

위전도 계측시스템의 개발

한완택, 김인영, 김원기, *박기원, **김희찬, ***손정일, ***이풍렬, ***이종철
삼성생명과학연구소 임상의학연구센터, *한얼시스템 연구소
서울대학교 의과대학 의공학교실, *성균관대학교 의과대학 삼성의료원 소화기내과

Development of Electrogastrography System

W.T. Han, I.Y. Kim, W.K. Kim, *K.W. Park, **J.I. Son, **P.L. Rhee, **J.C. Rhee
Bio-Signal Lab., BME Center, Samsung Biomedical Research Institute,
*Hanul System Research Institute,
**Department of Biomedical Engineering, Seoul National University
***Department of Gastroenterology, Samsung Medical Center

ABSTRACT

Electrogastrography(EGG) is the technique by which gastric myoelectrical activity is recorded noninvasively, from electrodes on the abdominal skin. Despite many attempts made over the decades, the clinical application of the EGG signal has not improved to the identification of waveform characteristics using comparison of EGG signal to be detected other EGG system. Cutaneous measurements of EGG are yet to be standardized in methods of detection and analysis. This may be responsible in part for some of the variability in the results. Thus, we develop EGG system composed of amplifiers, analysis methods, patient database for standardization. we introduce configurations of EGG system and their functions. Several important EGG parameters are introduced, including the dominant frequency and power of the EGG, the relative, period EGG-dominant frequency and power, the instability coefficient of EGG-dominant frequency and power, standard deviation, the percentage of running spectrum activity of gastric slow waves.

서론

위전도(electrogastrography : EGG)는 복부체표면에 전극을 부착하여, 위의 전기적인 현상을 측정하는 방법이다. 위전도신호의 측정은 1921년 Alvarez에 의해서 처음 이루어져 사인파형태의 위전도신호를 처음으로 얻어냈다.[1] 그 후 간헐적으로 위전도의 연구가 시도되었으나 기술적, 임상적 한계에 부딪쳐 뚜렷한 결과를 얻지못하다가 80년대 이후 전기공학 발전과 위장운동장애에 대한 관심이 대두되면서 또다시 위전도에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 위전도검사법은 현재까지도 측정방법 및 분석방법등이 표준화 되어 있지

않아 서로 다른 기관에서 측정된 위전도신호의 상호 비교를 할 수 없어 임상응용에 적지 않은 장애물로 작용하고 있다. 여기에는 전극의 부착위치, 위전도 전용의 증폭기, 분석장치, 환자 데이터베이스의 부재등을 그 원인으로 들 수 있다. 이러한 문제점을 하나씩 해결해나가고자 임상적인 응용을 목적으로 하는 위전도시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 개발한 위전도시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 구성과 주요기능 등을 소개하고, 본 시스템으로 측정된 위전도신호를 시간영역의 특성 및 주파수 영역의 특성으로 분리 분석하여 임상응용에 도움을 줄 수 있는 파라미터를 제시하였다.

위전도 H/W

환자의 복부 체표면에 전극에서부터 검출된 위전도신호는 전원분리(isolation)된 전치증폭기(pre amplifier)를 거쳐 일차적으로 증폭된다. 주증폭기(main amplifier)에서 또다시 신호가 증폭되고, 필터링(filtering)되어 A/D 변환기(analogue-digital converter)로 전달 된 후, PC(personal computer)에서 위전도신호를 표시하고 분석하여 환자의 데이터베이스(data base)가 구축되게 된다.

1. 전극의 구성

위전도신호는 잡음이 많이 혼입되고 매우 불규칙적이기 때문에 이것을 최소화하고 효과적으로 검출하기 위해 3채널(channel)로 구성하였다. 위전도검사는 공복상태와 식사 직후의 상태에서 각각 실시하되 누운 자세에서 측정한다. 피부와 전극간 전기저항을 최소화하기 위하여 피부표면을 젤(gel)로 닦은 후, 위의 전정부(antrum)의 직상부의 복부 피부표면에 부착한다. 표면전극으로는 은/염화은 전극(Ag/AgCl electrode)을 사용하였다.

2. 생체전기신호 증폭장치

위장의 전기신호 증폭장치로서 크게 전치증폭기와 주증폭기로 구분된다. 전치증폭기는 부분에는 차동증폭기, 고역통과필터, 분리증폭기, 분리전원공급장치로 구성되어 있다. 입력임피던스가 높은 위전도신호의 초단증폭기는 FET type의 OP Amp를

사용하였다.

주증폭기는 가변이득 증폭기, 저역통과필터, 출력회로로 구성되어 있다. 디지털 제어 방식에 의한 가변 이득 증폭회로를 채택하였다. analog multiplexor를 사용하여 8가지의 서로 다른 저항을 선택함으로써 가변 이득을 실현하였다.

3. 제어부(controller)

전체 시스템의 선택 변수인 필터의 차단 주파수와 증폭기의 이득을 기계적인 스위치를 사용하지 않고 마이크로 프로세서(microprocessor, Motorola, MC68HC811E2FN)를 사용하여 디지털(digital)방식으로 처리하는 회로를 구성하였다. 유저인터페이스(user interface)를 위해 액정표시장치(LCD display, Samsung, UC-202-12 20)를 사용하여 구성하였다.

4. 분리전원 및 분리증폭기

생체증폭기의 입력단과 출력단의 전기적인 분리는 반드시 이루어져야한다. 주된 이유는 누설전류에 의한 생체에 미치는 영향 때문이다. 이러한 위험을 방지하고자 위전도증폭기에서는 토로이달(toroidal)코일 방식의 분리변압기(isolation transformer)와 분리증폭기(isolation amplifier)를 사용하여, PC를 포함한 위전도 시스템 전체의 케이스 누설전류를 100 μ A이하로 제한하였으며, 환자누설전류를 10 μ A이하로 제한하였다.

5. 아날로그-디지털 변환부

위전도는 위장막에서 측정된 것과 복부의 체표면에서 측정된 신호의 기하학적 형태에 있어서 차이가 있다. 체표면에서의 위전도의 기본적인 주파수는 3cpm(cycle per min)이지만 위장막 측정에서는 4에서 5Hz 성분까지도 포함하고 있으므로 위전도의 주파수 범위는 0.01Hz에서 5Hz까지라고 할 수 있으므로 표본화주파수를 16Hz로 하였다. 입력 채널은 3개이며, A/D 보드의 데이터는 DMA(direct memory access) 방식으로 PC로 전달되어 멀티타스킹(multitasking)방식의 OS(operating system)에서도 시간의 지연없이 정확한 데이터가 입력되게 구성하였다.

위전도 S/W

위전도 증폭기를 거쳐 증폭된 신호는 A/D를 보드를 지나 디지털화되어 PC로 입력된다. 위전도 S/W는 C++언어를 사용하여 윈도우95에 기반을 둔 그래픽 인터페이스로 제작되었다. 위전도 S/W의 초기메뉴화면을 그림 1에 나타내었다. 초기메뉴화면에서 버튼을 클릭하면 그에 따른 기능들이 수행된다.

1. 환자신상입력 및 데이터베이스 구축

위전도 소프트웨어의 초기부분으로 환자의 신상을 입력하는 부분과 위전도 검사 후의 위전도 데이터를 저장하는 데이터베이스 부분으로 되어있다. 환자의 신상을 입력하는 부분은 환자의 등록번호, 성명, 생년월일, 성별 등을 입력하게 되어있으며, 검사시마다 동일한 경우가 대부분인 진료과, 진료

의, 검사명, 검사자는 config입력부에 등록하면 자동으로 환자 신상 입력부에 표시되어 불필요한 입력을 최소화하였다. 환자 데이터베이스를 관리하는 프로그램의 화면을 그림 2에 나타내었다.

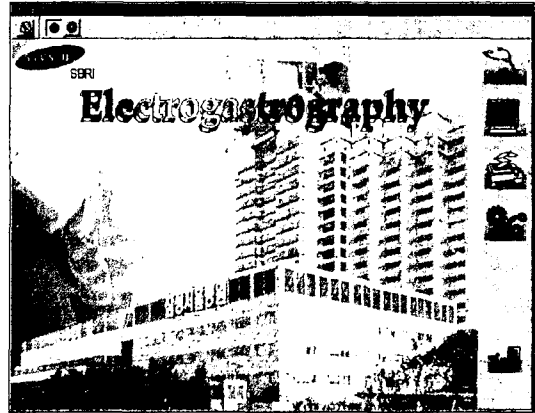


그림 1. 위전도시스템의 초기메뉴
Fig.1. Initial menu of electrogastrography system.

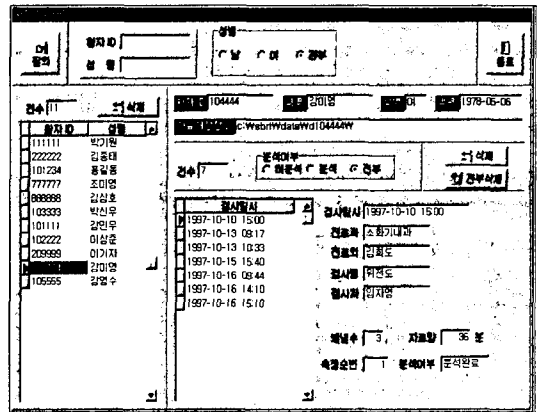


그림 2. 환자 데이터베이스의 관리 프로그램
Fig.2. Management program of patient database.

2. 위전도 데이터의 입력부

환자 복부에서 검출된 위전도 신호는 위전도 H/W와 A/D 보드를 거쳐 데이터 입력부에서 화면에 표시된다. 위전도 신호의 입력도중 임상상 특이한 조건이나 사건이 발생하여 기록이 필요한 경우에 comment 버튼을 눌러 그때의 상황을 텍스트 에디터 박스에 기록하고 저장하여 차후에 임상자료 분석에 활용할 수 있도록 하였다. 위전도 신호가 어떠한 상태로 입력되고 있는지 신호의 양호·불량을 판단하기 위해서 순간분석 버튼을 구성하였다. 순간분석은 시간축상의 일정구간을 FFT하여 사용자에게 그래프로 보여준다. 위전도 데이터의 입력부의 화면을 그림 3에 나타내었다.

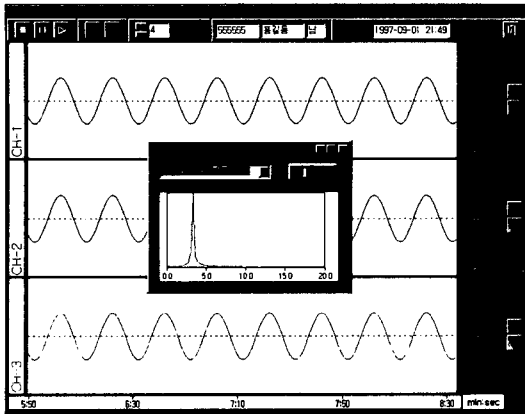


그림 3. 위전도 데이터의 입력부 화면 및 순간분석 대화상자
Fig.3. Screen of data input and real-time analysis dialog box.

3. 위전도 신호의 분석부

위전도 신호에는 신호성분 외에 잡음성분이 포함되어 있는데 mean필터를 사용하여 파형의 위상천이를 발생시키지않고 고주파잡음을 제거하여 이것을 위전도의 기본파형으로 하였다. RSA(running spectral analysis)는 시계열 데이터를 일정길이의 윈도우로 나누어 그 구간안에서 FFT를 수행하여 시간의 흐름에 따라 시간축상에 연속적으로 도시한 것이다. FFT의 구간길이를 4096개로 하고, 25% 중첩을 하여 생성된 데이터를 환자 데이터베이스에 보낸다. RSA 수행중 사용한 FFT의 구간은 주주파수 파워와 주파수를 구하는 구간으로 재사용되어 각각의 구간에서 가장 큰 값을 나타내는 파워와 그때의 주파수를 주주파수 파워와 주파수 값으로 하였다. 위장의 수축운동을 판별하기 위한 자료로 사용되는 구간별 주파수와 파워의 생성은 위전도 신호를 FFT한 주파수 축상에서 1) 0에서 4.5cpm 2) 4.5에서 7.5 3) 7.5에서 12cpm의 3구간으로 나누어 각각의 주파수대역에서 가장 높은 주파수 성분을 추출하여 구간별 주파수와 파워의 값으로 나타내었다. 이밖에 위전도 임상정보에 관련이 되는 파라미터로 주주파수불안정성계수(dominant frequency instability coefficient, IC = SD/MEAN, 여기서, IC는 주주파수불안정성계수, SD는 표준편차, MEAN은 평균), 주주파수의 표준편차와 위빈·서맥의 출현빈도를 나타내는 지수(running spectrum percent activity)등을 추출하여 표시한다. 한편, 다른 위전도 분석장치 및 분석도구에서도 사용자가 마음대로 위전도데이터를 이용하여 분석할 수 있도록 ASCII(American National Standard Code for Information Interchange)방식으로 저장하는 부분도 추가하여 이용의 편리성을 도모하였다. 위전도시스템의 분석부에서 분석된 화면을 그림 5, 6에 각각 나타내었다.

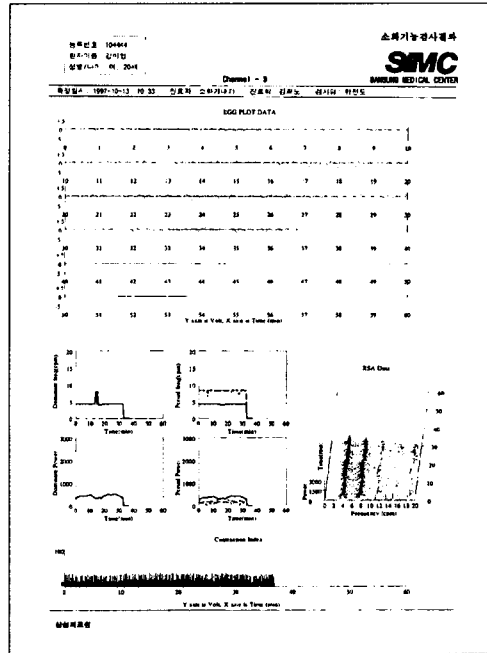


그림 4. 보고서 출력 예 1
Fig.4. Example 1 of report.

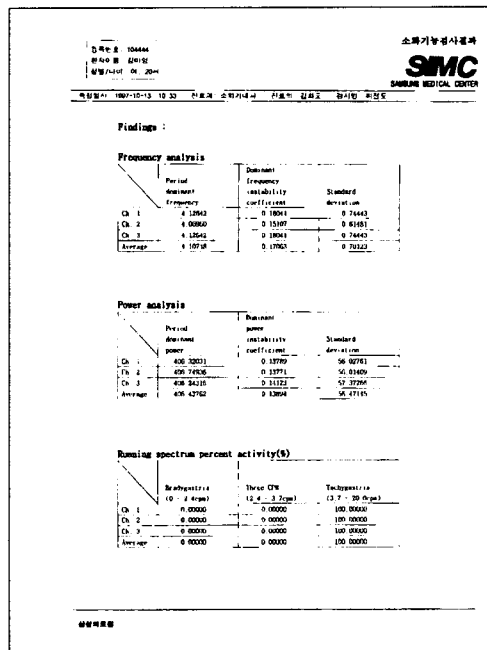


그림 5. 보고서 출력 예 2
Fig.5. Example 2 of report.

4. 위전도신호의 출력부

위전도 출력부는 분석부에서 추출한 값들을 보고서 양식에 맞게 화면과 프린트로 출력하는 부분이다. 출력부는 개별출력과 일괄출력으로 나누어져 있다.

결과 및 고찰

본 연구에서 개발된 위전도 시스템의 전체사진을 그림 9에 나타내었다. 그림의 위쪽으로부터 모니터, PC, 키보드, 위전도 증폭기, 부속품 보관함, 프린터, 분리전원 순으로 구성되어 있다. 위전도 시스템은 PC를 포함한 여러개의 주변장치로 구성되어 있기 때문에 누설전류의 문제가 발생할 수 있으나 토로이달로 구성된 분리전원을 사용하여 IEC(International Electrotechnical Commission, U.S. Inc)규격에 만족하는 위전도 시스템을 설계하였다. 개발된 위전도시스템의 사양과 누설전류 검사값을 각각 표 1과 표 2에 나타내었다.

소프트웨어에서는 시간영역의 데이터의 화면 및 프린터 출력을 통해 파형자체를 관찰할 수 있게 하였고, 주파수분석을 통해 RSA, 주주파수와 파워, 구간별 주파수와 파워, 불안정성 계수, 표준편차, 위빈·서맥의 출현빈도를 나타내는 지수등을 추출하여 표시하였다. 개발된 시스템은 동물실험을 거쳐 임상에 사용되고 있으며 증상에 따른 데이터베이스를 구축하고 있다. 데이터베이스로 구축된 데이터는 동물실험과 임상데이터를 포함하여 약 200건에 이르고 있으며 이를 토대로 위장의 수축운동을 반영하는 파라미터를 추출 중에 있다. 또한, 활용성을 입증받는 자료로 활용되고 있다.

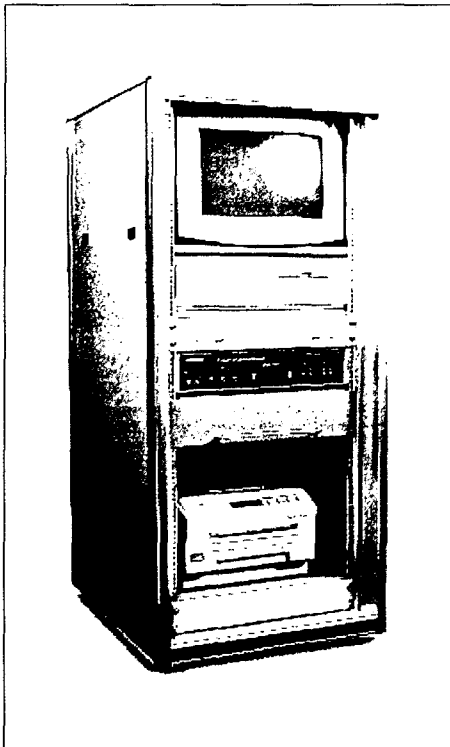


그림 6. 개발된 위전도시스템
Fig. 6. Developed electrogastrography system.

결 론

본 연구에서는 복부 체표면에서 위전도 신호를 측정, 기록하고 분석할 수 있는 임상목적의 위전도 시스템을 개발하였고, 임상적으로 유용한 정보를 얻기 위하여 시간영역 및 주파수영역의 분석을 실시하여 환자데이터베이스를 구축하였다. 위전도 시스템의 표준적인 기능을 제시함으로써 측정된 위전도 신호의 상호 비교가 가능한 발판을 제공하였다. 의료기기에 필수적인 사양인 누설전류를 IEC규격에 맞게 설계함으로써 전기안전 문제를 해결하였다. 유저인터페이스 부분에서 실제 사용자의 주체인 간호사의 편리를 도모하기 위해 가속키를 도입하여 필요이상의 키보드입력을 줄여 의료업무의 편리성을 도모하였다. 임상검사시 관혈적인 방법을 제공하는 검사법은 환자에게서 외면당하는 추세로 비추어 볼 때 비관혈적인 방법인 위전도 검사는 이점에 있어서 장점으로 작용할 것이다.

참고문헌

- [1] W.C. Alvarez, "The electrogastrogram and what it shows", JAMA, vol. 78, pp. 1116-8, 1922.
- [2] T.S. Nelsen and Kohatsu, "Clinical electrogastrography and its relationship to gastric surgery, Am J Surg, vol. 116, pp. 215-22, 1968.
- [3] A.J.P.M. Smout, E.J. Schee and J.L. Grashuis, "What is measured in electrogastrography?", Dig Dis & Sci, vol. 25, pp. 179-87, 1980.
- [4] R.M. Stern and K.L. Koch, *Electrogastrography: Methodology, validation and Application*, New York, Praeger, pp 116-31, 1985.
- [5] J. Z. Chen and R.W. McCallum, "New interpretation of the amplitude increase in postprandial electrogastrogram", Gastroenterol, vol. 98, A29, 1990.
- [6] E.W. Cheney, *Introduction to Approximation Theory: The Tchebycheff solution of inconsistent linear equations*, New York, Chelsea Pub Co, pp. 28-56, 1982.
- [7] Hamilton JW, Bellahsene BE, Reichelderfer M, et al, *Human electrogastrograms*: "Comparison of surface and mucosal recordings.", Dig Dis Sci., pp. 31-33, 1986
- [8] Geldof H.Vander Schee EJ, Van Blankenstein M., Grashuis JL, "Electrogastrographic findings in patients with nausea and vomiting.", Gut, pp 27-799, 1986