

전산화 수면다원검사 시스템 개발

박해정*, 손창호**, 정도인**, 박광석***
*서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학 전공
**서울대학교 의과대학 정신과학교실
***서울대학교 의과대학 의공학교실

Development of Computerized Polysomnographic System

H.J. Park*, C.H. Sohn**, D.U. Jeong**, K.S. Park***

*Interdisciplinary Program of Medical and Biological Engineering Major, Seoul Nat'l Univ.

**Dept. of Psychiatric Science, College of Medicine, Seoul Nat'l. Univ.

***Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Seoul Nat'l. Univ.

Abstract

In this paper, we present the Computerized Polysomnographic System, which we developed for aiding manual polysomnographic diagnosis. This system is composed of four sub parts: patient information management tool, polysomnographic signal acquisition tool, signal analysis tool, and result-reporting tool. We calculated the parameters of sleep diagnosis, both on the sleep stage hypnogram and event lists. We developed this system on the Windows NT 4.0 and Pentium Pro 200Mhz. We are testing this system on the clinical site.

서론

수면다원검사에서 전산화의 도입은 필수적 요청임에 대해 논거한바 있다[1]. 본 연구는 지능형 수면다원종합 검사 시스템을 구현하기 위한 단계로서 전산화된 종합적인 수면진단 및 관리 시스템을 구성하는 것을 다루고 있다. 이 종합 시스템은 환자의 예약 및 정보를 다루는 환자관리 부분과 환자의 수면다원신호를 직접 수집하고 저장하는 부분, 수집된 수면다원신호를 관리하여 수면단계설정과 수면중 사건을 지정하여 수면구조를 분석하는 부분, 분석된 수면 지표를 이용하여 보고서를 작성하는 부분으로 크게 구성되어진다.

본론

본 연구에서 개발한 시스템을 Intelligent Poly-Somnographic System (IPSS) 으로 지칭하고 기본적으로 모든 과정을 객체지향적인 원리로 구성하였다. 각각의 기능을 모듈화하고 확장성이 용이하도록 설계하였으며 Top-Down 구조에 의한 관리체계를 기본적인 바탕으로 하였다. 사용한 OS는 윈도우 NT로서 파일시스템을 매개로 한 데이터 교환, 프로세싱을 기반으로 하기 때문에 데이터의 관리 및 교환을 위해 파일시스템을 기본으로 하였다. 전체적인 사양과 기능을 소개하면 다음과 같다.

<1> 수면 다원 검사 플랫폼

본 시스템은 펜티엄 프로 200MHz에 RAM 128Mbyte, HDD 6G Byte, NEC 21' 모니터, 1600x1200 해상도의 화면 출력이 가능한 밀리니엄 보드를 이용하였다. 모든 주변 장치는 SCSI II 방식을 이용하였다.

수면 다원 검사를 위한 OS로 윈도우 95, UNIX, 윈도우 NT 3.51을 비교하였는데 경제성과 개발의 효율성을 위해서 윈도우 환경을 선택하였고 윈도우 NT는 윈도우 95에 비해 메모리 관리가 효율적으로 이루어져서 속도와 안정성이 비교적 우수하기 때문에, 장시간의 안정성을 보장받아야 하고 빠른 페이징 속도를 요구하는 본 시스템에서는 윈도우 NT 3.51을 선택하였다. 최근 들어 윈도우 NT 4.0 이 발표되어 윈도우 NT 4.0으로 OS를 업그레이드 하여 기반 환경으로 구축하였다. 윈도우 NT 4.0 은 윈도우 95와 같은 사용자 인터페이스를 채택하고 있으므로 안정도와 사용자 친화성에서 우수한 특성을 나타내었다.

<2> 환자 관리 도구

환자의 예약상황을 전체적으로 관리할 수 있고 개개인의 환자에 대한 정보와 측정 정보들을 관리할 수 있도록 하였다. 측정된 신호들을 CD-ROM에 저장하게 되는데 해당환자의 데이터 파일들을 관리하기 위한 정보도 첨가되어 수면다원검사실의 기본적인 업무들을 전산화 할 수 있었다. 지정된 형태에 따라 프린터에 직접 출력되거나 마이크로소프트 워드 또는 액세스 파일로 변환이 되어 저장될 수 있다. 그림 1.에서는 환자 관리 도구의 한 예를 나타내고 있다.

<3> 데이터 수집 도구

DSP(Digital Signal Processing)보드를 이용하여 16채널의 신호를 임의의 주파수로 샘플링이 가능하게 하였는데 기본적으로 고주파 신호(EEG 2ch, EOG 2ch, EMG 2ch, ECG, Sound)에 대해서는 250Hz, 저주파 신호(비공기 흐름, 혈중산소 포화농도, 호흡음, 사지운동, 흉곽운동, 복부운동)에 대해서는 25Hz를 선택한다. GRASS 수면다원증폭기의 하드웨어적인 정보를 GUI를 통해 설정, 저장할 수 있게 하였다.

신호를 수집하는 과정은 윈도우 NT 4.0에서 실시간으로 디스플레이가 되도록 하였는데 이를 위해서 디바이스 드라이버를 자체 구현하였다. 디바이스 드라이버는 메모리 직접 접근과 I/O 포트 사용, 인터럽트 처리를 구동하

게 되는데 인터럽트 부분은 PC의 타이머를 이용하였다. 신호를 디스플레이하는 방식은 메모리 디바이스 컨텍스트를 이용하여 페이퍼 레코딩과 같은 효과를 주도록 하였다. Calibration 신호는 환자검사시 수면기사가 환자에게 장착된 전극을 테스트하기 위해 환자에게 구두로 요청하여 기록하게 되는데 추후 분석에 중요하게 사용되어 지므로 각 부분을 표시하였다. 한편, 네트워크를 통하여 실시간으로 원격지에 데이터를 제공할 수 있도록 하였다. 데이터의 공유를 위해 몇몇의 연구실에서 제안한 뇌파 데이터 파일의 구조로 저장하는 방법[2]도 고려하였으나 데이터 양이 방대한 수면신호의 경우에는 다소 부적합하다는 판단하에 추후에 데이터 변환이 가능한 루틴을 제공하도록 하였다. 그러나 헤더 파일 구조는 그 제안을 기본 프로토콜로 결정하였다.

<4>수면다원신호 분석 도구

수면다원신호의 분석은 일차적으로 수동방식을 통한 보조시스템에서부터 접근하였다. 자동화된 시스템이 나오기는 하지만 그 정확도가 낮고 동시에 신뢰성이 낮아 많은 부분 다시 단계설정을 해야 하는 경우가 많고 수동방식의 여러 임상적 측면을 제대로 지원하지 못하고 있다. 그렇기에 오히려 수동적 접근에서 효율적으로 수면검사를 지원하고 나아가서 자동 알고리즘을 추가함으로써 상호보조적인 시스템으로 나아가야 할 것으로 판단되었다.

전산화된 수면다원 분석에서 일차적으로 고려되는 것은 페이지 속도와 해상도등 현재의 기록지 분석방법의 장점들에 최대한 접근하는 것이다. 그러기 위해서 사용자 인터페이스를 잘 디자인해야 한다. 여러번 임상과의 연계를 통해서 다음과 같은 기능을 일차적으로 설정하였고 이를 구현하였다.

<페이지 넘기기>

페이지 넘기기 기능은 수면검사에서 가장 기본적인 작업으로 6초, 12초, 30초, 60초, 120초 데이터를 선택적으로 화면상에 디스플레이 및 페이지 스크롤 기능을 하게 하고 연속적인 신호의 흐름 효과 기능도 추가되어 페이지와 페이지 사이의 데이터를 분석하는데 용이하게 하였다. 페이지 넘기기는 이전페이지 가기, 다음 페이지 가기, 절대 페이지로 옮기기, 상대 페이지로 옮기기를 단축키와 버튼을 통해 지시하고 사운드기능을 이용할 수 있다. 자동 페이지 기능이 있어서 전체적인 신호의 경향을 단시간에 볼 수 있도록 해 준다. 상태바를 이용해서 페이지 및 현재의 여러 정보 표시하였다.

<수면단계 설정 >

수면은 일반적으로 각성, 단계1, 단계2, 단계3, 단계4와 움직임시간(MT), REM(rapid eye movement)로 나눈다. 각 구간에서 수면단계를 설정할 수 있도록 하는 관리자를 구성하였는데 입력, 수정이 사용자의 편의를 고려하여 디자인 하였다. 그 결과들을 히프노그램으로 나타내어 수면구조를 전체적으로 파악할 수 있도록 하였다. 히프노그램 관리자는 히프노그램상에서 해당 페이지로의 직접 이동등을 제공하여 원하는 단계의 구간들만을 분리하여 쉽게 고찰할 수 있다.

<수면중 사건 설정>

수면중 사건은 수면중에 일어나는 이벤트로서 무호흡, 저호흡, 다리떨기, 이갈이등이 있다. 이벤트가 발생한 구간을 설정해주면 그 이벤트에 해당하는 여러 정보들(기간,

시간, 수면단계, 정도 등)을 자동으로 기록하여 전체적으로 분석할 수 있는 자료를 제공해준다. 심전도의 R 극치값이나 무호흡 구간등 부분적으로 자동구현된 부분들은 컴퓨터가 먼저 계산을 하게 되면 검사자가 확인하여 필요시 수정을 할 수 있도록 지원해 준다.

<기타 >

그 외에도 검사자의 필요에 따라 수면신호에 여러 표시나 기록을 할 수 있도록 원, 사각형, 선 등을 그릴수 있는 도구와 텍스트도 지원하였다.

또한 필요한 신호를 자세히 보기 위해 확대와 축소를 가능하게 하였는데 기본적으로 실제 저장된 수면데이터를 decimation한 것이 화면에 출력되기 때문에 저장된 신호 전체를 보기위해서 이 기능이 요청된다.

스펙트럼 분석등도 기본적으로 지원하고 필요한 데이터의 경우 자르기와 저장 기능을 넣어서 외부에서 Matlab과 같은 응용 프로그램을 이용할 수 있도록 하였다.

이 도구는 그림 5.에서 나타나고 있다.

<5> 보고서 작성 도구

임상에서 수면다원검사의 최종과정은 의사의 소견이 포함된 보고서를 작성하는 과정이다. 이 과정까지 많은 시간이 요청되는데 이를 전산화 시킴으로 손쉽게 보고서를 작성할 수 있게 되었다. 먼저 이전 단계에서 구해진 수면 히프노그램과 이벤트 리스트를 이용하여 여러 수면지표를 계산한다. 본 시스템에서 구현된 지표는 다음과 같다.

1) 수면구조 관련 제반 지표

취침시간, 총 수면시간, 각 수면단계별 수면시간, 각 수면단계별 수면시간 백분율, REM 수면의 시간별 분포 양상, 비-REM 수면의 시간별 분포 양상, 각종 입면기의 판독 일치도 (latency to first sleep epoch, latency to sleep onset, latency to ten minutes sleep, latency to slow wave after sleep onset, latency to first REM after sleep onset, last REM to end of night, last sleep to end of night, number of awakenings, number of awakenings greater than 2 minutes, lights out, lights on)

2) 수면중 사건(event) 관련된 제반 지표

(가) 무호흡 - 폐쇄성, 혼합형, 그리고 중추성에서 각각 다원 지표들을 측정, 분석함 (빈도 및 수면단계별 분포양상, 혈중 산소포화도 분포와의 상관관계, 평균 지속시간, 최대 지속시간, 혈중산소포화도 최저치, 최대치, 평균치 혈중산소 포화도 categorization 및 각각 소요시간)

(나) 저호흡- 폐쇄성, 혼합형, 그리고 중추성에서 각각 다원 지표들을 측정, 분석함(빈도 및 수면단계별 분포양상, 혈중 산소포화도 분포와의 상관관계, 평균 지속시간, 최대 지속시간, 혈중산소포화도 최저치, 최대치, 평균치 혈중산소포화도 categorization 및 각각 소요시간, 무호흡지수)

(다) Periodic leg movements- 발생빈도, 수면단계별 발생 양상, 각성 동반 여부

(라) 심폐기능 지표- 각성시 resting heart rate, 수면중 average heart rate, 비-렘 수면중 무호흡에 따른 심박동수 변화, 렘 수면중 무호흡에 따른 심박동수 변화, 심부정맥 발생 빈도 및 양상, 수면

전산화 수면다원검사 시스템 개발

단계별 호흡수

(마) 미세 각성 - 발생빈도, 수면단계별 발생 빈도 및 양상, 미세각성에 따른 수면단계 변화 양상

위의 수면중 사건 관련 지표중 다), 라), 마)는 구현중에 있다.

위의 여러 지표들을 해당 항목에 따라 화면출력 및 프린터 출력이 가능하게 하였고 마이크로소프트 워드 파일 형식으로 저장되고 엑셀과 연계를 시킬수 있도록 하였다. 최종적으로 환자에 대한 정보와 위의 수면검사 정보를 통합하여 보고서를 출력하게 하였다. 그림 2은 히프노그램과 수면단계에서 구해진 지표들을 보고서로 작성한 결과이며 그림 3는 수면중 사건을 계산한 결과를 보여 주고 있다.

도 의

본 연구를 계획하고 수행하는데 있어서 최대 문제점은 현재 디스플레이 기술의 한계로 인해 기록지 관독에 익숙한 사용자들에게 아직은 불편함을 준다는 점이다. 물론 본 시스템은 상용화된 다른 시스템 보다는 그 부분이 보완되었기는 하지만 고해상도 디스플레이 부분은 절대적인 측면에서 신 기술을 기다려야 하는 입장에 있다.

본 시스템은 현재 서울대학교 수면다원검사실에서 사용되면서 임상에서 테스트에 들어갔으며 임상에서의 피드백을 받아서 지속적인 개선을 하게 될 것이다. 그림 4에서 실제 설치된 본 시스템을 보여 주고 있다.

수면다원검사 시스템으로서 단순한 검사외에도 수면에 관련된 교육적 기능을 하기 위해 미국 Sleep Multimedia Inc. 에서 제작된 SLMM(Sleep Multimedia ver 2.0)를 장착하여 참조가 가능하게 하였다.

본 시스템은 자동분석을 궁극적인 목표로 디자인 되었기에 모듈별 알고리즘의 개발에 용이하다. 실제로 자동화에 필요로한 여러 지표들은 이미 계산이 가능한 상태이다. 이를 종합하여 진단하고 추가적인 지표들을 계산하는 과정들이 남아 있다. 이 부분에 지속적인 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1]박해정 외, "디지털 수면다원검사 시스템 개발", 춘계 대한의공학회 5월, 1996
 - [2]Bob Kemp, et al. "A simple format for exchange of digitized polygraphic recordings", Electroenceph. and clin. neurophysiol., 82(1992) 391-393
 - [3]Guideline Fifteen : Guidelines for polysomnographic assessment of Sleep-related Disorders(Polysomnography), J. of Clin. Neurophysiol., vol. 11(1), pp. 116-124, 1994
- 박해정, 박광석, 정도연

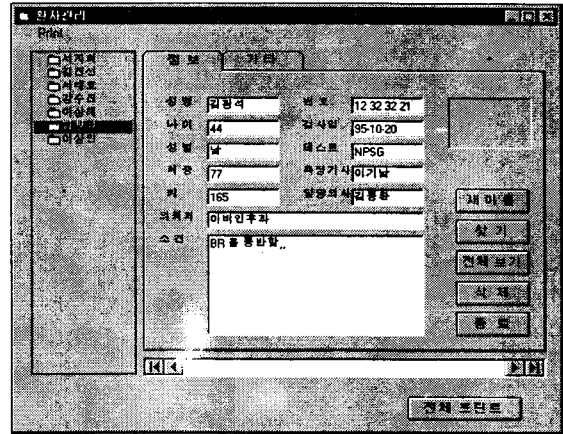


그림 1. 환자 관리 도구
Fig. 1. Patient information manager

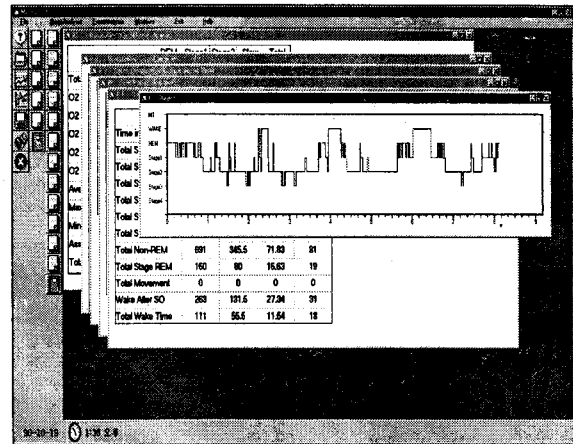


그림 2 수면히프노그램과 수면단계분석 결과들
Fig. 2. Hypnogram and the result of sleep stage analysis

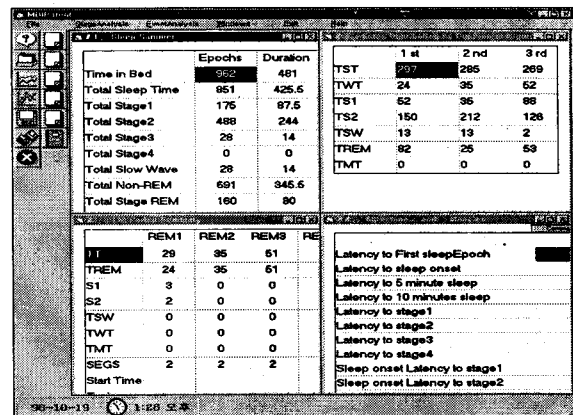


그림 3. 수면중 사건 결과 표
Fig. 3 the result of sleep events

그림 4 지능형 수면다원검사 시스템 : 서울대학교 병원 수면검사실에서 본 시스템이 사용되고 있는데 좌측 하단이 본 시스템의 모니터이다. 중앙이 GRASS의 수면 증폭기이다.

Fig.4 Intelligent Polysomnographic System: practically used in the Sleep Study room in the Seoul Nat'l. Univ. Hospital. The left under monitor is IPSS. GRASS Amplifier is located on the middle of the figure.

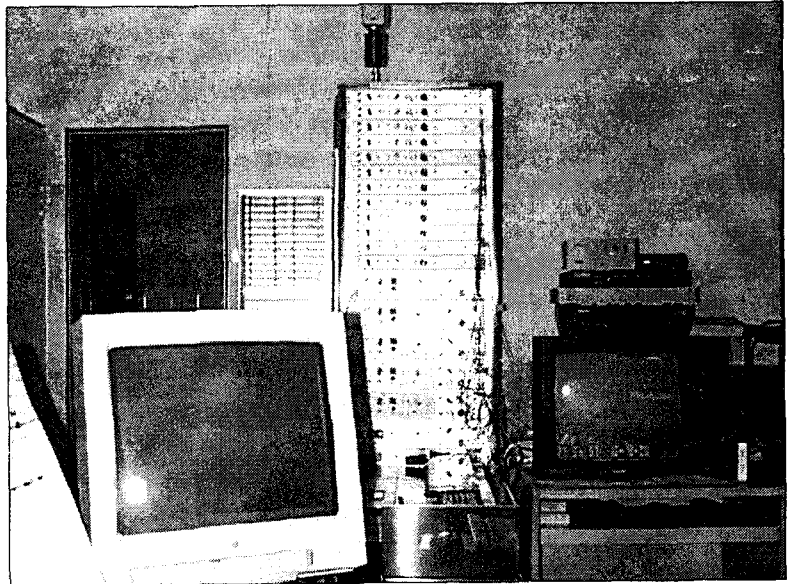


그림 5. IPSS의 수면분석도구 : 수면 해상도가 현재 1600x 1200에서 현재 화면에서는 60초 모드를 사용하고 있다.

Fig. 5. IPSS sleep staging and Event marking tools : The resolution of display is 1600 x 1200, and in this figure 60sec mode.

