

CDM 방법에 의한 실신 환자의 심박동수 변화율 특성에 관한 연구

이동준*, 이정환, 이준영, 김한수, 이명호
연세대학교 전기·컴퓨터 공학과

A Study on the Characteristic of Heart Rate Variability of patients with Vasovagal Syncope by Complex Demodulation Method

Dongjoon Lee*, Jeongwhan Lee, Joonyoung Lee, Hansoo Kim, Myoungho Lee
Dept. of Electrical and Computer Engineering

Abstract - In this paper, complex demodulation method to access the dynamic autonomic nervous system characteristic of patients with syncope is proposed. Assessment of heart rate variability using conventional power spectral analysis such as FFT or AR-modeling could not capture a split change occurrence. However, in this paper, these changes are seen and by using Complex Demodulation Method(CDM) autonomic nervous system function assessments of patients with vasovagal syncope were verified and suggested.

1. 서 론

인체의 심혈관계는 항상성을 유지하기 위해 외부 자극에 대하여 연속적으로 변화한다. 그러나 외부 자극에 대해 적절히 변화하지 않는다면 각종 자율신경 계통의 질환을 앓게 된다. 본 연구에서는 그 중 실신환자를 대상으로 실험 및 고찰하였다. 실신의 원인은 사람에 따라 다양하나 실신을 경험한 사람의 반 정도는 분명한 심혈관계의 원인에 의해 발생한다. 신경학적 관점의 징후나 증거가 없는 상황하에서는 신경학적 면에서 실신의 원인을 찾기는 힘들다. 심장구조적 질환이 발생하면 실신은 역학적 혹은 전기적 심장병 발생의 증거가 된다. 심장 구조적 질환이 없는 경우에는 심혈관계의 잘못된 반사 작용이 실신의 원인이 된다. 결국 실신을 일으키는 대부분의 원인은 혈압의 극적인 감소를 초래하고 그로인해 실신이 발생하게 되며, 이 것에 대한 특성을 고찰하고자 한다.

기존의 FFT나 AR 모델링과 같은 전력스펙트럼 분석법에 의한 자율신경 기능 평가 방법들은 일정 구간의 통계처리에 따라 결과가 나오기 때문에 순간의 변화하는 성분들은 무시된다. 따라서, 본 연구에서는 이 연속적인 시간대의 변화를 볼 수 있음은 물론 짧은 순간의 변화를 볼 수 있는 분석법들 중 하나인 Complex Demodulation Method(CDM)를 이용한 실신 환자의 자율신경 기능 평가 방법을 제안하였다.

CDM은 분석구간의 시계열 데이터를 안정적이라고 가정하는 스펙트럼 분석법의 약점을 보완하기 위하여 심박변동 각 성분의 주파수와 진폭의 변화를 시간의 함수로서 연속적으로 나타낸다. 다만 시간 영역의 분석법에 공통하는 특징으로, CDM은 주파수 영역의 정보를 직접 분석하는 능력을 가지지는 않는다. 그 때문에, CDM에서는 분석해야 하는 성분의 주파수 범위를 지정할 필요가 있다. 자율신경계의 교감 신경계와 부교감 신경계의 활동정보로서 LF 성분(0.04~0.15Hz)과 HF 성분(0.15~0.45Hz)이 존재하며, 그 중심 주파수는 일반적으로 각각 0.095Hz와 0.25Hz로 알려져 있다. 그러나 사람에 따라 그 중심주파수는 다소의 차이가 발생하므로, 본연구에서는 획득한 심박변동 신호의 AR 전력스펙트럼에서 얻은 결과에서 LF 대역과 HF 대역의 극점을

찾아 중심 주파수로 사용하였다. 그러므로 이 중심주파수의 일정 대역에 대하여 CDM 방법을 적용시키면, 시간에 따른 교감신경과 부교감신경의 활동을 알 수가 있다.

따라서 본 연구에서는 심혈관 측정장치를 통하여 획득한 미주신경성 실신환자의 데이터를 제안된 CDM 방법을 통해 프로세싱하여 각 환자의 자율신경계의 변화를 관찰하고, 실신의 원인을 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 CDM의 개념과 기본 알고리즘

CDM은 시-주파수 영역의 비선형적 시계열 분석 방법들 중 하나로써, 시간에 대한 특정 주파수 성분의 크기와 위상의 시간적 변화를 제공하는 분석 방법이다. [9][10] 신호를 CDM 방법에 의해 처리하면, 신호 성분중 우리가 보고자 하는 부분의 주파수 대역은 대역내 스펙트럼 영역의 중심 주파수에 해당하는 complex sinusoid 함수를 원 신호에 곱해줌으로써, 제로 영역으로 이동한다. 이 결과로 복조되어진 신호는 저역통과 필터에 의해 필터링 되고, f_0 에서, 시간에 대한 함수로서 크기와 위상을 나타내기 위해 극형식으로 변환된다. CDM에 의한 신호의 위상과 크기의 변화는 각각 특정 주파수 f_0 부근의 신호의 변동을 나타낸다. 다음의 그림 1은 심박변동 신호에서 교감신경계의 중심주파수와 부교감 신경계의 주파수를 곱해 교감신경계의 활동 지표인 LF 성분과 부교감 신경계의 활동 지표인 HF 성분의 변화를 추정해 나가는 과정을 나타낸 것이다.

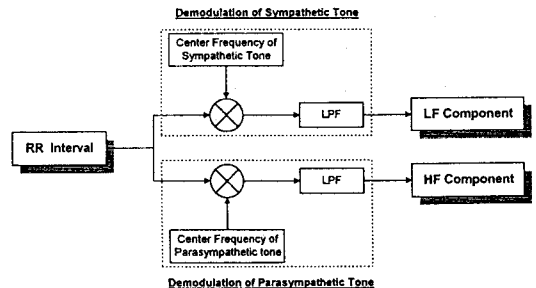


그림 1. Complex Demodulation 방법의 블록선도

이 과정을 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$x(t) = A_c O(t) \cos(2\pi f_c t) \times \cos(2\pi f_c t) \\ = A_c O(t) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(4\pi f_c t) \right)$$

$$= \frac{A_c}{2} \alpha(t) + \frac{1}{2} A_c \alpha(t) \cos(4\pi f_c t)$$

여기에서, $\alpha(t)$ 는 중심 주파수에 실려있는 신호를, f_c 는 캐리어 신호의 주파수를 나타낸다. 그 다음에 $x(t)$ 는 저역통과 필터를 거치게 되면,

$$y(t) = \frac{A_c}{2} \alpha(t)$$

만 남게되며, $y(t)$ 는 원 신호의 진폭을 나타내게 된다.

2.2 테스트 신호에의 적용

CDM 방법의 검증을 위해서는 시간별로 주파수에 따라 크기가 다른 신호를 생성시켜, 그 신호의 중심주파수를 demodulation 시켜 그 경향을 고찰할 필요가 있다. 보통의 심박 변동 신호의 특성을 찾기 위한 기립경사도 실험의 경우 안정상태에서 직립 부하 상태, 그리고 다시 안정 상태의 3단계로 구분해서 자율신경계의 활동의 변화를 측정하게 된다. 이 경우 1단계에서는 HF 신호의 크기가 크고, 2단계에서는 LF 신호의 크기가 크며, 3단계에서는 HF 신호가 크다. 그러므로 본 연구의 테스트 신호는 이와 비슷한 상태이면서, 확실하게 주파수 구분이 가능하도록 HF의 중심주파수 성분을 가진 신호가 LF의 중심주파수 성분을 가진 신호보다 진폭이 큰 단계(0~300)와 LF의 중심주파수의 진폭이 더욱 큰 단계(301~700), 마지막으로 1단계와 같은 신호(701~1000)로 3단계로 구분하였다.

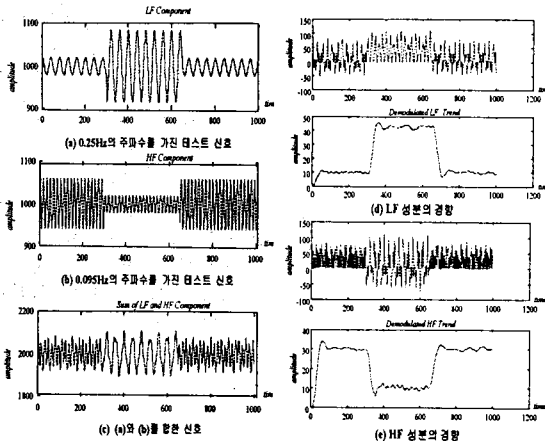


그림 2. 테스트 신호와 CDM 방법을 통해 분석한 각각의 성분에 대한 경향

그림 2는 테스트 신호와 CDM을 적용했을 때의 LF 성분과 HF 성분의 경향을 나타낸 것이다. 이 그림을 보면 (d)의 경우는 LF 성분이 활성화된 부분을 보여주고 있으며, (e)의 경우에는 HF 성분이 활성화된 부분이 잘 나타나 있다. 그러므로 CDM 방법이 심박 변동 신호에 적용시켰을 때의 유용성을 알 수 있다.

2.3 CDM을 이용한 실신회자의 HRV 특성 고찰

본 연구에서는 1997년 5월 부터 1998년 8월까지 1년여 동안 삼성의료원 내과 가정 의학과에 실신 혹은 실신 전 단계의 증상을 이유로 내원한 환자들을 대상으로 제작한 심혈관 분석 시스템을 이용하여 데이터를 획득하였다. 환자들 중 병력, 이학적 검사 등에서 혈관 미주

신경성 실신에 맞지 않거나, 실신의 원인이 되는 다른 분명한 이상 소견이 관찰되거나, 검사 시 심혈관계에 이상을 줄 수 있는 약제를 복용하였거나, 또는 아이소프로테레놀 정주를 하지 않은 경우들을 제외한 68명을 연구 대상으로 하였다. 또한 이들 환자군과 비교 검토 할 수 있는 비교군으로써 혈압이 정상이고 평소 다른 질병이 없고 가슴 두근거림이나 과거 실신의 병력이 없는 신체 건강한 사람 19명을 택하여 역시 같은 조건하에서 기립경사도 검사를 시행하였다. 검사는 서울 삼성의료원 기립경사도 검사실에서 같은 시간대에 조용하고 약간은 어두운 상태 즉 환자가 외부 상황에 따른 영향을 받지 않는 환경에서 시행하였다. 68명의 환자들 중에서 38명의 환자가 기립 경사도 검사에서 양성반응을 나타냈고 30명의 환자는 음성반응을 나타냈다.

2.3.1 기립경사도 검사 프로토콜

모든 기립경사도 검사는 환자가 심혈관계에 영향을 줄 수 있는 약제를 중단하고 급속한 상태에서 오전(8시에서 11시 사이)에 시작하였다. 실신 환자들은 검사 시 실신으로 인해 의상을 입을 수 있기 때문에 의상 방지를 위해 환자 몸 주위로 안전 벨트를 하였다. 그 후 대상 환자의 몸에 12-유도 심전도를 붙이고, 수은식 혈압계를 부착시킨 후 누운 상태의 혈압과 심박동수를 측정하였다. 또한 기립성 저혈압을 배제하기 위해 수액을 계속 주입하면서 검사를 시행하였다. 사용된 기립경사도 검사 프로토콜을 표 1과 같다.

표 1. 기립경사도 검사 프로토콜

Step	Position	Time	Description
1	Supine	10 min	Resting State
2	70° tilted	10 min	Tiling 직후
3	70° tilted	10 min	약물 투여 직전
4	70° tilted	5 min	아이소프로테레놀 정주
5	Supine	10 min	Resting State

기립 경사도 검사 중 (1) 양성 반응 (2) 환자가 이소프로테레놀에 대한 못견디는 현상이 일어나거나, (3) 심박동수 > 150회/분 (4) 이소프로테레놀 5 μ g와 같은 끝점에 도달하면 즉시 환자의 기립 경사도 검사 테이블을 수평으로 내리고 안정 된 상태에서 10분 정도 환자의 혈압, 심박동수 및 심전도를 관찰 한 후 검사를 종료하였다. 여기서 (1), (2)를 양성 반응 (3), (4)를 환자의 경우는 음성반응, 대조군인 정상인군으로 분류하였다.

2.3.2 결과 고찰

일반적으로 사람이 안정상태에 있을 때에는 자율신경계 중에서 부교감신경의 활동이 교감신경의 활동에 비하여 더 우세하고 사람에게 직립부하와 같은 과도한 스트레스가 가해지는 상황에서는 부교감 신경계의 활동에 비하여 교감신경의 활동이 더 우세하다. 따라서 안정시에는 심박동수가 적지만 직립부하와 같은 상황에서는 심박동수가 급격히 증가하게 된다. 그러나 본 논문에서 연구 대상으로 삼은 미주 신경성 실신 환자의 경우에는 기립경사도 검사와 같은 직립 부하 스트레스 상황에서는 일반적인 사람과는 달리 오히려 부교감신경계(미주신경)가 항진되어 자율신경계가 비정상적으로 반응하여 실신이 유발되는 것이다. 이와 같은 사실은 각종 전력 스펙트럼 분석법들에 의하여 밝혀질 수 있으며, CDM 방법에서는 순간의 항진되는 모습과 이소프로테레놀 정주의 호흡 곤란과 혈압의 강하에 따른 교감 신경계의 흥분 등이 자세히 나타나는 것을 볼 수 있다. 기립경사도 검사

수행시 일반적인 3단계 검사에서는 실신환자를 구분해 낼 수는 없었으며, 아이소프로테레놀 정주가 있는 4단계에서 실신 양성반응 환자, 실신 음성반응 환자, 정상인의 구분이 가능하였다. 이에 대한 결과는 그림 3과 같다.

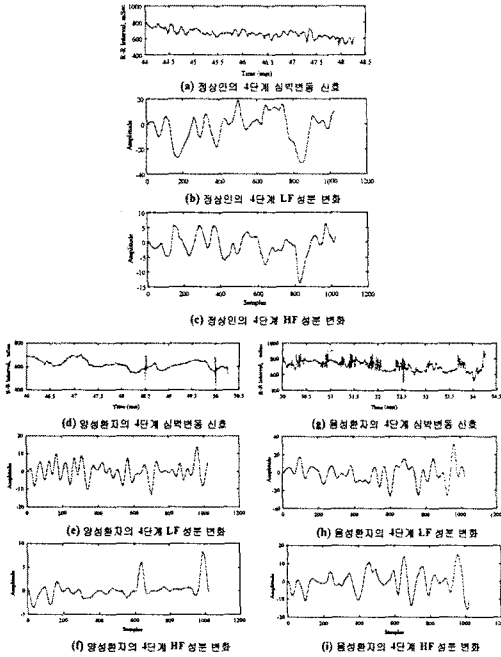


그림 3. 각각의 그룹에 대한 아이소프로테레놀 정주시 LF, HF 성분의 경향

그림 3.(b)와 그림 3.(e)를 비교해 보면 실신양성 환자의 경우는 정상인의 경우보다 LF 성분이 짧은 시간에 걸쳐 작은 전력 성분을 포함하고 일어나는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 4.10(b)와 그림 4.14(h)를 비교해 보면 실신음성 환자의 경우 실신양성 환자보다는 LF 성분이 큰 전력성분을 포함하고 나타나지만, 정상인에 비해서는 상당히 작은 전력임을 알 수 있다.

이 결과를 통해 미주 신경성 실신 환자의 경우는 교감 신경이 흥분되는 상황에서, 교감신경계가 정상인 보다 강한 부교감 신경계의 항진에 의해 활동도가 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 실신 음성반응 환자는 본 실험에서의 자극보다 강한 자극을 받을 경우에는 정상인보다 강한 부교감 신경계의 항진에 의해 실신이 일어날 가능성을 내포하고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 심혈관계에 작용하는 자율신경계의 호라동을 시간에 따른 주파수 성분의 변화를 볼 수 있는 CDM 방법을 제안하고, 실신 환자의 기립경사도 검사를 통한 자율신경계의 평가에 적용하였다. 그리고 적용한 프로토콜 중 아이소프로테레놀 정주가 시행되는 4단계 구간에서 실신 양성반응 환자, 실신 음성반응환자, 정상인의 차이점을 찾을 수 있었다. 실신 양성반응 환자의 경우는 약물 정주시 교감신경의 활동이 매우 짧은 순간에 계속해서 일어나지만 정상인과 비교할 때 전력이 크지 않았고, 이는 교감신경 흥분에 따른 부교감신경의 이상항진이 일어나고 있음을 간접적으로 보여주는 것이다.

그리고 실신 음성반응 환자의 경우에는 약물 정주시 교감신경의 활동이 양성반응 환자의 경우보다는 긴시간에 걸쳐 나타나지만 정상인과 비교할 때는 훨씬 짧은 순간에 걸쳐 일어남을 알 수 있다. 그러므로 음성반응 환자의 경우는 본실험보다 더욱 강한 자극을 받았을 때는 실신이 유발될 가능성이 있음을 알 수 있다.

자율신경계의 활동에 대한 분석은 미주 신경성 실신 뿐 아니라 다른 여러 심혈관 질환을 예측 할 수 있다. 그리고 현재에 와서는 측정과 동시에 그 결과를 볼 수 있는 실시간 심혈관 처리 시스템의 필요성이 높고 있다. 그러므로 본 연구에서 제안한 CDM 방법을 이러한 시스템에 적용시킨다면, 환자와 정상인의 비교를 용이하고 빠르게 함으로써 응급시스템 및 자율신경계 이상 환자의 24시간 감시 장치 등에의 응용에 유용할 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] S. Akselrod, F. A. Ubel, D. C. Shannon, A. C. Barger and R. J. Cohen, "Power spectrum analysis of heart rate fluctuations : a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control", Science, Vol. 213, pp. 220-222, 1981
- [4] 정기삼, 신진수, 안준, 전중선, 김준수, 박창일, 이명호, "Head-up Tilt 상태에서 심박변동과 자율신경활동 균형의 관계에 관한 연구", 의공학회지, Vol.18, No. 1, pp. 37-44, 1997
- [9] Kim, S. Y, Euler, D. E. "Baroreflex Sensitivity Assessed by Complex Demodulation of Cardiovascular Variability" Hypertension Vol 29 Issue 5, pp. 1119-1125, 1997
- [10] Lipsitz, L. A, Hatano, J., Sakata, S., Okada, A., Morin, R. J., "Complex Demodulation of Cardiorespiratory Dynamics Preceding Vasovagal Syncope", Circulation Vol 98 Issue 10, pp. 977-983, 1998