

시-주파수 분석을 이용한 심실세동시 심전도 분석을 통한 제세동 예측에 관한 연구

論 文
55D-4-7

Prediction of Defibrillation Success of Ventricular Fibrillation ECG Signals using Time-Frequency Analysis

成 洪 模* · 申 在 佑* · 李 賢 淑** · 黃 成 悟*** · 尹 永 老†

(Hong-Mo Sung · Jae-Woo Shin · Hyun-Sook Lee · Sung-Ho Hwang · Young-Ro Yoon)

Abstract - The purpose of this study is to predict the defibrillation success of a ventricular Fibrillation ECG signal using time-frequency analysis. During CPR, coronary perfusion pressure and electrocardiogram were measured. Parameters extracted from time-frequency domain were served as predictor of resuscitation success. Time frequency distribution(TFD) of ECG signals was estimated from the smoothed pseudo Wigner-Ville distribution(SPWVD). Median frequency, peak frequency, 1/f slope, frequency band ratios(2~4Hz, 4~6Hz, 6~8Hz, 8~10Hz, 10~12Hz, 12~15Hz) were extracted from each TFD as function of time. Paired t-test was used to determine the differences in ROSC and non-ROSC groups. In the statistical results, we selected four significant parameters - median frequency, 1/f slope, 2~4Hz band ratio, 8~10Hz band ratio. We made an attempt to predict defibrillation success by combining features extracted from time frequency distribution. Independent t-test was used to determine the differences ROSC and non-ROSC groups. Consequently, we selected four significant parameters - median frequency, 1/f slope, 2~4Hz band ratio, 8~10Hz band ratio. The relationship between coronary perfusion pressure and ECG parameters was analyzed with linear regression analysis. R-square value was 55%. 1/f slope and 8~10Hz band ratio had the significant relationship with coronary perfusion pressure.

Key Words : Ventricular Fibrillation, Time-Frequency Analysis, Defibrillation Success, Clustering Analysis

1. 서 론

심실세동(ventricular fibrillation: VF)이 발생하면 심장의 전기적 활동이 제대로 이뤄지지 않으며 혈액공급이 중단되어 급성심장사의 원인이 되며 소생(return of spontaneous circulation: ROSC) 성공률은 심실세동 경과시간과 반비례 관계를 가지게 된다[1-4].

제세동 성공을 가장 정확하게 예측할 수 있는 지표는 관상동맥관류압(coronary perfusion pressure: CPP)과 심근혈류량(myocardial blood flow: MBF)으로 알려져 있다[5]. 그러나 이러한 혈액학적인 값들은 심장과 혈관 내에 카테터를 삽입해야 측정이 가능하므로 병원 밖에서나 응급상황에서는 측정하기 어렵다. 따라서 비관혈적인 방법으로 제세동에 대한 성공여부를 예측하기 위해서 심실세동시의 심전도를 측정하고 분석하는 방법들이 제안되어 왔다[6][7].

푸리에 변환을 기반으로 하는 주파수 영역의 해석은 처치 효과에 대한 즉각적인 반응이나 시간에 따른 신호의 특징을 나타낼 수가 없다는 단점을 가지고 있다. 반면, 시-주파수 분석방법은 시간에 따른 신호의 주파수 성분을 볼 수 있다는

장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 기존 연구에서 사용된 중간주파수, 최고주파수, 1/f 기울기 외에 주파수 대역의 구간비율을 구하여 제세동 예측에 이용하였다. 주파수 대역의 구간비율은 2~15Hz 구간을 2Hz 단위로 구분하여 전체 파워스펙트럼의 면적에 대한 비율을 구한 것이다.

본 논문에서는 시-주파수 영역에서 여러 가지의 파라미터를 추출한 다음 통계적 검증을 거쳐 유효한 파라미터들을 선정하고 관상동맥관류압과의 상관관계 분석과 회귀분석을 통하여 유의성을 검증하였으며 제세동 성공을 가장 빠르게 예측할 수 있는 파라미터를 찾고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시-주파수 분석

푸리에 변환의 기본 개념은 신호를 가중 사인함수의 합으로 분해하여 신호의 주파수 성분을 나타내는 것으로 불안정 특성을 가진 신호나 짧은 시간에 발생하는 급격한 변화 등을 감지할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Gabor 전개식(Gabor Expansion), 웨이블릿(Wavelet), Short Time Fourier Transform (STFT) 등의 분석기법들이 개발되고 사용되고 있다. 심실세동시의 심전도는 매우 불안정하고 그 특성이 시간에 따라 빠르게 변화하는 생체신호로 시-주파수 분석 방법을 적용하기에 적합하다.

Wiener-Khinchin 정의에 의하면 파워스펙트럼은 상관함수(correlation function)의 푸리에 변환으로 식 (1)과 같다

† 교신저자, 正會員 : 延世大學 醫工學科 教授 · 工博
E-mail : yoon@dragon.yonsei.ac.kr

* 正會員 : 延世大學 醫工學科 工博

** 正會員 : 尙志大學 韓方醫科工學科 副教授 · 利博

*** 正會員 : 延世大學 基督病院 應急醫學科 副教授 · 醫博

接受日字 : 2005年 9月 5日

最終完了 : 2006年 1月 26日

$$P(\omega) = |X(\omega)|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (1)$$

여기서 상관함수 $R(\tau)$ 는 $x(t)x^*(t-\tau)$ 의 평균값으로 식(2)와 같이 정의되며 전체 시간에 대한 적분값으로 시간에 대한 정보를 알 수가 없다.

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x^*(t-\tau) dt \quad (2)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} x(t+\frac{\tau}{2})x^*(t-\frac{\tau}{2}) dt = \int_{-\infty}^{\infty} R(t, \tau) dt$$

주파수 성분의 시간에 대한 변화를 알아보기 위해서 식(2)에서 $R(\tau)$ 항에 시간 변수 t 를 첨가하여 $R(t, \tau)$ 으로 치환하면 특정 시간대에 대한 신호의 주파수 성분을 얻을 수 있으며 이는 식(3)의 Wigner-Ville Distribution(WVD)으로 정의된다.

$$WVD(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(t, \tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

그러나 WVD의 문제점은 두 개 이상의 서로 다른 주파수 성분을 가진 신호가 있을 때에 교차 간섭현상(cross-term interference)으로 인한 교차성분(cross-term)이 생긴다는 것이다.

교차성분은 자기성분에 비해서 고주파 성분으로 나타나게 되므로 이를 제거하기 위해서 시간과 주파수 축으로 이차 저대역 통과필터(2D low pass filter: $\Phi(\mu, \tau)$)를 식(4)과 같이 WVD에 적용하게 된다.

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\mu, \tau) WVD(t-\mu, \omega-\tau) d\mu d\tau \quad (4)$$

위의 식은 다음과 같이 표현되며 Cohen은 이를 정리하여 Cohen's class 라고 정의하였다[11-14].

$$C(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(t-\mu, \tau) x(\mu+\frac{\tau}{2})x^*(\mu-\frac{\tau}{2}) d\mu d\tau \quad (5)$$

식(5)의 $\Phi(t, \tau)$ 함수는 커널함수(kernel function)라 하며 교차성분을 제거하는 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 SPWVD(Smoothed Pseudo Wigner-Ville Distribution)방법을 이용하였는데 이 방법은 시간과 주파수 축에 각각 독립적인 윈도우를 취하여 간섭현상을 제거하는 것으로 윈도우 길이나 종류에 선택에 따라 신호의 특징에 맞는 필터링의 구현이 가능하며 계산속도도 빠른 장점을 가지고 있다. SPWVD에 사용되는 커널은 식(6)와 같이 정의된다.

$$\Phi_{SPWVD}(\tau, \mu) = \Phi_h(\tau)G(\mu) \quad (6)$$

2.2 데이터 수집

체중 21-30kg 사이의 개를 실험동물로 사용하였다. 마취 후 기관 내 삽관을 시행하고, 인공호흡기를 이용하여 분당 20회의 속도로 인공호흡을 하였다.

그림 1에는 심전도와 혈액화 데이터 측정을 위한 전극부착 위치를 나타내었다. 전극 부착 및 도자의 삽입이 완료되면 약 10분간 실험동물을 안정시켰다. 10분이 경과하면 심전도, 대동맥압, 우심방압, 호기말 이산화탄소(end-tidal CO₂)

등의 기준 데이터를 측정 한 후 심실세동을 유발하고 실험을 시작하였다.

심실세동은 우심실에 삽입되어 있는 심박조율 도자를 이용하여 60Hz의 교류(60volt, 30mA)를 인가하여 유발시켰다. 측정 장비의 화면에 심실세동 파형의 출현과 대동맥압의 파형이 소실되는 것으로 심실세동 유발을 확인하였다.

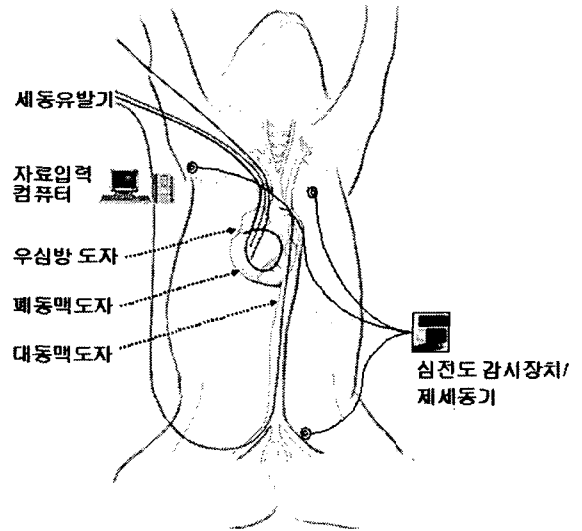


그림 1. 데이터 측정을 위한 전극 부착
Fig. 1 Attachment of electrodes for acquiring data

실험은 다음과 같이 진행하였다. 에피네프린을 심실세동 유발 후 4분과 7분후에 각각 1mg을 투여하였다. 심실세동 유발 후에 6분 동안 자동심폐소생술기(Automatic mechanical resuscitator, Thumper, Michigan Instruments, USA)를 이용하여 표준 심폐소생술을 실시하였다. 흉부압박은 분당 80회로 하였고 압박과 이완의 비율은 50:50을 유지하였다. 두 번의 에피네프린 투여와 6분 동안의 심폐소생술 후에는 제세동을 가하였다. 그림 2에 심실세동 유발 후의 전체 실험과정을 나타내었다.

실험하는 동안 심전도, 대동맥압, 우심방압을 측정하였는데 데이터 획득은 ADInstrument사의 MacLab 장비를 이용하여 측정하였으며 샘플링율은 400Hz, 분해능은 16bit로 하였다. 측정된 심전도는 시-주파수 영역으로 변환한 후 파라미터들을 추출하였고 우심방압과 대동맥압을 이용하여 관상동맥관류압을 계산하였다. 실험은 모두 15회 실시하였는데 이 중 9마리는 소생에 실패하였으며 6마리는 소생에 성공하였다.

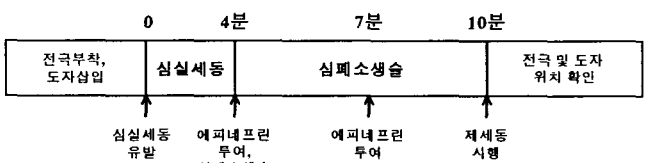


그림 2. 전체 실험 과정
Fig. 2 Whole process of experiment

관상동맥관류압은 제세동의 성공을 가장 직접적으로 알려주는 지표로 심폐소생술시 확장 구간에서의 대동맥압과 우심방압을 측정한 후 산술적인 차이를 구함으로써 얻어질 수 있다. 그림 3에는 심폐소생술시 측정된 대동맥압(aortic pressure: AOP)과 우심방압(right atrial pressure: RAP)의 파형을 나타내었다.

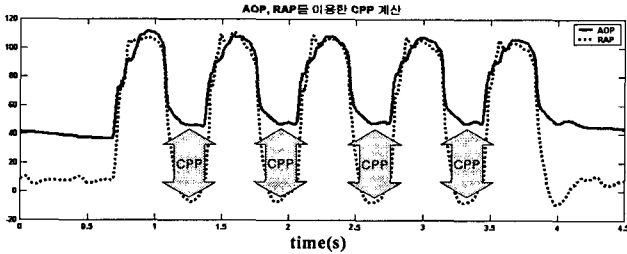


그림 3. 대동맥압(AOP)과 우심방압(RAP)을 이용한 관상동맥관류압 측정
 Fig. 3 Measurement of coronary perfusion pressure using AOP and RAP

2.3 시-주파수 영역에서의 파라미터 추출 및 평가

측정된 심전도는 심폐소생술 실시 구간(4:00~9:30)에서 330초 구간을 데이터 분석에 이용하였다. 전체적인 심전도 데이터 처리과정을 그림 4에 나타내었다.

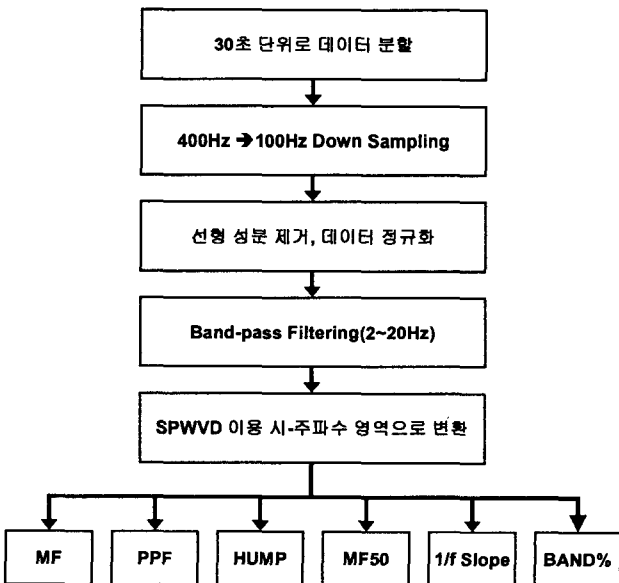


그림 4. 심실세동 심전도 분석을 위한 전처리 과정
 Fig. 4 Pre-processing for analyzing ventricular fibrillation ECG

330초의 데이터는 먼저 30초 구간으로 분할하여 11개의 구간 데이터로 분리하였다. 심실세동 데이터의 주요 성분들은 3~10Hz 분포되어 있으므로 불필요한 계산을 줄이고 노이즈 제거를 위해서 100Hz로 샘플링율을 낮춘 다음 FIR 필터를 사용하여 2~20Hz 대역 통과를 하였다.

본 연구에서 보고자 하는 것은 심실세동 데이터의 시간에 따른 변화이므로 시-주파수 영역으로 변환한 다음 그림 5의

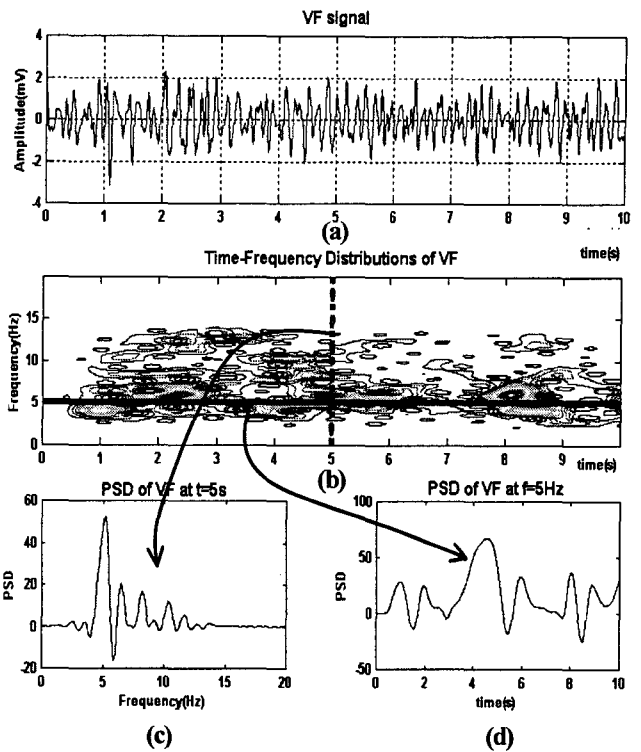


그림 5. 시-주파수 분석을 이용한 시간, 주파수 축에서의 신호의 변화
 (a) 심실세동 데이터
 (b) 데이터의 시-주파수 분포
 (c) 5초에서의 PSD
 (d) 5Hz 성분의 10초간의 변화

Fig. 5 Characteristics of signal in time and frequency domain using time-frequency analysis
 (a) Ventricular fibrillation data
 (b) Distribution of time-frequency
 (c) PSD on 5 seconds
 (d) Change of 5Hz component for 10 seconds

각 시간 단면에서 다음과 같은 파라미터들을 추출하였다.

- 중간 주파수 (median frequency: MF),
- 최고 주파수 (peak power frequency: PPF)
- 주파수 거칠기 (Hump)
- 중간주파수 이상 면적 (MF50)
- 1/f 기울기
- BAND% (2~4Hz, 4~6Hz, 6~8Hz, 8~10Hz, 10~12Hz, 12~15Hz)

중간주파수는 식(7)과 같이 정의되며 전체 면적의 중간 값을 갖는 주파수 값을 의미하고 최고 주파수는 식(8)와 같이 해당 파워스펙트럼 밀도에서 가장 큰 값을 갖는 주파수 성분으로 이전 연구들에서 가장 많이 사용된 파라미터이다 [8, 9, 10].

$$MF = \frac{\int_2^{15} f \cdot P(f) df}{\int_2^{15} P(f) df} \tag{7}$$

$$PPF = \arg \max [P(f)] \tag{8}$$

MF50은 중간주파수 이상 되는 주파수 성분들에 대한 파워스펙트럼 값의 면적을 구한 것으로 거친 심실세동일수록 높은 주파수 대역의 값이 많아지므로 전체 면적을 구하는 것 보다 심실세동의 상태를 잘 나타내 준다고 할 수 있다.

$$MF50 = \int_{f=MF}^{f=15} P \cdot f \quad (9)$$

어떤 영역대의 값이 심실세동 파형의 변화를 나타내지는지를 알아보기 위해서 전체 주파수 영역의 면적에 대한 2~4Hz, 4~6Hz, 6~8Hz, 8~10Hz, 10~12Hz, 12~15Hz 영역의 비율을 구하였다. 각 주파수 영역에 대한 비율 값은 BAND%(2~4Hz), BAND%(4~6Hz), BAND%(6~8Hz), BAND%(8~10Hz), BAND%(10~12Hz), BAND%(12~15Hz) 으로 표기하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 거친 심실세동과 약한 심실세동 분석

제세동 성공 예측에 관한 연구는 여러 측면에서 이루어졌는데 거친 심실세동(coarse VF)이 약한 심실세동(fine VF)에 비해서 소생 성공률이 높다는 것에서 시작한다. 거친 심실세동과는 약한 심실세동과에 비해서 크기가 크고 그 모양이 빠르게 변화하는 고주파 성분을 가지고 있다. 그림 6과 그림 7에는 제시한 여러 가지 파라미터들에 대해서 나타내었다. 중간주파수 이상의 합을 나타내는 MF50 과 주파수 기울기는 거친 심실세동에서 높은 값을 보였다. 그림 7에는 각 주파수 영역들이 전체 주파수 스펙트럼에서 차지하는 영역의 비율을 계산한 것이다.

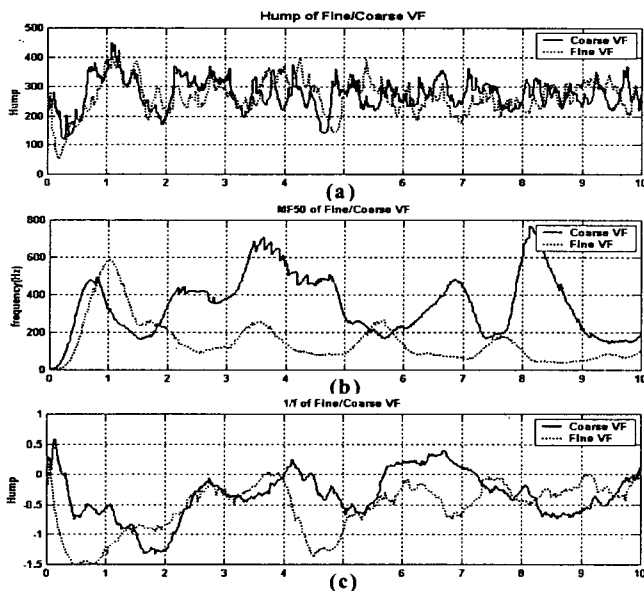


그림 6. 약한 심실세동과 거친 심실세동과 파라미터 비교
(a) 주파수면의 거칠기 (b) MF50
(c) 1/f 기울기

Fig. 6 Comparing parameters of fine ventricular fibrillation with coarse ventricular fibrillation
(a) Hump of frequency domain (b) MF50
(c) Slope of 1/f

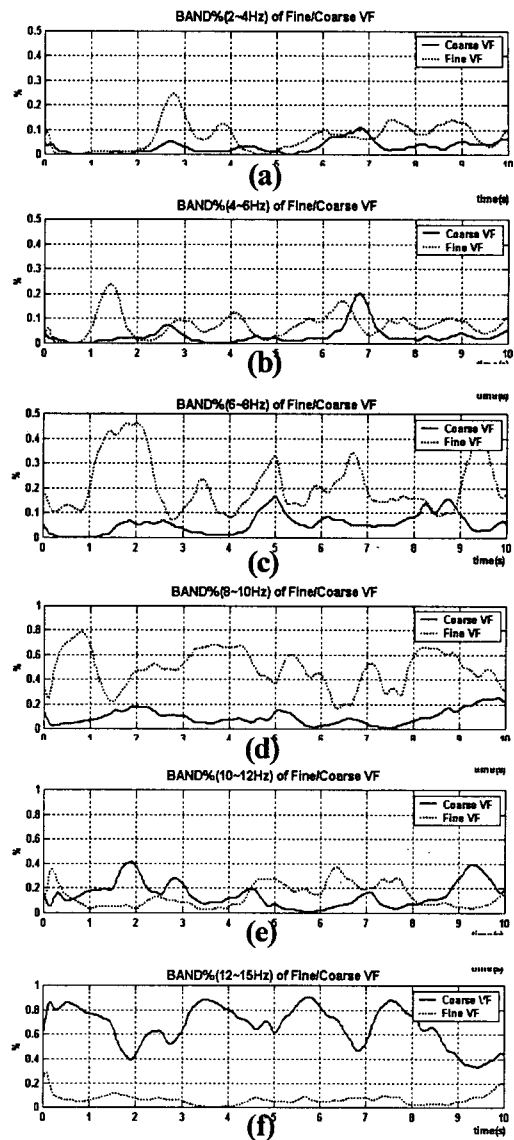


그림 7. 전체 주파수 면적에서 각 주파수 대역의 비율
(a) 2~4Hz 대역 (b) 4~6Hz 대역
(c) 6~8Hz 대역 (d) 8~10Hz 대역
(e) 10~12Hz 대역 (f) 12~15Hz 대역

Fig. 7 Ratio of frequency bandwidth and frequency area
(a) Bandwidth of 2~4Hz (b) Bandwidth of 4~6Hz
(c) Bandwidth of 6~8Hz (d) Bandwidth of 8~10Hz
(e) Bandwidth of 10~12Hz
(f) Bandwidth of 12~15Hz

제세동에 실패한 약한 심실세동과는 낮은 주파수 대역들의 값이 차지하는 비중이 높은 반면 제세동에 성공한 거친 심실세동과는 낮은 대역보다는 거의 대부분의 성분들이 높은 주파수 대역들이 차지하고 있음을 볼 수 있다. 표 1에는 위에서 구한 파라미터들의 10초간의 평균값이다. 최대주파수, 중간주파수, 주파수 거칠기 BAND%(12~15Hz) 등에서는 거친 심실세동에서의 값이 크게 나타났고 BAND%(6~8Hz), BAND%(8~10Hz)에서는 약한 심실세동에서 큰 값을 나타냈다.

3.2 심폐소생술 구간에서의 데이터 분석

먼저 심전도의 시-주파수 영역에서 추출한 심전도 파라미터들에서 소생여부에 따른 차이가 있는지를 검증하고 관상동맥관류압과의 상관성을 고려하여 실심세동의 성공여부를 대변하는 데에 적합한 파라미터를 선정하였다. 선정된 파라미터들의 조합으로 군집분석(clustering analysis)을 하여 소생여부에 대한 파라미터들의 변화를 알아보고 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 계산하여 소생성공 여부를 가장 잘 나타내는 파라미터를 결정하도록 한다.

표 2에서는 심실세동 유발후 행해진 심폐소생술과 약물투여에 의한 효과가 충분히 나타나는 7분에서 7분 30초 구간에서 각 파라미터들의 값을 가지고 소생성공과 실패군 사이의 차이를 나타내었다. 두 실험군의 파라미터들 중에서 관상동맥관류압, 중간주파수, 1/f 기울기, 2~4Hz, 8~10Hz, 10~12Hz 대

표 1. 거친 심실세동과 약한 심실세동에서의 각 파라미터 변수 비교.

Table 1 Comparing coarse ventricular fibrillation with fine ventricular fibrillation for each parameter

실심세동 종류 파라미터	약한 심실세동	거친 심실세동
최대주파수	8.6Hz	14.2Hz
중간주파수	8.6Hz	13.5Hz
주파수 거칠기	312	344
1/f 기울기	-0.88	-0.78
BAND%(2~4Hz)	8%	2%
BAND%(4~6Hz)	6%	1.7%
BAND%(6~8Hz)	18%	5%
BAND%(8~10Hz)	49%	7%
BAND%(10~12Hz)	14%	9%
BAND%(12~15Hz)	4%	75%

표 2. 소생성공(ROSC)과 소생실패(non-ROSC) 그룹의 파라미터 값의 차이와 유의성 비교(7분~7분30초 구간, N.S.: 유의성 없음)

Table 2 Comparing ROSC group with non-ROSC group for each difference value of parameter and significancy

파라미터	소생여부		p value
	ROSC	non-ROSC	
	평균±표준편차	평균±표준편차	
CPP	43.7±15	12.1±8	< 0.01
중간주파수(MF)	10.5±1.3	8.3±1.9	< 0.05
MF50	362.1±11	260±12	N.S.
1/f 기울기(Slope)	-0.44±0.04	-0.14±0.04	< 0.05
BAND(2~4Hz)	0.05±0.004	0.27±0.02	< 0.01
BAND(4~6Hz)	0.05±0.04	0.12±0.01	N.S.
BAND(6~8Hz)	0.09±0.05	0.11±0.1	N.S.
BAND(8~10Hz)	0.32±0.03	0.11±0.09	<0.05
BAND(10~12Hz)	0.22±0.08	0.15±0.01	<0.05
BAND(12~15Hz)	0.3±0.02	0.27±0.03	N.S.

역비 등에서 유의수준 0.05 미만으로 차이를 보였으며 이중에서 중간주파수, 1/f 기울기, 2~4Hz 대역비, 8~10Hz 대역비를 이용하여 소생성공과 소생실패에 대한 분석을 하였다.

3.3 소생성공에 대한 군집 분석

관상동맥 관류압을 제외한 파라미터들의 조합에서 소생성공과 소생실패에 대한 구분을 하기 위해서 이들 파라미터들의 조합으로 특성벡터를 구성한 다음 LDA방법을 이용하여 거리를 계산하고 군집분석을 하여 소생성공과 소생실패 그룹으로 판별하였다.

소생성공의 판별에 대한 평가는 군집분석을 통하여 실시하였는데 소생성공을 참으로 하고 소생실패를 거짓으로 하여 식(10), 식(11)과 같이 TP(true positive), FN(false negative), TN(true negative), FP(false negative)를 이용하여 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 매 30초 구간마다 계산하였다.

$$sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (10)$$

$$specificity = \frac{TN}{TN+FP} \times 100\% \quad (11)$$

그림 7은 소생성공과 소생실패 그룹의 차이가 빠르게 나타나는 중간주파수와 2~4Hz 대역비의 산점도이다. 심폐소생술 초기 구간에서는 소생성공그룹과 소생실패그룹이 혼재해 있어서 거리가 0.74에 불과하나 1분경과 후인 그림 8(b)를 보면 10.9라는 값을 가지고 구분이 가능해졌다. 그림 9은 소생성공

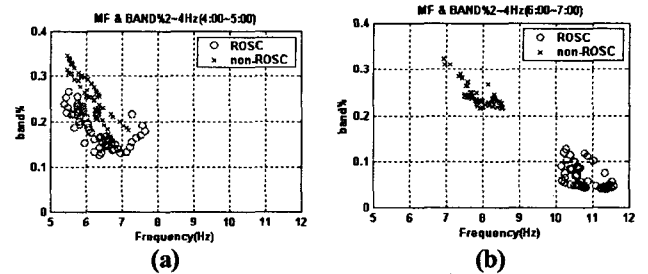


그림 8. MF와 2~4Hz 대역비의 관계
(a) 4분~5분 (b) 6분~7분
Fig. 8 Relation of bandwidth ratio between MF and 2~4Hz
(a) 4~5 minutes (b) 6~7 minutes

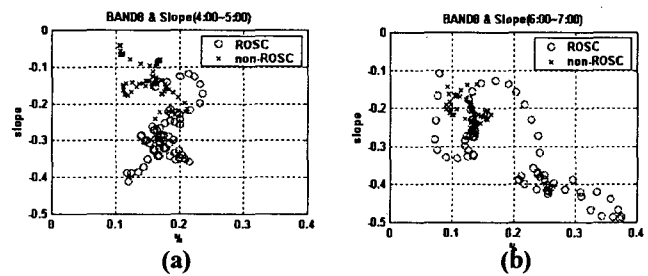


그림 9. 8~10Hz 대역비와 1/f 기울기의 관계
(a) 4분~5분 (b) 6분~7분
Fig. 9 Relation between bandwidth ration of 8~10Hz and slope of 1/f
(a) 4~5 minutes (b) 6~7 minutes

표 3. 파라미터들 간의 소생성공과 소생실패 군집 거리 (MF: 중간주파수, Slope: 1/f 기울기, BAND2: 2~4Hz 대역비, BAND8: 8~10Hz대역비)

Table 3 Distance of ROSC and non-ROSC cluster for each parameter(MF: mean frequency, Slope: slope of 1/f, BAND2: bandwidth ratio of 2~4Hz, BAND8: bandwidth 8~10Hz)

시간	파라미터 조합	MF& BAND2	MF& Slope	BAND8 & BAND2	BAND8 & Slope	MF& BAND8	BAND2 & Slope
4:00~4:30		2.00	4.54	0.23	3.68	1.66	3.75
4:30~5:00		5.56	3.60	5.41	3.63	1.83	5.61
5:00~5:30		4.05	1.48	4.42	1.18	3.39	3.91
5:30~6:00		13.75	17.05	12.56	0.27	25.20	11.41
6:00~6:30		28.20	46.81	11.95	0.15	31.00	15.59
6:30~7:00		19.64	44.91	16.65	8.45	30.13	21.29
7:00~7:30		28.67	37.45	37.61	40.11	39.45	33.56
7:30~8:00		16.45	31.05	61.54	60.57	62.89	28.50
8:00~8:30		25.70	40.46	41.88	24.85	38.51	36.79
8:30~9:00		27.35	28.06	22.95	25.20	30.88	12.87
9:00~9:30		14.57	11.89	15.04	6.56	10.60	31.71

그룹과 소생실패 그룹들 간의 구분이 모호하여 잘 구별되지 않는 파라미터들의 조합을 나타낸 것으로 8~10Hz와 1/f 기울기의 산점도이다.

표 3에는 네 개 파라미터로 만든 여섯 개의 조합에서 소생 성공 그룹과 소생실패 그룹 사이의 거리 값(J(ω))을 나타내어 소생성공과 소생실패 그룹의 판별에 대한 평가를 하였다. 값이 작을수록 소생성공과 소생실패 그룹 간에 파라미터 값들의 차이가 나타나지 않아 소생성공에 대한 예측이 명확하지 않음을 의미한다. 소생성공과 소생실패 그룹 사이의 거리 값의 증가는 파라미터들의 값의 차이로 인해 발생하게 되며 소생성공률의 증가를 의미하게 된다. 실험시간을 30초 간격으로 구분하여 여섯 개의 조합에서 소생성공과 소생실패 그룹의 거리를 계산한 결과인 8~10Hz 대역비와 1/f 기울기의 조합에서 값의 증가가 가장 느리게 나타나므로 제세동 성공에 대한 예측에 적당하지 않음을 나타낸다. 중간주파수(MF)와 2~4Hz 대역비의 조합에서 가장 빠르게 거리 값이 증가했으며 이는 소생성공과 소생실패 그룹사이의 값의 차이가 빠르게 나타남을 의미한다.

거리 값과 파라미터들의 분리정도의 관계를 보기 위해 그림10와 그림11의 산점도로 파라미터 값의 분포를 나타내었다. 그림 10는 빠르게 소생성공과 소생실패 그룹의 차이를 나타내는 파라미터의 조합이며 그림 11은 느리게 소생성공과 소생실패 그룹의 차이를 나타내는 파라미터의 조합의 산점도이다. 그림 10(b)는 심폐소생술을 시행하고 1분이 경과한 시점의 데이터로 소생성공과 소생실패 그룹으로 분리가 이뤄지고 있음을 볼 수 있다. 그림11(b)는 같은 시간대의 8~10Hz 영역비와 1/f 기울기의 조합으로 소생성공과 소생실패 그룹들의 분리가 나타나지 않았다.

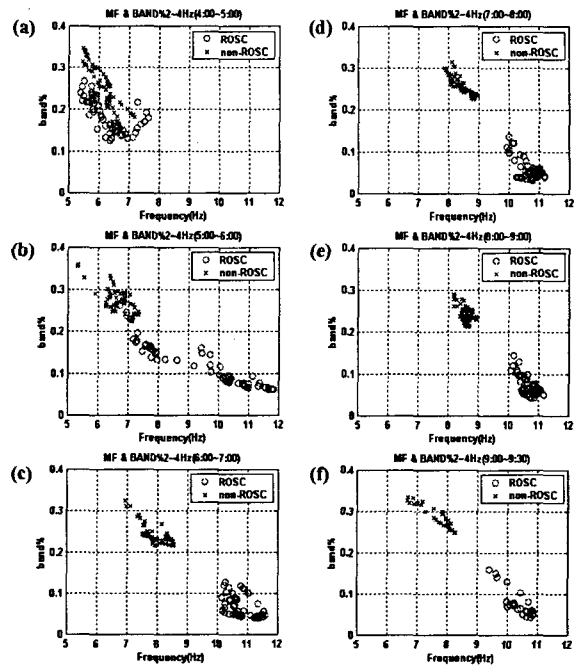


그림 10. MF와 2~4Hz 대역비의 시간대별 변화 (a) 4분~5분 (b) 5분~6분 (c) 6분~7분 (d) 7분~8분 (e) 8분~9분 (f) 9분~9분30초

Fig. 10 Change of MF and bandwidth ratio of 2~4Hz for each time period

(a) 4~5 minutes (b) 5~6 minutes (c) 6~7 minutes (d) 7~8 minutes (e) 8~9 minutes (f) 9~9.5 minutes

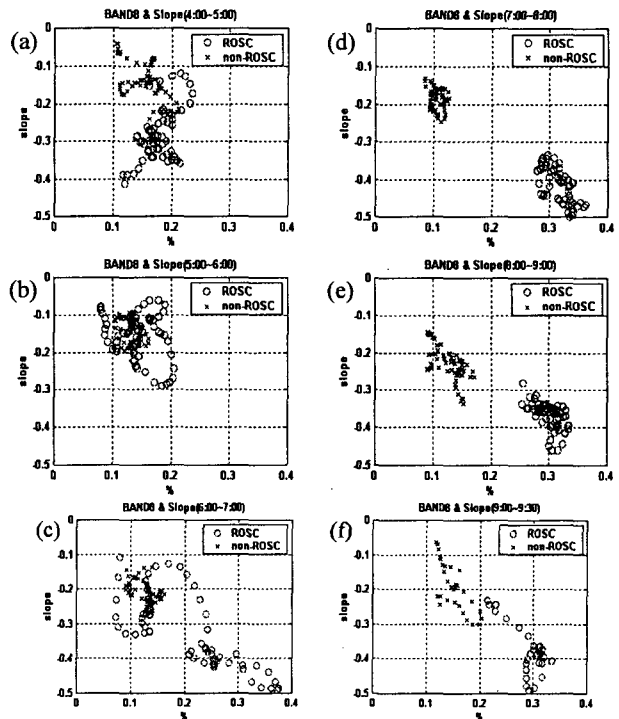


그림 11. 8~10Hz 대역비와 1/f 기울기의 시간대별 변화 (a) 4분~5분 (b) 5분~6분 (c) 6분~7분 (d) 7분~8분 (e) 8분~9분 (f) 9분~9분30초

Fig. 11 Change of bandwidth ratio of 8~10Hz and slope of 1/f for each time period

(a) 4~5 minutes (b) 5~6 minutes (c) 6~7 minutes (d) 7~8 minutes (e) 8~9 minutes (f) 9~9.5 minutes

4. 결 론

본 논문에서는 제세동 성공에 대한 예측을 하기 위해 심실세동시 심전도 신호를 시-주파수 영역으로 변환한 후 파라미터를 추출하여 그 유용성을 평가하고 소생성공 여부를 예측하는 방법을 제안하였다.

심실세동시 심전도를 시-주파수 영역으로 변환하여 열 개의 파라미터를 추출하였으며 소생성공과 소생실패에 따른 차이와 관상동맥관류압과의 상관관계를 통계적 방법을 이용하여 구하였다. 통계분석결과에 의해 선택된 4개의 파라미터(중간주파수, 1/f 기울기, 2~4Hz 대역비, 8~10Hz 대역비)를 이용하여 6개의 조합으로 만든 다음 LDA(linear discriminant analysis)와 군집분석을 이용하여 소생성공과 실패에 대한 민감도와 특이도를 구하여 가장 적합한 조합에 대해 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 제세동 성공 예측에 사용되던 파라미터 외에 1/f 기울기, 주파수 대역비를 구하여 1/f 기울기와 2~4Hz 대역비, 8~10Hz 대역비가 소생성공과 소생실패 그룹사이의 차이를 나타내는 파라미터로 사용될 수 있었다.
2. 관상동맥관류압과의 관계를 상관분석과 회귀분석을 통해 구한 결과 1/f 기울기를 제외한 파라미터들이 관상동맥관류압의 변화와 유의하게 증가 또는 감소함을 보였으며 기존 연구결과들에 비해 향상된 결정계수를 얻었다.
3. 중간주파수와 2~4Hz 대역비의 조합이 90% 이상의 민감도와 특이도를 보였으며 심폐소생술 구간에서 가장 빠른 소생성공과 소생실패 그룹의 분리가 나타났다.

본 연구에서 제안한 방법은 심실세동시 생존율을 높이기 위한 처치효과 평가나 자동제세동기의 개발 등에 유용하게 사용될 수 있으며 데이터의 구간 분할 없이 실시간 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

분석된 심실세동 데이터는 동물에 인위적으로 심실세동을 유발하여 측정된 것으로 임상에 적용하기 위해서는 실제 임상데이터를 분석하여 결과를 비교하여야 하며 소생성공 그룹의 데이터를 늘려서 제안된 방법에 대한 검증이 더욱 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 연세대학교 매지학술연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

참 고 문 헌

[1] Vander, A., Sherman, J., and Luciano, D., Human Physiology, McGraw Hill, pp. 449-450, 2001.
 [2] Redding, J. S., and Pearson, J. W., "Resuscitation from ventricular fibrillation", Journal of the American Medical Association, vol.203, pp. 255-260, 1968.
 [3] Richard, O. C., and Mickey, S. E., "Pre-hospital Cardiopulmonary Resuscitation", Journal of the

American Medical Association, vol. 16, pp. 2408-2412, 1985.
 [4] Weaver, W. D., Cobb, L. A., and Hallstrom, A. P., Fahrenbruch, C., Copass, M. K., Ray, R., "Factors Influencing Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest", American College of Cardiology, vol. 7, no. 4, pp. 752-757, 1986.
 [5] Strohmenger, H. U., and Volker, W., "Electrocardiographic Prediction of Cardiopulmonary Resuscitation Success", Current Opinion in Critical Care, vol. 6, no. 3, pp. 192-195, 2000.
 [6] Noc, M., Harry, W. M., Pernat, T. W., Bisera, J., "Electrocardiographic Prediction of the Success of Cardiac Resuscitation", Critical Care Medicine, vol.27, no.4, pp.708-714, 1999.
 [7] Reed, M. J., Clegg, G. R., and Robertson, C. E., "Review article: Analysing the Ventricular Fibrillation Waveform", Resuscitation, vol. 57, pp. 11-20, 2003.
 [8] Weaver, W. D., Cobb, L. A., and Dennis, D., "Amplitude of Ventricular Fibrillation on Waveform and outcome after Cardiac Arrest", Annals of International Medicine, vol. 102, pp. 53-55, 1985.
 [9] Stults, K. R., Brown, D. D., and Kerber, R. E., "Ventricular Fibrillation Amplitude Predicts ability to Defibrillate", Journal of American College of Cardiology, vol. 9, pp. 152A, 1987.
 [10] Dazell, G. W., and Adgey, A. A., "Determinants of Successful Transthoracic Defibrillation and Outcome in Ventricular Fibrillation", British Heart Journal, vol. 65, pp. 311-316, 1991.
 [11] Cohen, L., "Time-Frequency Distributions - A Review", Proceeding of the IEEE, vol. 77, no. 7, pp. 941-981, 1989.
 [12] Cohen, L., Time-Frequency Analysis, Prentice-Hall, 1995.
 [13] Sattar, F., and Salomonsson, G., "The Use of a Filter Bank and the Wigner-ville Distributions for Time-Frequency Representation", IEEE Transaction On Signal Processing, vol. 48, no. 6, pp. 1776-1783, 1999.
 [14] Hlawatch, F., and Boudierzux-Bartes, G. F., "Linear and Quadratic Time-Frequency Signal Representation", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 21-67, Apr. 1992.
 [15] Hlawatch, F., Manikam, T. G., Urbanke, R. L., and Jones, W., "Smoothed pseudo-Wigner Distributions, Choi-Williams Distribution, and Cone-Kernel Franz Representation: Ambiguity-Domain Analysis and Experimental Comparison", Signal Processing, vol. 43, pp. 149-168, 1995.

저 자 소 개



성 홍 모(成 洪 模)

1996년 연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과 졸업(공학사). 1998년 동 대학원 석사 졸업(공학 석사). 2004년 연세대학교·표준과학연구원 학연협동과정 의공학과 박사 졸업(공학 박사). 현재 식품의약품안전청 의료기 기본부 의료기기관리팀 재직.

Tel : 02-380-1332

Fax : 02-380-1656

E-mail : hongmo@kfda.go.kr



황 성 오(黃 成 悟)

1984년 연세대학교 의과대학 졸업(의학사). 1991년 연세대학교 의과대학 석사 졸업(의학 석사). 1995년 연세대학교 의과대학원 박사 졸업(의학 박사). 의사, 내과전문의, 응급의학전문의, 순환기분과전문의. 현재 연세대학교 원주의과대학 응급의학교실 교수. 대한응급의학회 간행이사. 사단법인 대한심폐소생협회 총무, 기획, 국제교류이사.

Tel : 033-741-1611

Fax : 033-734-9994

E-mail : shwang@wonju.yonsei.ac.kr



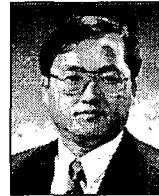
신 재 우(申 在 佑)

1974년 5월 10일생. 1997년 연세대학교 의공학과 졸업. 2006년 동 대학원 의공학과 박사 졸업(공학 박사).

Tel : 033-760-2809

Fax : 033-766-1942

E-mail : shinjw@dragon.yonsei.ac.kr



윤 영 로(尹 永 老)

1981년 연세대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 California State University Engineering 전기공학 석사 졸업(공학 석사). 1991년 Purdue Univ. USA 전기공학(Ph.D)(공학 박사). 현재 연세대학교 보건과학대학 의공학부 교수.

Tel : 033-760-2440

Fax : 033-766-1942

E-mail : yoon@dragon.yonsei.ac.kr



이 현 숙(李 賢 叔)

1985년 연세대학교 이과대학 물리학과 졸업(이학사). 1987년 연세대학교 대학원 물리학과 졸업(이학 석사). 1992년 Purdue Univ. USA (Ph.D)(이학 박사). 현재 상지대학교 한방의료공학과 교수.

Tel : 033-730-0416

Fax : 033-730-0410

E-mail : hslee@sangji.ac.kr