

4채널 위전도 시스템의 개발 및 스펙트럼 분석

유창용, *김덕원, **정준근, *김수찬, *양윤석, **이상인
연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과, *의과대학 의용공학교실
**의과대학 내과학교실

Development of 4 Channel EGG Measurement System and Running Spectral Analysis

C. Y. Ryu, *D. W. Kim, **J. K. Jung, S. C. Kim, Y. S. Yang, and **S. I. Lee
Dept. of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University
*Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Yonsei University
**Dept. of Internal Medicine, College of Medicine, Yonsei University

ABSTRACT

Electrogastrography(EGG) has been an attractive method for physiological and pathophysiological studies of the stomach and now is on the verge of becoming a new clinical tool in gastroenterology.

In this study 4 channel EGG measurement system was constructed and running spectrum analysis was developed for 2D and 3D display of power spectrum with time and frequency. A wavelet multiresolution method was utilized for elimination of baseline drift and for filtering out noises.

서론

위는 연동운동을 하면 그에 따라 세포들 사이의 분극 현상으로 활동전위(action potential)가 발생한다 [1]. 정상인의 경우 소화를 위한 일정한 리듬에 따른 활동전위가 발생하나 만약 위의 활동성이 비정상적일 경우 위가 정상적인 연동운동을 하지 못하면 그에 따라 정상일 때와는 다른 리듬의 활동전위가 발생하게 될 것이다[2,3,4]. 그러므로 이 활동전위로 위의 활성성을 알 수 있다. 이러한 위의 활동전위를 측정하는 방법은 크게 다음 3가지 방법으로 나뉜다. 외과적 수술시 위장의 외벽(serosa)에 전극을 부착하는 방법, 경구적으로 흡입전극을 삼켜 위장의 내벽(mucosa)에 전극을 부착하는 방법, 복부 체표면에 전극을 부착하는 방법 등이 있다. 수술을 통한 방법이나 경구적인 방법은 상대적으로 검사비용이 많이 들며, 전극 삽입으로 인해 환자에게 심한 거부감을 초래하게 된다[5]. 이러한 단점들을 해결하기 위해 위가 위치한 복부의 표피에 전극을 부착하여 비관혈적으로 활동전위를 얻어내는 위전도(Electrogastrography : EGG)이다[5].

최초의 위전도 측정은 1921년에 Alvarez의 실험에 의해서 이루어졌다[6]. 그는 2개의 전극을 피검자의 복부에 붙이고 민감한 galvanometer를 연결하여 사

인과 모양과 비슷한 0.05Hz 정도의 신호를 얻었다. 그 후 1980년대에 많은 연구들을 통해서 위전도 신호는 위의 smooth muscle의 수축에 의해서 생기고 심장의 pacemaker에서 전기신호가 발생하여 심장을 움직이는 것과 같이 위에서도 위체 중간부(midcorpus)의 대만곡부위 근처에 pacemaker 지역이 존재하여 전기적인 신호가 발생하여 위가 운동한다는 것을 알아내었다[7]. 현재 정상적인 인간의 위전도 신호는 약 3cpm(cycle per minute)으로 알려져 있다. 보통 0.5~10cpm 정도를 위전도 신호로 보고 있다[8].

본 논문에서는 4채널 위전도 시스템을 구현하였으며 이를 Running Spectrum으로 분석하였다. 위전도 신호는 50~100 μ V의 아주 낮은 전압을 가지며 주위의 장기에 의한 잡음이 많으므로 다단계로 증폭과 필터링을 거쳤다. 또한 일반적으로 0.5~10cpm, 즉 0.0083~0.1667Hz의 좁고, 낮은 대역 통과 디지털 필터는 그 구현이 어렵고 아니면 높은 차수로 인해 많은 계산을 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 Wavelet의 Multiresolution 방법으로 상대적으로 빠르게 잡음을 제거하였다. Running Spectrum은 75% overlapping을 통한 interpolation으로 스펙트럼을 더 자세히 볼 수 있게 하였다. 또한 결과는 pseudo 3D와 2D로 표시하여 시간에 따른 주파수의 변화를 한 눈에 알아볼 수 있게 하였다.

본론

1. 4채널 위전도 시스템의 전체 구성

4채널 위전도 시스템의 전체적인 구성은 크게 아날로그 신호 처리 부분과 디지털 신호 처리 부분으로 나누어진다. 아날로그 신호 처리 부분은 입력전극으로부터 입력된 신호를 차동 증폭 및 기저선 변동 자동 조절을 지나 고증폭기를 거쳐 저역 및 고역 필터링을 통해 A/D 변환기까지 보내는 부분이다. 디지털 신호처리 부분은 A/D 변환기를 통해서 출력되는 위전도 신호를 저장장치에 저장하는 부분과 이 데이터를 스펙트럼 추정을 통해 분석하는 부분으로 나눌 수 있다. 위전도 신호를 저장하는 프로그램과 분석하는

프로그램을 따로 만든 이유는 위전도 신호가 3cpm의 아주 느린 서파(slow wave)이므로 실시간(real time)으로 처리한다는 것은 무의미하기 때문에 분리된 2개의 프로그램으로 구성하였다. 그러나 저장 프로그램에서도 512개(2Hz 샘플링이므로 256초)의 데이터를 얻게 되면 FFT(Fast Fourier Transform)로 현재 얻어지고 있는 데이터의 스펙트럼을 확인 할 수 있게 하였다.

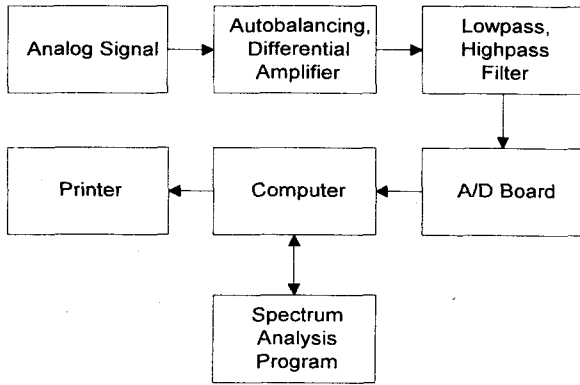


그림 1. 4채널 위전도 시스템의 구성

2. 자동 offset 조절과 고증폭 회로

위전도는 신호의 특성상 고배율의 증폭을 하게 된다. 이에 따라서 입력단에서의 아주 작은 변화에 의한 offset 변화는 출력단에 크게 영향을 미치게 된다. 이것은 극소 신호 고증폭 시스템에서는 매우 중요한 문제이다. 이것을 해결하기 위해 offset 조절회로를 사용하는데 수동으로 할 경우에는 미세조작이기 때문에 어렵고 성가시다. 그래서 필요한 것이 회로상에서 offset이 발생하였을 때 이를 감지하여 자동적으로 offset을 제거하는 것이다.

Offset 자동제거는 입력증폭기의 궤환부분에 적분기를 붙여서 입력단의 offset 변화를 감지하여 이를 이득이 1인 비반전 증폭기를 통하여 다시 궤환하여 offset의 차이를 줄이는 것이다. 그림 2는 offset 자동제거의 회로이다.

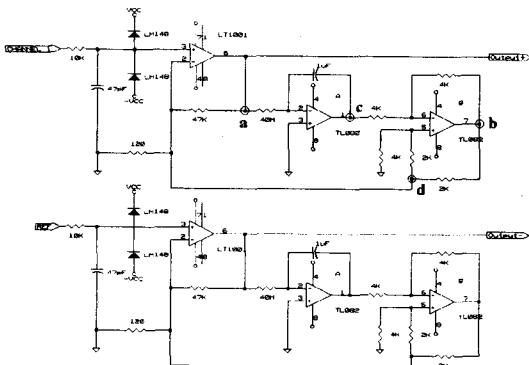


그림 2. 자동 offset 제거 회로

a는 입력증폭기의 출력부분이며 궤환에 의해 offset이 제거되는 부분이다. b는 적분기의 출력을 반전 증폭한 것이며 c는 적분기의 출력부분으로 offset의 변화를 적분한 것이다. d는 변화된 offset이 반전된 offset과 합쳐져서 서로 상쇄되는 부분이다.

다음은 고증폭회로로서 입력증폭기에서 약 390배 정도 증폭된 신호를 다시 증폭하게 된다. 이때 신호대 잡음비를 높이기 위해 이득이 1이고 차단주파수가 1Hz인 저역 통과 필터를 거치게 된다. 그리고 이 신호를 INA110을 사용하여 100배 증폭하였다. 그러므로 전체증폭율은 390×100으로 약 39000이고 50~100 μV의 신호는 1.95~3.9V의 신호가 된다.

3. 저역 및 고역 통과 필터

위전도 신호는 그 주파수 대역이 0.01~0.1667Hz이므로 대역 통과 필터를 필요로 한다. 그러나 그 주파수 대역이 너무 좁아 각각 4차의 저역 및 고역 통과 필터로 대역 통과 필터를 구현하였다.

저역 통과 필터는 2차의 전압제어 전압원(VCVS)형 Butterworth 저역 통과 필터를 직렬로 연결하여 4차의 저역 통과 필터를 만들었다. VCVS형은 OP 앰프를 이득 1로 사용하여 소자감도가 낮아 직렬로 접속해도 안정하게 동작한다. 또한 다른 4차의 저역 통과 필터가 여러 개의 OP 앰프를 사용하고 복잡한 반면에 단지 2개의 앰프만으로 간단하게 구성된다. Butterworth 필터는 통과역(pass band)이 평탄하며 천이역(transition band)의 경사가 완만하고 감쇄역(stop band)이 평탄한 것이 특징이다. 본 논문에서는 9.6cpm을 차단 주파수로 하였다. 차단 주파수는 0.167Hz로 하였다

고역 통과 필터도 2차의 VCVS형 Butterworth 필터를 직렬로 연결하여 4차의 고역 통과 필터를 만들었다. 직류 성분을 제거하기 위해 사용하였으며 나중에 디지털 필터를 사용하여 다시 한 번 직류 성분을 제거한다. 차단 주파수는 0.003Hz이다.

4. 디지털 신호 처리 소프트웨어 부분

위전도 신호는 그 주파수 대역이 아주 저주파이므로 샘플링 주파수를 2Hz로 하였다. 그리고 한 프레임은 512개의 데이터로 구성된다. 위전도 측정은 약 20~30분 정도를 하므로 6~8 프레임 정도의 데이터를 얻는다. 주파수 분석은 512개의 데이터 단위로 하므로 실시간으로 처리하기엔 무리가 있어서 저장 프로그램과 분석 프로그램으로 분리하였다.

저장 프로그램은 MS-DOS에서 BORLAND C++ 3.1을 이용하여 코딩하였다. DT2821 보드에서 들어오는 4채널의 신호를 실시간으로 화면에 표시하며 한 프레임 512개의 데이터가 모여지면 이것을 FFT하여 현재 들어오고 있는 신호의 주파수 성분을 볼 수 있게 하였다.

분석 프로그램은 Windows 95에서 Matlab을 이용하였다. 저장된 데이터를 선택하여 각 채널별 및 전체 채널을 분석할 수 있으며 전체 주파수와 주요 주파수를 구분하여서 분석할 수 있다. 분석결과는 2D, 3D 그리고 power의 분포로 표시된다.

4채널 위전도 시스템의 개발 및 스펙트럼분석

본 논문에서는 주파수 대역이 아주 좁고 저주파라서 일반적인 디지털 필터를 사용하기가 곤란하여 wavelet multiresolution 방법을 사용했다.

필터링된 신호는 512개씩 FFT되어 화면에 표시되는데 이때 75%씩 중첩되게 하여 신호의 변화를 좀더 자세히 볼 수 있게 하였다.

실험결과 및 고찰

본 연구에서 개발한 4채널 위전도 시스템의 성능을 평가하기 위해 상용화된 위전도 측정기인 Synectics Medical사의 Digitraper EGG를 이용하여 비교하였다. Digitraper EGG는 1 채널인 관계로 4채널 시스템의 채널 1과 비교하였다. 전극은 명치와 배꼽을 잇는 선의 중앙을 중심으로 좌측과 우측에 2개씩 부착하였으며 Digitraper EGG와 4채널 시스템의 채널 1은 가능한 가깝게 부착하였다.

그림 3은 Digitraper EGG를 이용하여 얻은 위전도 신호를 분석한 것이다. 주요 주파수가 거의 3cpm 영역에 들어간 것을 볼 수 있다. 그림 4와 5는 본 연구에서 개발한 4채널 위전도 측정기에서 위전도 신호를 분석한 것으로 2D와 3D로 본 것이다. 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 Digitraper EGG로 얻은 bradycardia가 있는 위전도 신호이다. 역시 그림 7과 8에 4채널 위전도 측정기에서 얻은 위전도 신호를 2D와 3D로 보여주는데 유사함을 알 수 있다.

그림 9와 10은 4채널 전체를 한 화면에 표시하여 각 채널별 변화를 보여주고 있다.

표 1과 2는 위전도 신호의 power의 분포를 보여주는 것으로 최고치에 해당하는 주요 주파수의 분포가 유사함을 알 수 있다. 약간의 차이는 전극 부착시 약간의 거리 간격이 있으므로 생기는 오차일 것이다.

본 연구에서는 4채널 위전도 측정 시스템을 개발하였고 wavelet multiresolution 방법에 의해 필터링을 하여 기저선 변동 및 잡음을 제거하였으며 running spectrum을 이용하여 2D 및 3D로 표시하여 사용자가 쉽게 분석할 수 있도록 하였다. 또한 상용 측정기와 비교에서 본 측정기로 얻은 데이터가 타당함을 알 수 있었다.

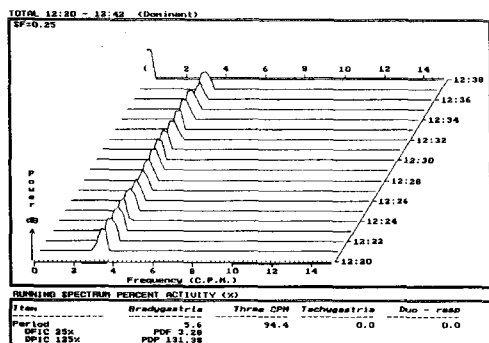


그림 3. Digitraper EGG의 스펙트럼 분석(3CPM)

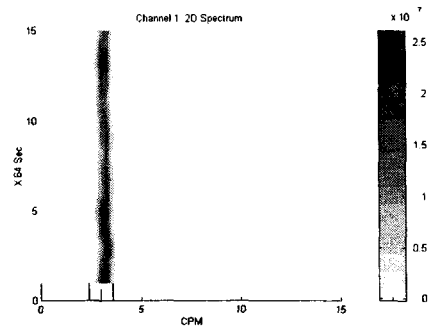


그림 4. 4채널 측정기에서 얻은 위전도 신호 2D 스펙트럼 분석(3CPM)

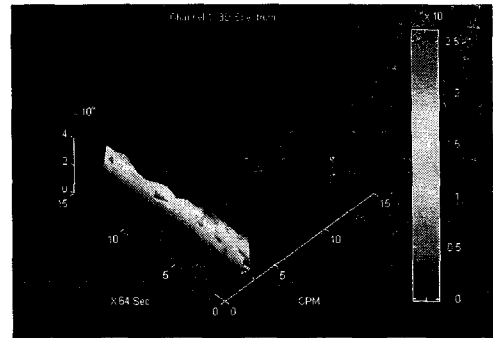


그림 5. 4채널 측정기에서 얻은 위전도 신호 3D 스펙트럼 분석(3CPM)

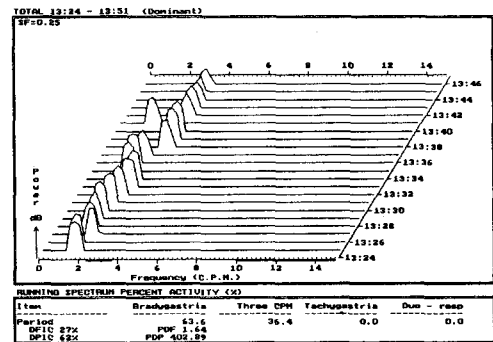


그림 6. Digitraper EGG의 스펙트럼 분석(Bradycardia)

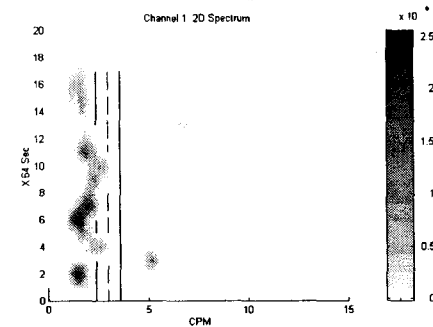


그림 7. 4채널 측정기에서 얻은 위전도 신호 2D 스펙트럼 분석(Bradycardia)

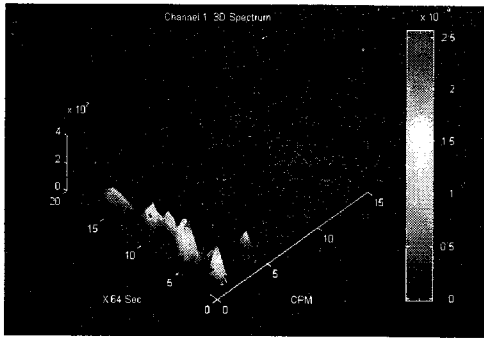


그림 8. 4채널 측정기에서 얻은 위전도 신호 3D 스펙트럼 분석(Bradygastria)

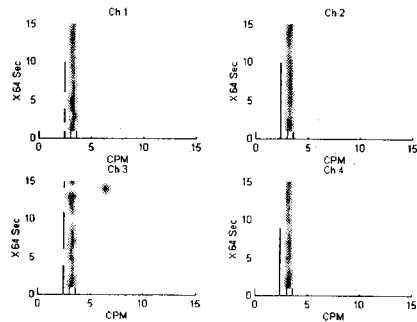


그림 9. 4채널 측정기에서 얻은 위전도 신호 2D 스펙트럼 분석(4채널)

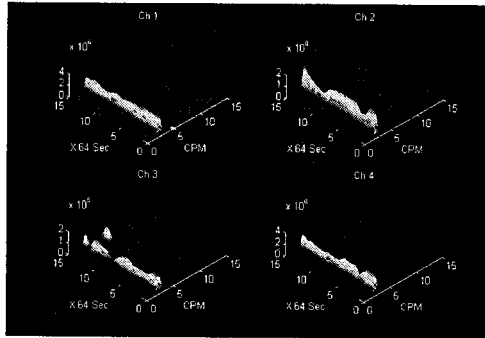


그림 10. 4채널 측정기에서 얻은 위전도 신호 3D 스펙트럼 분석(4채널)

표 1. Digitrapper EGG의 위전도 신호 power 분포

Subj. No.	Synectic Digitrapper EGG			
	Brady.	3 CPM	Tachy.	Duodenal
1	10.50	78.90	10.50	0.00
2	18.80	62.50	18.80	0.00
3	5.60	94.40	0.00	0.00
4	15.80	78.90	5.30	0.00
5	63.60	36.40	0.00	0.00

표 2. 4채널 위전도 시스템의 채널 1 위전도 신호 power 분포

Subj. No.	4 Channel EGG System			
	Brady.	3 CPM	Tachy.	Duodenal
1	0.00	100.00	0.00	0.00
2	6.49	59.69	33.82	0.00
3	0.00	100.00	0.00	0.00
4	20.29	72.23	7.48	0.00
5	61.83	31.47	6.70	0.00

참고문헌

- Vander, Sherman and Luciano, Human Physiology, McGraw Hill, 583-586, 1994
- Jiande Chen and Richard W. McCallum, Electrogastrography : measurement, analysis and prospective applications, Medical & Biological Engineering & Computing, 1991, 29, 339-350
- Jiande Chen and Richard W. McCallum, Gastric Slow Wave Abnormalities in Patients with Gastroparesis, The American Journal of Gastroenterology, 1992, Vol 87, No. 4, 477-482
- Zhi-Yue Lin and Jian De Z. Chen, Time-Frequency Representation of the Electrogastrogram-Application of the Exponential Distribution, IEEE, 1994, Vol 41, No. 3, 267-275
- John G. Webster, Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, A Wiley-Interscience Publication, Vol. 2, pp1107-1111, 1988
- Jiande Chen. Joos Vandewalle. Willy Sansen. Gaston Vantrappen. and Jozef Janssens, Multichannel Adaptive Enhancement of the Electrogastrogram, IEEE, 1990, Vol 37, No. 3, 285-294
- Kenneth L. Koch and Robert M. Stern, Nausea and Vomiting and Gastric Dysrhythmias, Electrogastrography : Principles and Applications, Raven Press, pp309-330, 1994
- A.J.P.M Smout, E.J. Van Der Schee, J.L. Grashuis, What Is Measured in Electrogastrography?, Digestive Diseases and Sciences, Vol. 25, No. 3, pp179-187, 1980
- 유창용, 김수찬, 김덕원, 이상인, 위전도 측정기의 개발 및 스펙트럼 분석, 의공학회 추계학술대회 논문집, 제17권, 제2호, pp82-85