

위전도 신호에서의 서파검출 알고리즘의 개선

° 한 완택, 김인영

삼성생명과학연구소 임상의학센터

Improvement of Slow Wave Detection Algorithm for EGG Signal

° Wantaek Han, Inyoung Kim

Biomedical Engineering Research Center,
Samsung Biomedical Research Institute

서론

심장의 pacemaker에서 전기신호가 발생하여 심장을 움직이는 것과 같이 위장에서도 위체 중간부(midcorpus)의 대만근처에서 전기신호가 발생하여 위가 운동하게 된다. 위장에서 발생하는 전기적인 신호는 크게 ECA(electrical control activity)와 ERA(electrical response activity)로 분류된다. ECA는 서파(slow wave)의 형태로, ERA는 첨파(spike wave)의 형태로 측정되며, 이들은 임상적인 유의한 정보를 함유하고 있다

서파의 경우에는 그 파형의 규칙성의 여부와 주파수의 증감 등이 진단상의 중요한 정보가 된다. 첨파는 위장에 수축과 직접적인 관련이 있으며, 위장의 수축 정도에 따라 첨파의 크기가 비례적으로 나타난다. 그러므로, 위장의 전기적인 신호를 검출하므로써 위의 운동상태가 정상인지 비정상인지를 알 수 있어 위의 소화기능 상태를 진단할 수 있는 정보를 제공하게 된다. 이러한, 위의 전기적인 신호의 검출은 크게 다음과 같은 3가지 방법으로 나뉘어진다. 외과적 수술을 통해 위장의 외벽(serosa)에 전극을 부착하는 방법, 경구적으로 흡입전극을 삼켜 위장의 내벽(mucosa)에 전극을 부착시키는 방법, 복부체표면에서 표면부착전극을 사용하여 위의 신호를 검출하는 방법이 있다. 수술을 통한 방법이나 경구적인 방법은 상대적으로 검사비용이 많이 들며, 측정시간이 길어짐에 따라 전극으로 인해 위장내벽에 무리를 줄 수 있으며, 전극 삽입으로 인해 환자에게 심한 거부감을 초래하게 된다. 그러므로, 이러한 단점들을 해결하고자 복부체표면에서 비침습적인 방법으로 위장의 신호를 검출하고자 나타난 방법이 바로 위전도(electrogastrography:EGG) 인 것이다.

복부체표면에서 검출한 위전도 신호는 임상적으로 중요한 정보들이 주위의 여러가지 잡음, 예를들면 호흡, 전극과 피부사이에 잡음, 환자의 움직임, 심장에서 발생하는 전기신호 등으로 인한 근잡음등의 여러가지 잡음들에 의해

손실을 입게 된다. 더욱이 이 잡음의 성분들이 위전도 신호와 겹치게 되므로 주파수 분석을 더욱 어렵게 만드는 요인이 되고 있다. 위전도 신호분석에 사용된 신호처리 방법으로는 FIR 필터, fast Fourier transform, autocorrelation, autoregressive modeling 등이 있으며, 이 방법들은 모두 위전도 신호를 개선하여 진단에 유용한 정보를 도출하는데 그 목적을 두고 있다.

본 연구에서는 위전도 신호의 성분 중에서 서파를 검출하는 데에 사용된 기존의 방법들을 살펴보고, 이 자료를 이용하여 서파를 정확하게 추출할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

실험방법

건강한 사람과 위기능 검사상 배출기능이 저하된 성인환자에 대하여 위전도 검사를 시행하였다. 위전도검사는 오전 중에 실시하였으며, 피검사자는 아침식사를 하지 않은 상태에서 편안하게 누운자세로 검사를 실시하고, 검사시간은 약 1시간정도로 하였다. 심전도 검사에서 일반적으로 사용하는 Ag/AgCl (3M) 전극을 환자의 복부체표면에 부착하고, 외부 전자파의 영향을 최소화하기 위하여 환자 주위에 전자파 차단망을 설치하였다. 입력신호는 3채널로 구성하여 위의 전정부(antrum)의 직상부라고 생각되는 지점에 전극을 부착하여 측정하였다. 위전도 검출 방식은 monopolar recording과 bipolar recording이 주로 사용되어 지는데, 본 실험에서는 심전도 신호, 호흡, 근잡음으로 인한 영향이 상대적으로 적은 bipolar recoding을 사용하였다. 전치증폭기(Sanei 7746)의 차단주파수는 8Hz로 하여 고주파성분을 하드웨어적으로 제거하였고, time constant를 1초로 하였다. 16bit A/D 컨버터를 사용하였고, 샘플링 주파수를 16Hz로 하여 입력신호를 양자화하였다.

서파의 주파수 성분이 환자에 따라서 1cpm(cycle per

minute)에서 9cpm사이 에 있다고 보고되었기 때문에, 서파만을 검출하기 위해서는 샘플링 주파수가 2Hz정도가 되어도 충분하다. 그러나, 이렇게 시스템을 구성한 이유는 향후 보다 정확하고 진보된 분석을 하기 위하여 검출된 데이터를 활용하기 위해서이다. 또한, 종이 기록기(GRAPHTEC WR7900)와 테이프 저장장치(TEAC PCM data recorder)를 사용하여 위전도 신호를 동시에 기록하였다. 그림 1에 실험에 사용된 시스템의 구성을 보였다.

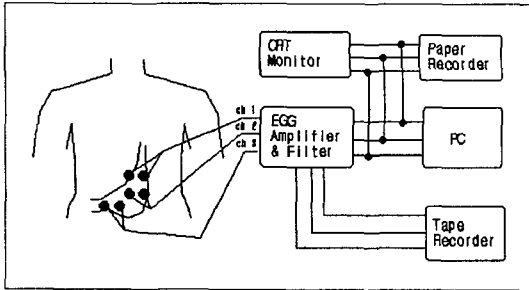


그림 1. 위전도 시스템의 구성도

서파의 검출방법

위장의 전기적인 신호성분중에 ECA는 위의 great curvature 상부에서 발생하여 위장의 근육을 따라 전파한다고 알려져 있다. 이 ECA가 복부체표면에서 검출되어 나타난 것이 서파이다. 이러한 서파의 주파수 성분은 정상인에게서는 약 3cpm(cycle per minute) 정도로 나타나며, 환자에 따라 1cpm에서 9cpm사이 에 존재한다고 보고되고 있다. 이 주파수 영역 안에서는 주로 호흡으로 인한 잡음과 환자의 움직임으로 인한 근잡음, 심전도에 의한 잡음 등이 존재하며 이들 잡음성분을 제거하는 방법에는 어떠한 것들이 있는지 살펴보도록 하자.

적용필터는 60년대 초반부터 소개되기 시작하여, 최근에는 위전도 신호분석 뿐만아니라 기타 생체신호분석에 많이 이용되고 있다. Widrow에 의해 제안된 전형적인 잡음제거기(noise canceller)의 블럭다이어그램을 그림 2에 나타내었다.

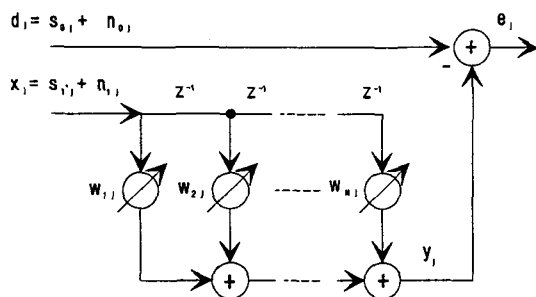


그림 2. 잡음제거기의 구성도

기록된 신호 d_i 는 순수한 신호성분 s_{0i} 와 잡음성분 n_{0i} 가 서로 중첩되어 있는 것으로 볼 수 있으며, s_{0i} 와 n_{0i} 는 서로 상관관계가 없다고 가정한다. 참조신호(reference signal)로는 잡음성분 n_{0i} 와 상관관계가 큰 잡음신호 x_i 를 선정한다. 그러면, 잡음제거기의 출력은 식 (1)과같이, 오차성분은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = \sum_{k=1}^n w_k x_{i-k} \quad (1)$$

$$e_i = d_i - y_i \quad (2)$$

LMS(least mean square) 알고리즘에 의해 계수 w 는 식 (3), 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$w_{j+1} = w_j + 2\mu e_j x_j \quad (3)$$

$$x_j = [x_j, x_{j-1}, \dots, x_{j-n+1}]^T \quad (4)$$

$$w_j = [w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj}]^T \quad (5)$$

여기서, 첨자 j 는 적응필터의 차수를 나타내고, μ 는 수렴상수(convergence parameter)이다.

이 잡음제거기는 위전도 신호를 검출할 때에 잡음성분으로부터 순수한 위전도 신호를 검출하기가 어려웠기 때문에 Kentie등에 의해 그림 3와 같이 변형되기도 하였다. 이것은 두 개의 채널을 사용하는 대신에 한 개의 입력신호로 notch필터를 통과한 신호를 가지고 참조신호로 이용하는 방법이다.

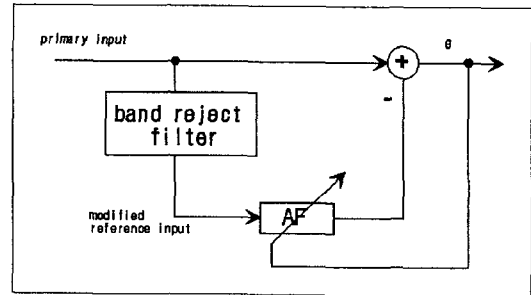


그림 3. 변형된 적응필터

적용필터의 일반적인 특성은 입력신호간에 상관관계에 영향을 강조한 것이다. 위전도의 주된 잡음신호 성분 중에 자기상관관계가 큰 신호로 호흡신호를 들 수가 있다. 호흡신호는 위전도에 적지않은 영향을 끼치기 때문에 이러한 호흡에 의한 잡음을 효과적으로 제거하기 위해서 Chen 등은 그림 4에 나타낸 방법을 제안하였다.

위전도 신호(d_i)는 순수한 위전도 신호(s_i)와 호흡신호(r_i) 그리고 기타 잡음(n_i)으로 가정하였고, 참조신호는 호흡신호(r_i)만으로 구성되어 있다.

두 단의 적용필터가 순차적으로 연결된 형태로 첫째 단은 예측오차여파기(linear predictor)이고, 둘째 단은 잡음제거기이다. 위전도 신호에 첨가되어 있는 기타 잡음(n_i)을 제거하기 위해서 예측오차여파기가 사용되었다. 잡음이 포함된 위전도 신호는 예측오차여파기를 통과하면서 자

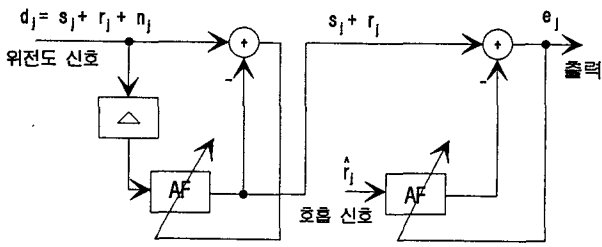


그림 4. 호흡신호를 제거하기 위한 적용필터

기상관관계(autocorrelation)가 적은 n_j 는 제거되고 자기상관관계가 큰 s_j 와 r_j 성분이 들쭉 단인 잡음제거기로 유입된다. 이후 잡음제거기에서 호흡신호가 제거되고, 순수한 위전도 신호가 검출되는 것이다.

이외에도 그림 5와같이 참조신호를 여러 채널로 구성하여 위전도 신호를 검출하려는 것을 포함하여 여러 가지 적용필터들이 위전도 신호검출에 적용되었다.

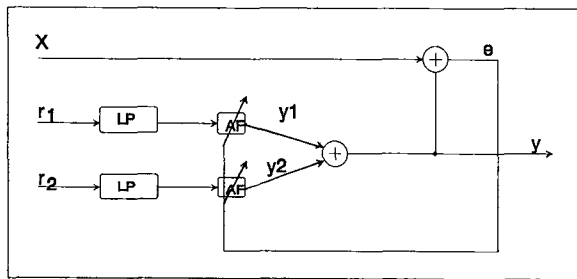


그림 5. 다중입력 적용필터. LP는 저주파 통과 필터

서파의 분석방법

검출된 위전도 신호를 가지고 주파수 영역에서 분석하는 방법으로는 FFT(fast Fourier transform), RSA(running spectral analysis), ARMA(auto regressive moving average) 등을 이용하는 방법이 있다. 주파수영역에서 직접적으로 필터를 설계하는 방법은 통과시키고자 하는 대역에 rectangular window를 사용하여 시간영역으로 inverse Fourier transform을 하는 것이다. 이 FIR 필터의 특징은 위상변화가 선형적으로 일어나기 때문에 위전도 신호의 전파를 연구하는데 적절히 사용될 수 있을 것이다. RSA는 시계열 데이터를 일정길이의 window로 나누어 그 구간안에서 FFT를 수행하여 시간의 흐름에 따라 시간축 상에 연속적으로 도시한 것이다. RSA의 단점은 averaging effect가 일어난다는 것이다. 이러한 현상을 해결하기 위해서는 window의 길이를 적게 하면 되지만 주파수의 분해능이 떨어지게 된다. ARMA는 위전도 신호를 사용하여 계수의 값을 각각의 새로운 sample들이 들어올 때마다 갱신하게 된다. 그래서 이 계수의 값은 어떤 순

간의 위전도 신호의 특성을 가지게 되고, 그 값은 곧바로 스펙트럼을 계산하는데 이용되게 된다. 그래서, 알고자 하는 한 시점의 스펙트럼을 즉시 알 수 있다는 장점이 있다.

실험결과 및 고찰

앞서 소개한 알고리즘의 test는 모두 MATLAB 환경 하에 수행하였으며, 그 결과를 각각 그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9, 그림 10에 나타내었다.

그림 6에는 Chen이 제안한 방법으로 호흡잡음을 제거한 결과이다. 그림 6의 (a)는 예측오차여파기를 통과하고 난 후의 파형이고, (c)는 (a)의 power spectrum이며, (b)는 적용필터를 거친 최종결과 파형이고, (d)는 (b)의 power spectrum이다.

그림 7은 mean 필터를 적용한 결과이다. 필터의 차수는 64차이다. 위전도의 중심주파수가 처리 전과 후가 모두 3.51cpm임을 알 수 있으며, 주파수 5cpm이상의 위반백이 보인다. 전체적인 특징은 고주파 성분이 감쇄되었고, 처리 후의 위전도 파형의 위상천이가 일어나지 않음을 알 수 있다.

그림 8은 위전도 파형을 FFT를 수행한 후 power spectrum에 서파의 주파수 성분이 포함되는 window를 적용하여 inverse FFT를 수행한 결과이다. 처리 후의 파형이 매끈하며, 신호 대 잡음비가 크다.

그림 9는 위전도 파형을 RSA한 파형이다. FFT의 구간길이를 60초(960 samples)로 하고, 25% 중첩을 하여 도시한 그림이다. 그림 10은 적용필터를 처리하고 power spectrum을 정규화하여 도시한 것이다. 그림 9와 동일조건으로 도시한 것이며, 정규화 한 것이기 때문에 그림 9와 비교해볼 때 power의 크기의 신뢰도는 떨어지지만 중심주파수의 변화하는 정도는 보다 명확히 관찰할 수 있다.

위에서 기술한 여러 가지 적용필터들의 공통적인 특징은 적용필터가 주어진 조건에 민감하기 때문에, 실험조건과 상황이 변화하면 적용필터의 성능이 크게 저하경우도 발생하였다. 적용필터를 통과한 위전도 신호는 그 위상의 변화를 알 수 없으므로 전파속도 등을 구하려고 적용한다면 원치않은 결과를 얻을 수도 있을 것이다. 그러므로, 서파의 전달속도를 구하거나 서파의 주기(cycle)를 구하고자 하는 경우에 사용하는 필터는 위상천이가 없어야만 할 것이다.

이상 살펴본 결과를 가지고 본 연구소에서는 mean 필터를 이용하여 고주파 잡음을 제거하고 서파의 주기를 검출한 다음, 검출된 주기를 기준으로 하여 template signal을 형성하고, 이것을 이용하여 위전도와 상관관계가 있는 것만을 강조한 서파를 검출하는 알고리즘을 개발할 것이다.

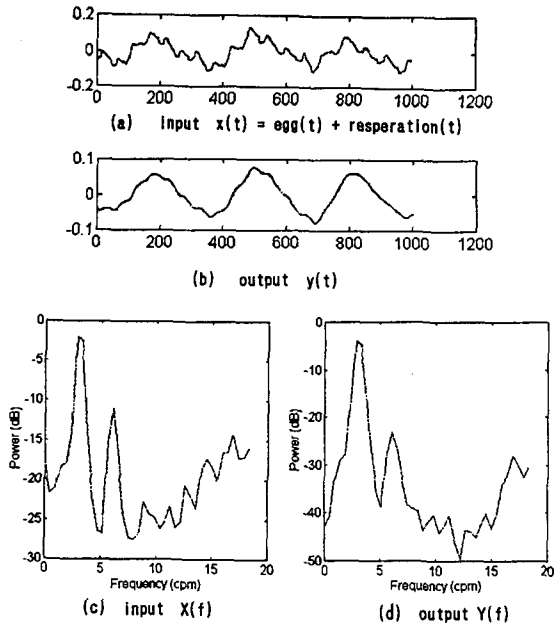


그림 6. 호흡잡음을 제거하는 적응필터의 결과

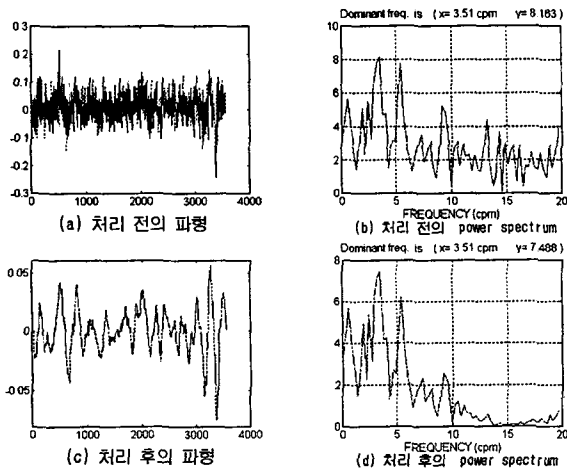


그림 7. mean필터를 적용한 위전도의 spectrum

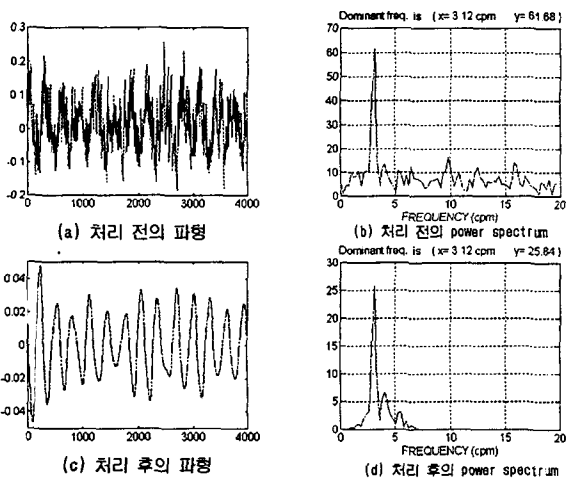


그림 8. FFT를 이용하여 필터링한 위전도의 spectrum

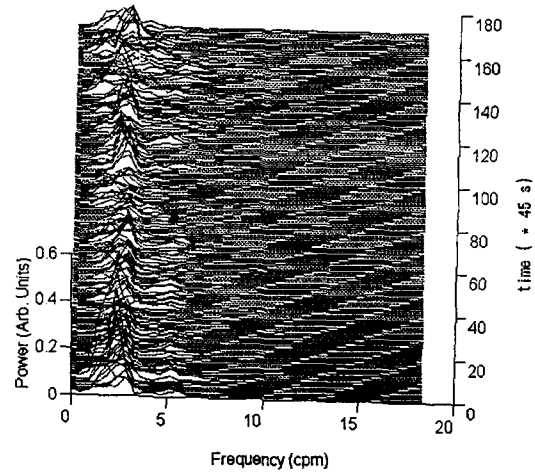


그림 9. 위전도의 RSA(running spectrum analysis)

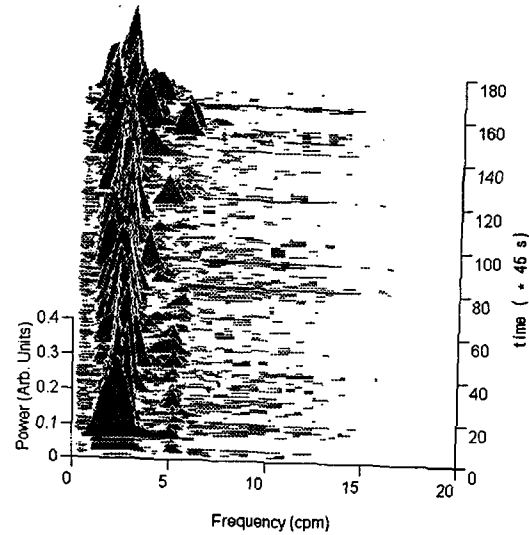


그림 10. 적응필터 처리된 RSA

참고문헌

1. J. Chen and R.W. McCallum, Electrogastrography : measurement, analysis and prospective application. Med. & Biol. Eng. & Compt., 29,339-350,1991.
2. J. Chen and R.W. McCallum, Response of the electrical activity in the human stomach to water and a solid meal. Med. & Biol. Eng. & Comput., 29,351-357,1991.
3. J.W. Hamilton, B.D. Bellahsene, M. Reichelderfer, et al., Human electrogastrograms : comparison of surface and mucosal recording. Digestive Disease and Science, 31, 33-39,1986.
4. J. Chen and J. Vandewalle, Adaptive method for cancellation of respiratory artefact in electrogastric measurements. Med. & Biol. Eng. & Compt., 27,57-63,1989.