

# 평형감각 측정을 위한 안구운동 분석프로그램의 구현

\*김규겸, \*임승관, \*정호춘, \*진달복, \*\*이문영, \*\*박병림  
\*원광대학교 전자공학과, \*\*원광대학교 의과대학 생리학교실  
전북 익산시 신용동 344-2  
kgkim@gaebyok.wonkwang.ac.kr

## Program for Analysis of Eye Movement on Evaluating Balance Test

G.K. Kim, S.K. Lim, H.C. Jeong, D.B. Jin, M.Y. Lee, B.R. Park  
Department of Electronics Engineering, Wonkwang University  
Department of Physiology, Wonkwang University School of Medicine  
344-2, Shinyong-Dong, Iksan 570-749  
kgkim@gaebyok.wonkwang.ac.kr

### Abstract

The purpose of this study was to develop a program for analysis of eye movement on balance. Gain, phase and symmetry in eye movement were calculated automatically by software algorithm with C. It was concluded that the algorithm established in this study will improve accuracy in evaluating balance function.

### 서 론

현대사회가 급변하게 발전하고 생활이 복잡해짐에 따라 스트레스와 각종 사고로 인한 현기증 및 평형장애를 호소하는 환자가 급증하는 추세이다. 평형감각은 일상생활에서 신체의 평형유지 및 자세조절에 중요한 역할을 담당하며, 안정된 활동을 유지하도록 한다. 이러한 평형감각의 상실은 오심, 구토, 현기증, 자발안진, 자세부조화 등을 동반한 전정증상을 초래하여 심한 불편감을 동반한다. 전정기관은 내이의 추체부에 위치하며 개체의 회전자극을 감지하여 평형감각에 관여하기 때문에 평형감각을 측정하기 위한 방법으로 회전자극법과 시운동성 자극법이 이용되고 있다. 본 연구에서는 평형감각 측정을 객관화시키고 정량화 하기 위하여 회전자극이나 시운동성 자극에 의해 유발된 안구운동의 분석을 위한 알고리즘을 개발하여 프로그램으로 구현하고자 하였다. 안구운동의 분석을 위해서 안구신호를 전기안진기록(ENG) 시스템을 통하여 안구의 위치신호와 속도 신호로 생성하였으며 속도 신호의 침두치

를 검출하였다. 최소자승법(Least Square Methode)에 의한 근사곡선을 구하고 FFT변환을 적용하여 회전자극과 동일한 Sin파형을 구하였다. Sin파형의 두 최대점을 이득(gain), 위상(phase), 대칭성(symmetry)을 산출하였다.

## 분석 프로그램의 구성

평형감각 측정을 위한 안구운동 분석프로그램은 환자의 신상정보를 입력하고 관리하며 안구신호 및 분석 데이터를 통합관리하는 환자DB프로그램, 회전자극 시스템을 운용하고 제어하여 안구신호를 기록 저장하는 구동제어 프로그램, 회전자극에 의해 유발된 안구신호를 분석 알고리즘에 의하여 분석처리하는 분석프로그램으로 구성된다.

## 신호분석 알고리즘

회전자극이 주어지면 안진이 출현하며 안진의 서상은 회전자극의 반대방향으로, 안진의 속상은 회전자극과 동일방향으로 출현한다. 안구운동의 측정은 안구운동의 이득 (안구운동속도/회전자극속도)과 위상 (회전자극의 최대속도점과 안구운동의 최대속도점의 차이), 대칭성 (왼쪽 이득과 오른쪽 이득차이)를 측정하여야 한다. 안구운동 속도 측정은 단위시간(1초)에 대한 안진 서상의 기울기 크기 (v/sec)를 구하고, 안구운동을 기록한 ENG 시스템의 안구운동의 크기값 (v/deg)을 표준화검사 (calibration)를 통하여 구한다. 위에서 구한 두 값을 통하여 안구운동 gain값 (d/s)을 구할 수 있다. 본 연구에서는 안구운동 분석을 프로그램에 의한 자동분석 하기 위하여 ENG 시스템을 통하여 안구신호를 안구의 위치신호와 속도신호로 처리하였다. 안구 속도신호는 안진 서상의 기울기값을 주파수와 크기에 비례하는 신호로 변환된 것이며, 안구운동과 안구 속도 신호와의 상관관계를 안구신호와 유사한 삼각파 입력을 통하여 구하였다. 안구운동의 자동분석은 표준화 검사를 통하여 안구운동 30도에 대한 기준전압 (V)

를 측정하고, 각각의 검사를 통하여 안구속도신호를 분석 알고리즘에 적용하여 이득, 위상, 대칭성을 산출하였다.

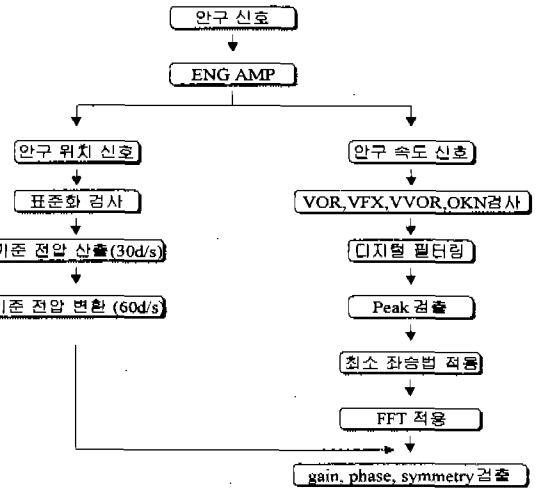


그림 1. 분석처리 흐름도

Fig. 1. Flow chart of analysis in eye movement

### 1) 표준화 검사 분석

안구신호에서 표준화검사의 분석은 안구위치 신호의 상방 평균값과 하방 평균값의 차를 구함으로써 얻는데, 이 값은 안구신호의 30° 회전에 대한 기준전압으로 나타내게 된다. 분석을 위해선 우선 피검자의 안구위치 신호를 좌/우 15° 회전을 한주기 단위로 하여 우 15° 회전시 상방값을 추종하여 평균값을 구하고, 좌 15° 회전시 하방값을 추종하여 평균값을 구한다. 상방값과 하방값을 추종하는 방법은 전/후 데이터를 서로 비교해 가며 한 주기 내 급격히 변하는 경계값을 찾아 상방값 구간을 찾고 하방값 구간을 찾는다. 그림 2은 상방 평균값과 하방 평균값을 찾아 구한 곡선을 나타내고 있다. 구해진 상방 평균값에서 하방 평균값을 빼면 30° 회전에 따른 안구신호의 기준전압 (V)을 구할 수 있다.

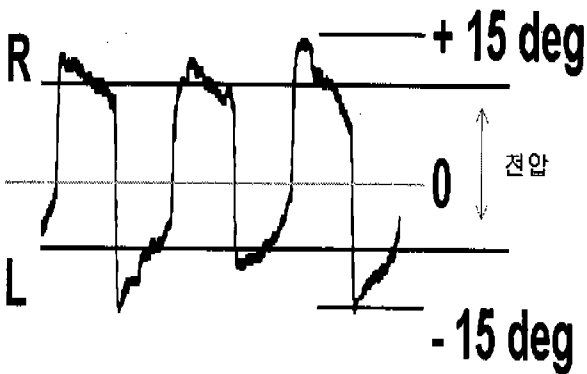


그림 2. 안구신호 표준화 검사의 상방 평균값 곡선과 하방 평균값 곡선

Fig. 2. Calibration for measuring eye velocity

2) 첨두치 검출

안구 속도신호는 ENG 시스템을 통하여 안진 서상의 기울기에 따른 속도신호로 변환되어 입력 되므로 급격한 기울기를 갖는 신호성분이다. 따라서 첨두치 검출은 전,후 데이터를 계속 비교해 가며 급격히 변화하는 경계면을 인식하도록 하여 상방신호의 첨두치를 검출하였고 하방신호의 첨두치를 검출하였다. 안구속도 신호는 회전자극 주기와 연관되어 발생되므로 회전 자극의 한 주기를 단위로 하여 계속 중첩시키며 첨두치를 검출하도록 하였고 전에 구한 첨두치와 평균값으로 계산하였다. 경계면의 인식은 신호변화 구간값을 설정하여 신호의 작은 변화에는 인식시키지 않고 크게 변화되는 지점만 찾도록 하여 정확한 첨두치 검출이 이루어지도록 하였다. 상방신호와 하방신호의 변화의 구간 인식은 정상인들의 측정에 의한 Model Velocity Curve를 구해 그 지점을 경계로 상방신호에서는 상측 첨두치를 검출하고 하방신호에서는 하측 첨두치를 검출하였다. 자동분석의 오차는 수동분석을 통하여 보정할수 있도록 하였다. 화면상에 중첩되어 출력된 안구신호 파형을 보고 사용자가 경계면을 지정할수 있도록 하여 분석의 신뢰도를 향상시켰다.

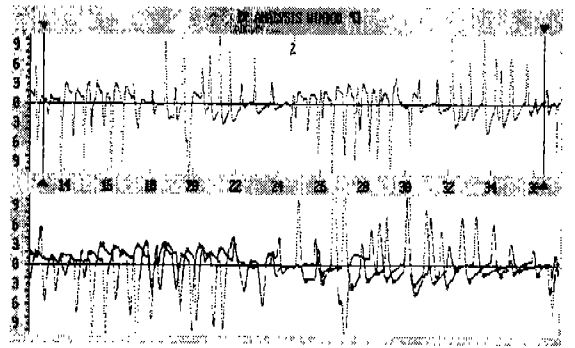


그림 3. 안구신호 첨두치 검출

Fig. 3. Measurement of peak point in eye velocity

3) 반주기 데이터 삭제

회전자극을 실시한 첫 주기의 반주기 회전동안은 정상안구반사가 정확하게 출현하지 않으므로 안구신호의 검출 빈도가 적게 이루어지게 된다. 따라서 이 구간의 안구신호 데이터는 전체 안구신호 분석에 큰영향을 주게 된다. 본 프로그램에서는 안구운동 분석의 신뢰도를 높이기 위해 회전자극을 2주기 이상 실시하여 가능하면 많은 데이터를 취하도록 하였으며 분석 결과에 영향을 주는 이 구간의 데이터는 자동 삭제되도록 하였다. 그림 4는 반주기 데이터 삭제과정을 보인 그림이며 삭제구간은 구분지어 표시토록 하였고 첨두치 검출시 자동 삭제 되도록 하였다.

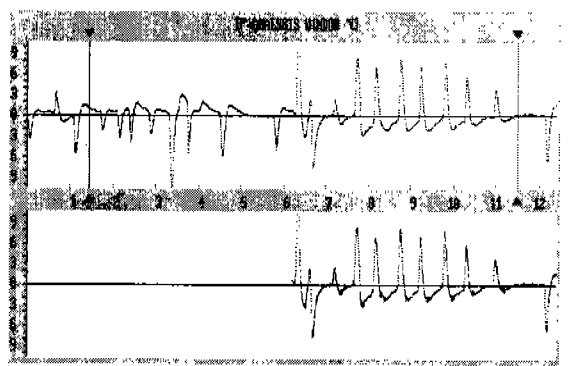


그림 4. 안구신호 첫주기에서 반주기 데이터 삭제  
Fig. 4. Deletion of first halt cycle data from first cycle of eye movement

#### 4) 중간데이터 생성 및 노이즈 삭제

검출된 침두치 데이터는 least square curve fitting에 의하여 근사값으로 처리되는데 최소자승법은 작은 오차가 여러개 모이는 것보다 큰 오차 하나에 의해 더 많은 영향을 받으므로 갑자기 변하는 데이터는 삭제하고 침두치와 침두치간 중간데이터는 증가분만큼씩 더해 생성하여 분석의 신뢰도를 높였다.

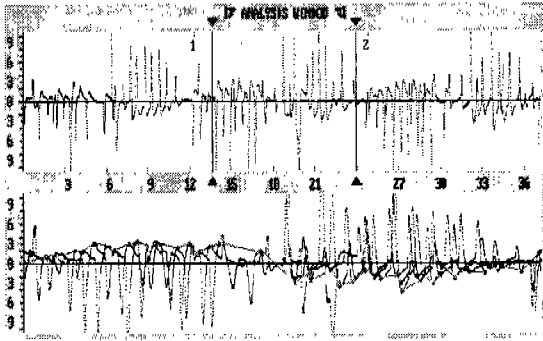


그림 5. 안구신호 노이즈 삭제

Fig. 5. Deletion of noise from signals of eye movement

#### 5) 최소자승법에 의한 곡선의 근사

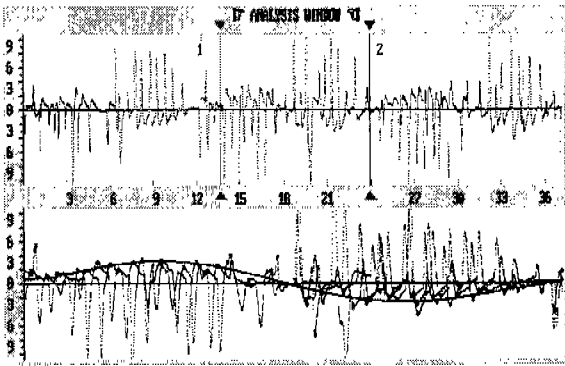


그림 6. 최소자승법에 의한 곡선의 근사

Fig. 6. Curve fitting by least square method

주어진 데이터의 개수가 구하려는 곡선의 매개변수보다 많은 경우 정확한 곡선을 구할수 없는데, 구해진

곡선과 주어진 데이터와의 오차가 가장 적은 곡선은 최소자승법을 이용하여 구할수 있다. 검출된 침두치의 curve fitting을 최소자승법 6차를 적용하여 가장 근사값으로 추종하도록 하였다.

#### 6) 푸리에 변환 (FFT)

주기 T인 주기함수 f(t)의 Fourier 급수

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin \omega_0 t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \omega_0 t dt$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

$\Delta t$ 간격 (128~1024 Hz)으로 T개의 샘플링된 안구속도 신호의 침두치 데이터를 Fourier급수 f(t)함수에 적용하여 N=1일 때 회전자극과 동일한 Sin파형을 구하였다. Sin파형의 180도 위상내 최고점을 찾고, 나머지 180도 위상에서 최고점을 찾아 식 1)과 같이 ENG시스템의 상관도 식에 대입하여 오른쪽과 왼쪽 각각 이득을 구하였다. 위상은 식 2)와 같이 구하였으며 대칭성 또한 식 3)에 의해 구할 수 있었다.

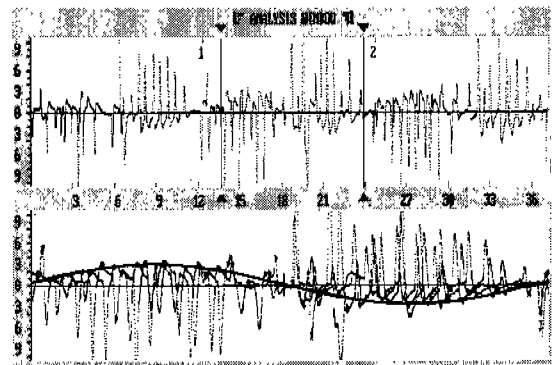


그림 7. 푸리에 변환 (FFT)

Fig. 7. Fourier transformation

- 1) Peak rotatory chair velocity = 0.619 × eye position gain + 0.42
- 2) Gain = peak eye velocity / peak rotatory chair velocity
- 3) Phase = peak rotatory chair velocity - peak eye velocity
- 4) Symmetry = (RG-LG) / (RG+LG) × 100

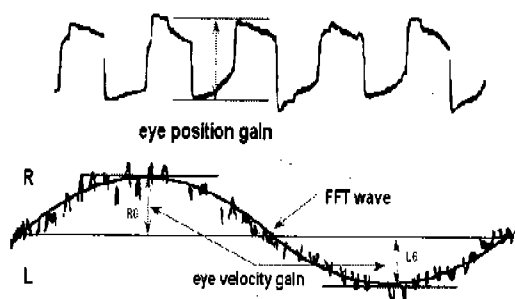


그림 8. gain, phase, symmetry 계산

Fig. 8. Calculation of gain, phase and symmetry

## 실험결과 및 고찰

### 1. 실험방법

피검자는 원통 부스안에 설치된 회전자극기 시스템에 앉히고 전정기관의 수평반구관에 회전자극이 가장 효과적으로 주어질수 있도록 환자의 두부를 전방으로 30° 숙여 고정하였다. 전정기관 자극에 의하여 출현한 안구운동은 ENG AMP를 통해 기록하는데, 이때 탐색전극을 우측 안외각체피부위에 무관전극은 좌측 안외각체피부위에, 그리고 접지전극은 이마의 중앙부위에 부착하였다. 안구신호 검출용 전극으로는 Ag-AgCl 표면전극을 사용하였다. 피검자의 정신적, 육체적 상태는 전정안구반사에 많은 영향을 준다. 따라서 전정안구반사를 측정할 때 피검자에게 숫자를 셈하거나 검사자의 질문에 응답하도록 유도하여 정신적 긴장상태를 유지하도록 하였다. 피검자의 대상은 20~40대 연령의 정상인 남녀 각각 10명을 측정하였다.

### 2. 시각향진 전정안구반사(VVOR)

자세의 조절에 대한 시운동성 자극의 영향을 측정하기 위하여 회전자극을 가하는 동안에 시운동성 자극을 가하였다. 시운동성 자극은 부스안의 회전외자에 피검자를 앉히고 시운동성 자극용 드럼을 40°/sec의 속도로 회전하면서 반대방향으로 정현파 회전자극기를 최대 60°/sec의 속도로 0.04 ~ 0.08 Hz까지 회전자극하였다. 이때 피검자는 반대방향으로 움직이는 그림자막대를 응시하므로써 전정기관의 자극과 시각자극을 동시에 가하는 검사를 실시하였다. 전정기능과 시각계가 정상인 피검자는 안구운동의 이득이 전정기관만을 자극한 경우에 비교하여 증가함을 보이므로써 시각이 전정안구반사에 영향을 미치며, 만일 전정기관이나 시각계의 이상을 동반한 경우에는 안구운동의 이득이 감소함을 예측할 수 있다.

### 3. 검사결과

전정기능 검사의 결과는 안구신호의 이득, 위상, 대칭성으로 분석하며, 전정안구반사, 시운동성 전정안구반사의 검사를 통해 평형기능을 평가할 수 있다.

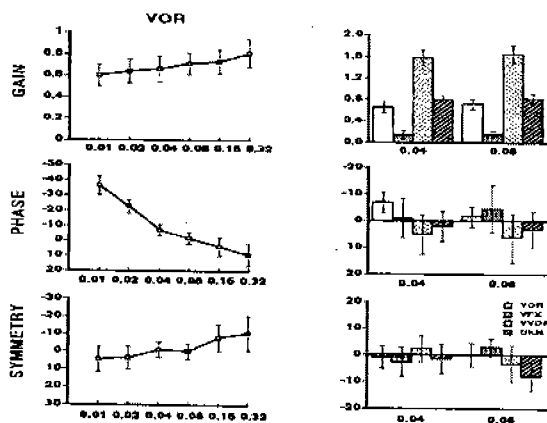


그림 9. 전정기능 검사결과

Fig. 9. Gain, phase and symmetry in vestibular function test

## 결 론

본 연구에서는 평형감각의 기능저하 및 상실을 객관적이고 정량적으로 평가할수 있는 안구운동 분석알고리즘을 개발하고 분석프로그램으로 구현하였다.

- (1) 평형감각 측정을 안구운동 분석에 의하여 안구운동 이득, 위상, 대칭성을 산출하고 정상인의 임상데이터를 구축함으로써 병변의 진단을 객관화시키고 정량화 하였다.
- (2) ENG 시스템을 이용하여 안구운동 속도신호를 발생시키고 안구운동과 안구속도신호와의 상관도를 구하였다.
- (3) 안구운동 분석은 안구속도신호의 첨두치를 검출하고 최소자승법에 의한 곡선의 근사와 푸리에 변환을 적용하였다.
- (4) 안구운동 분석을 정량화하기 위하여 표준화검사를 수행하였고 분석결과값 산출에 적용하였다.

## 참 고 문 헌

1. V.J. Wilson and G. Melvill Jones, Mammalian vestibular physiology, New York, Plenum, pp41-76, 1979.
2. V.J. Wilson, R.H. Schor, I. Suzuki and B.R. Park, "Spatial organization of neck and vestibular reflexes acting on the forelimbs of the decerebrate cat", J Neurophysiol, Vol. 55, no. 3, pp514-526, 1986.
3. T. Brandt, Vertigo: Its multisensory syndromes, New York, Springer-Verlag, pp1-24, 1991.
4. H.O. Barber and C.W. Sto, "Preparations for testing. In: Manual of electronystagmography", St Louis, The CV Mosby Co, pp159-187, 1980.
5. A. Herman, Jenkins and Jefim Goldberg, "Test-Retest Reliability of the Rotatory Test in Normal Subjects ", Adv Oto-Rhino-Laryng, Vol. 41, pp190 - 195, 1988.
6. U.W. Buettner, V. Henn and L.R. Young, "Frequency response of the vestibuloocular reflex in the monkey", Aviat Space Environ Med, Vol. 52, pp73-77, 1981.
7. I.S. Curthoys, P.H.I. Blanks and C.H. Markham, "Semicircular canal functional anatomy in cat, guinea pig and man ", Acta Otolaryngol, Vol. 83, pp258-265, 1977.
8. I.P. Howard, "The optokinetic system In: the vestibuloocular reflex and vertigo", edited by J.A. Sharpe and H.O. Barber, New York, Raven Press, pp163-184, 1993.
9. 임승관, "현기증 환자의 진단을 위한 임상용 회전자극 시스템 개발", 원광대학교 전자공학과 석사학위논문, 1995.