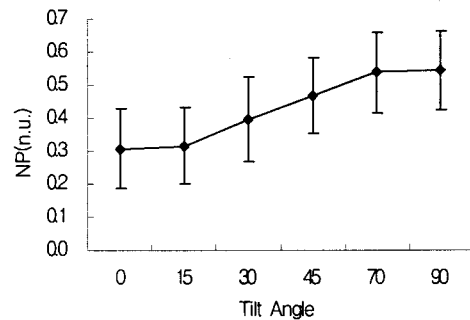


그림 4 LF_N 의 변화
Fig. 4 Changes of LF_N

이와 같은 결과는 직립부하의 증가에 따른 교감신경계 활동의 항진(LF_N 의 증가)과 부교감신경계 활동의 감소(HF_N 의 감소)로 인해 자율신경계의 평형면에서 교감신경계 활동의 우위가 초래되고, 이와 같은 교감신경계 활동의 우위가 심박수의 증가에 관여함을 의미한다.

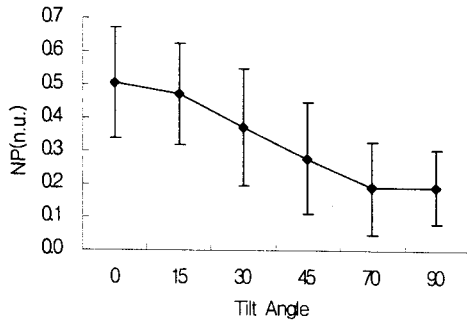


그림 5 HF_N 의 변화
Fig. 5 Changes of HF_N

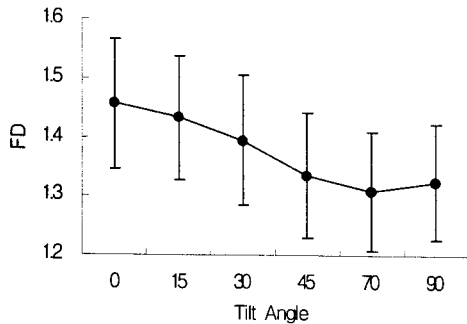


그림 6 프랙탈차원의 변화
Fig. 6 Changes of fractal dimension

결론

본 연구에서는 틸트테이블의 각도를 세분화 하여 자세에 따른 심박변동 신호의 변화를 살펴보았다. head-up tilt와 같은 직립부하는 자율신경계의 평형면에서 교감신경계의 우위(교감신경계의 증가와 부교감신경계의 감소)를 초래하였다. 이와 같은 결과는 자율신경계가 직립부하로 인한 심혈관계의 교란에 대해 심혈관계의 항상성을 유지하기 위해 중요한 역할을 수행함을 의미한다.

그림 1에서 알 수 있듯이 심혈관계는 변화된 자세에 민감하게 작용하여 빠른 시간내에 적응함을 알 수 있다. 또한, 심박수, HF_N , 프랙탈 차원의 변화 추이로부터 70° 상태에서의 직립부하가 일상생활에서 적응된 기립상태에서 보다 더 큼을 알 수

있다.

따라서 이와 같은 결과로부터 심박변동 신호를 이용하여 자율신경을 평가하기 위한 직립부하 프로토콜을 다음과 같이 제안하였다. 안정 상태인 0°와 직립부하 상태인 70°에서 각 5분간의 데이터를 수집하여 분석함으로써 자율신경의 활동 및 변화를 관찰할 수 있다. 또한, 호흡을 분당 15회 (0.25 Hz)로 조절함으로써, 각 피검자의 호흡률은 개인적인 차이에 의한 오차를 줄이고 HF 영역과 LF 대역이 겹치는 것을 방지해 줌으로써 자율신경 활동에 대한 정확한 평가를 가능하게 해준다.

참고문헌

1. 김승현, 김희태, 김주한, 정경천, 김명호, "좌우측 대뇌병변과 Heart rate variation을 이용한 자율신경계 기능과의 관계", 대한신경과학회지, Vol.6, pp.49-53, 1988
2. S. Mukai, J. Hayano, "Heart Rate and Blood Pressure Variabilities during Head-up Tilt", J. of App. Physiology, Vol.1, pp.212-216, 1995
3. G.C. Butler, Y. Yamamoto, R.L. Hughson, "Heart rate variability to monitor autonomic nervous system activity during orthostatic stress", J.Clin.Pharmacol, Vol.34, pp.558-562, 1994
4. Rory S. Jaffe, Dennis L. Fung, Kendra H. Behrman, "Optimal frequency ranges for extracting information on autonomic activity from the heart rate spectrogram", J. Autonomic nervous system, Vol.46, pp.37-46, 1993
5. 정석현, 이정환, 이병채, 이명호, "시간 지연 2차원 좌표계를 이용한 실시간 QRS 검출에 관한 연구", 대한의용생체공학회 춘계학술대회 논문집, Vol.17, No.2, pp. 277-280, 1995
6. K.S. Shin, H. Minamitani, M.H. Lee, "A new algorithm for obtaining an evenly-spaced heart rate variability signal from a cardiac event series", KITE Journal, Vol.6, No.2, pp.40-49, 1995
7. S.M. Kay, S.L. Marple, "Spectral analysis - a modern perspective", Proc. IEEE, Vol.69, pp.1380-1419, 1981
8. S.L. Marple : Digital spectral analysis with applications. Prentice-hall, 1987
9. 이병채, "카오스 이론을 이용한 생체 비선형 동역학 시스템의 특성 해석", 연세대학교 대학원, 박사학위 논문, 1995
10. A. Malliani, M. Pagani, F. Lombardi, S. Cerutti, "Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain", Circulation, Vol.94, pp.482-492, 1991
11. Kunsoo Shin, "The study on power spectral analysis of heart rate variability for assessment of autonomic functions in cardiovascular control", Keio University, The Ph.D. Dissertation, 1995