

디지털 방식의 안운동 기록과 측정치의 재현성

한승한 · 김홍복 · 이종복 · 권오웅 · 유선국*

= 요약 =

안운동 장해가 있는 환자들을 진단하고 치료하기 위해서 안운동을 기록할 수 있는 여러 가지 진단 기구가 사용되어 왔다. 대부분의 진단 기구들은 눈의 움직임을 직접 기록하지 못하고, 피부 혹은 공막 등에 부착된 전극을 통해 눈의 움직임 시에 발생하는 전기적 아날로그 신호를 간접적으로 기록하며, 고정 장치를 사용하기 때문에 환자에게 불편을 준다. 이에 반하여 디지털 방식의 기록장치는 외부의 신호에 의해 간섭받지 않으며, 그 측정의 재현성도 뛰어난 것으로 알려져 있다. 저자들은 비디오 카메라와 정지화상기록 컴퓨터 및 화상처리프로그램을 이용하여 디지털 방식으로 눈의 수평, 수직 운동을 기록하고 그 측정의 재현성을 평가하고자 하였다. 측정결과 안운동 장해 환자의 안구운동이 주로 6Hz 이내에 운동에너지가 많이 분포하였으며, 10, 11Hz 대에서도 의미있는 운동에너지를 보여주었다. 또한 시간대별 안운동 진폭을 inverse Fourier transformation으로 적은 운동에너지대를 제거하여 수평 및 수직 안운동을 보다 뚜렷이 관찰할 수 있었다. 재현성을 평가하기 위해 coefficient of variation을 구한 결과 수평운동은 0.68%, 수직운동은 1.21%로 검사간의 변화가 매우 적어 재현성이 양호함을 알 수 있었다. 결론적으로 디지털 방식의 안운동기록은 기존의 방식을 대체하여 편리하게 사용할 수 있었으며, 재현성의 평가에 있어서 기존의 방법과 비교하여 정밀하였다(한안지 40:197~210, 1999).

= Abstract =

Digitalized Eye Movement Recording and Verification of its Reproducibility

Sueng-Han Han, M.D., Hong-Bok Kim, M.D., Jong-Bok Lee, M.D.,
Oh-Woong Kwon, M.D., Sun-Kok Yoo, Ph.D.*

<접수일 : 1998년 7월 2일, 심사통과일 : 1998년 9월 4일>

연세대학교 의과대학 안과학교실, 시기능 개발 연구소

Address reprint request to Sueng-Han Han, M.D.

The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, College of Medicine, Yonsei University,
#146-92 Togok-dong, kangnam-gu, Seoul, 135-270, Korea

Tel : 82-2-3497-3440, Fax : 82-2-3463-1049

연세대학교 의과대학 의용공학교실*

Department of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea*

Many diagnostic tools, which record eye movement, are available for diagnosis and treatment of the patients with impaired eye movement. Most of these tools cannot record directly the eye movement but record electrical analog signal developed when eyeball moves through electrode attached on skin or sclera. Because they need a fixation device, they may bring a patient discomfort. It is well known that digital recording device is not interfered by external noise signal and that its reproducibility is acceptable. We have developed a non-invasive, direct, and precise technique for recording eye movement and verified its reproducibility. We video-taped the horizontal and vertical eye movement and processed the captured images digitally using a image analysis program. The result showed the frequency energy of eye movement in the range within 6 Hz and at 10 or 11Hz. The eye movement was observed more clearly after filtering the low frequency energy by inverse Fourier transformation. The reproducibility for measurements of total variability were as follows; vertical displacement measurements, 1.21%; horizontal displacement measurements, 0.68%.

In conclusion, this new technique is easy and comfortable to examiner and patient. Its reproducibility was acceptable. Thus it may served as a substitute of conventional tools for recording eye movement (J Korean Ophthalmol Soc 40:197~210, 1999).

Key Words : Digital, Image analysis, Fast Fourier transformation, Reproducibility

안운동이상 질환(사시, 안진, 외안근마비)이 있는 환자들에 있어서 안운동이상의 확진 및 교정수술의 양을 결정하기 위해서 안운동을 시간대별로 도식화하여 분석하는 것이 필요하다. 이러한 안운동의 기록 방법에는 전기안진도(electro-nystagmography), 자기탐색코일방법(magnetic search coil method), 적외선 각막윤부 추적방법(infrared limbus tracking method), 각막반사방법(corneal reflection method) 등이 있다. 전기안진도는 안운동 탐색이 아날로그 방식이며, 여러 잡음신호에 의한 간섭이 크며, 자기탐색코일방법은 역시 아날로그 방식이며, 콘택트 렌즈를 사용하는 관찰적인 방법이다. 적외선 각막윤부 추적방법이나 각막반사방법은 디지털방식으로 기록하나 헬멧이나 고정틀을 사용하여야 한다. 따라서 환자에게 부담을 적게 주면서 정확한 안운동 기록 방법을 개발할 필요가 절실하다고 하겠다.

최근 들어 개인용 컴퓨터의 용량이 증가하고 처리속도가 빨라지고 있으며, 기존의 아날로그방식의 신호들이 컴퓨터의 2진법을 사용하는 디지털

방식으로 바뀌고 있다. 이에 저자는 환자에게 부담을 적게 주면서 디지털 방식의 안운동 기록 및 안운동 각도 측정방법을 개발하고자 하였다.

저자들은 대중화된 비디오 카메라로 안운동을 녹화한 후 초당 30프레임(frame)의 비디오화면을 컴퓨터 내에 장착된 프레임 포착프로그램(frame grabber)로 정지화상을 얻은 후 각각 화면상의 한 점을 x, y좌표로 표시하여 안운동의 진폭을 시간대별로 전기안진도와 같은 방식의 그래프로 기록하였다. 또한 새로운 검사법으로서의 신뢰성을 확인하기 위하여 측정값의 검사자내 재현성(Interpersonal reproducibility)을 coefficient of variation(CV, %)을 통하여 구하였다.

대상 및 방법

대상은 수평 혹은 수직안진 7명 8안, 듀안증후군 제1형 및 3형 각각 1명 1안, 외전신경마비 1명 1안, 정상안 1명 1안으로 총 11명 12안이었다. 평균연령은 22.5세였으며 남녀 성비는 각각

Table 1. Demographics of cases

No	Age	Sex	Diagnosis	Eye	Findings	Others
1	35	M	down beat jerk nystagmus	right	2-3Hz down beat jerk nystagmus, pendular nystagmus	
2	13	M	DRS* type I (left)	right	normal saccadic movement	20 degree jump
3	25	F	DRS type III (right)	right	decreased saccadic movement in abduction and adduction	
4	30	F	horizontal pendular nystagmus down beat jerk	left	3-4Hz pendular nystagmus	
5	10	M	nystagmus, horizontal pendular nystagmus	right	4-5Hz left beat jerk, pendular nystagmus	left saccadic movement
6	20	F	horizontal pendular nystagmus	left	4-5Hz pendular nystagmus and left saccadic movement	20 degree jump
7	26	M	periodic alternating nystagmus	right	right OKN* response	0.375/deg × 200mm/sec
8	8	M	pendular, left beat jerk nystagmus left beat jerk	right	2-3Hz pendular, left beat jerk nystagmus	pre-Kestenbaum
9	14	M	nystagmus, left head turn	right	null point-left side	operation
9	14	M	left beat jerk nystagmus	right	null point-primary position	post-Kestenbaum operation
10	51	F	abducens nerve palsy (right)	right	abducting nystagmus	post op left media rectus Faden operation
11	23	M	normal	right	saccadic movement	10 degree jump

* DRS: Duane's retraction syndrome, OKN: optokinetic nystagmus

Table 2. Characteristics of system

Camera	Sony 3CCD, Model VX-1
Video recorder	Sony EV-C100(Hi-8 format)
Image processing software	MOCHA for windows(Jandel Inc., CA, U.S.A.)
Hardware	
CPU	486 DX4-100MHz, IBM clone
frame graber	Videomaker(Vitec Co, Paris, France), 640×480(pixels)

7:4 였다(Table 1).

안운동을 촬영하고 디지털 좌표를 얻기 위해 특별히 고안된 장비를 사용하였다(Table 2, Fig. 1). 대상자들을 편안한 자세로 앉힌 후 정면을 주시하게 하였으며, 조명은 형광등으로 하였고 조도는 일정하게 하였다. 단안을 수분간 3CCD 비디오 카메라로 녹화하였으며, 비디오카메라의 셔터 속

도는 1/30초에 고정하였다. 화면상 거리의 측정을 위하여 환자의 눈을 감게 한 후 환자 얼굴에 mm 단위가 표시된 자를 부착 후 촬영하였다. 대상 2, 3, 9, 10, 11의 수평신속운동을 유발시키기 위하여 10도 간격의 점프포적(jump target)이 사용되었다. 표적은 환자의 전방 150cm에 위치시키고 카메라를 표적의 뒤에서 환자의 눈 높이에 맞추어 촬영

Fig. 1. Video frames were captured and digitally transformed to X, Y coordinates by frame grabber in 32 bit micro-computer.

하였다. 표적의 불빛은 작은 점멸 전구(LED)를 사용하였다. 대상 7에서 시운동안진(Optokinetic nystagmus) 반응을 유발시키기 위하여 110cm 거리에서 1개의 격자무늬의 넓이가 32pixel이며, 흑백 격자의 대비가 33%인 square wave grating target(0.375cyc/deg)을 컴퓨터에 프로그래밍하였다. 이 격자무늬를 200mm/sec의 속도로 환자의 좌우 측으로 회전시킨 후 대상으로 하여금 이것을 주시케 하여 시운동안진 반응을 유도하고 우안을 비디오카메라로 녹화하였다.

안운동기록의 자료 분석은 컴퓨터와 화면포착프로그램 및 MOCHA 영상분석프로그램을 이용하였다. 녹화된 비디오화면 중 분석하고자 하는 임의의 화면을 택하여 486 Dx4-100 컴퓨터에 장착된 화면포착프로그램(frame grabber, Video maker, VITEC Co, Paris, France)으로 256개의 연속화면을 RGB true color 파일(tif file)로 디지털화한다.

포착된 화면 상에서 이동점(F, following point)과 1개의 고정점(R, reference point)을 취한다(Fig. 2). 이때 우안의 고정점은 내안각 그리고 좌안의 고정점은 외안각을 취하며, 이동점은 동공중심을 택한다. 이렇게 얻어진 두 점의 x, y좌표를 분리하여 각각 수직 및 수평 거리(pixel)를 구한다. Pixel 단위를 calibration하여 mm로 치환한다. 256개의 화면상의 고정점과 이동점 사이의 거리를 위와 같이 구한 후 시간대별로 안운동거리를 mm 단위로 도해하며, 각각의 대상마다 약 8.3초간의 안운동거리를 시간대별로 도해한다. 이때 비디오화면의 한 프레임은 0.033.....초이므로

Fig. 2. Digitally transformed X, Y coordinates
F: following point, R: reference point

256개의 선택된 화면은 0초에서 약 8.3초까지가 하나의 그래프로 표시되었다. 이렇게 구성된 그래프는 x축을 시간대(초)로 하고, y축을 안구의 수직 및 수평운동거리(mm)로 표시되었다(Fig. 3-6). 이런 안운동을 진동 주파수별로 분류하여 진동 주파수 대에 따른 안운동의 에너지 분포를 알기 위해서, Fast Fourier Transformation(FFT)을 이용하여 시간대별 안운동을 진동 주파수에 따른 에너지량으로 바꾸어서 표시하였다. 구성된 그래프는 x축을 진동 주파수(Hz)로 하고 y축을 에너지량(Log(Fx, Fy))으로 표시하였다(Fig. 3-6). 이 그래프를 분석하여 각각의 대상마다 에너지 분포가 적다고 생각되는 진동 주파수를 선택하여, Inverse Fast Fourier Transformation(IFFT)을 이용하여 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 재구성하여 기존의 도표상에 같이 표시하였다(Fig. 3-6).

측정값의 재현성을 평가하기 위하여 안운동기록을 위하여 녹화한 화면 중 임의의 한 개의 화면을 취한다. 취한 화면 중 각각 1개의 고정점(R)과 이동점(F)을 20회 반복하여 취한다. 이렇게 하여 얻어진 20개의 좌표를 각각 x,y로 분리하여 각각의 이동점(Fx, Fy)과 고정점(Rx, Ry) 사이의 거리의 차(Fx-Rx, Fy-Ry)를 구한다. 20개의 (Fx-Rx, Fy-Ry) 값의 표준편차(Stdev)와 평균값(Mean)을 구한다. 재현성의 평가는 표준편차를 평균으로 나눈 Coefficient of Variation(CV, %)을 구하여 알아보았다.

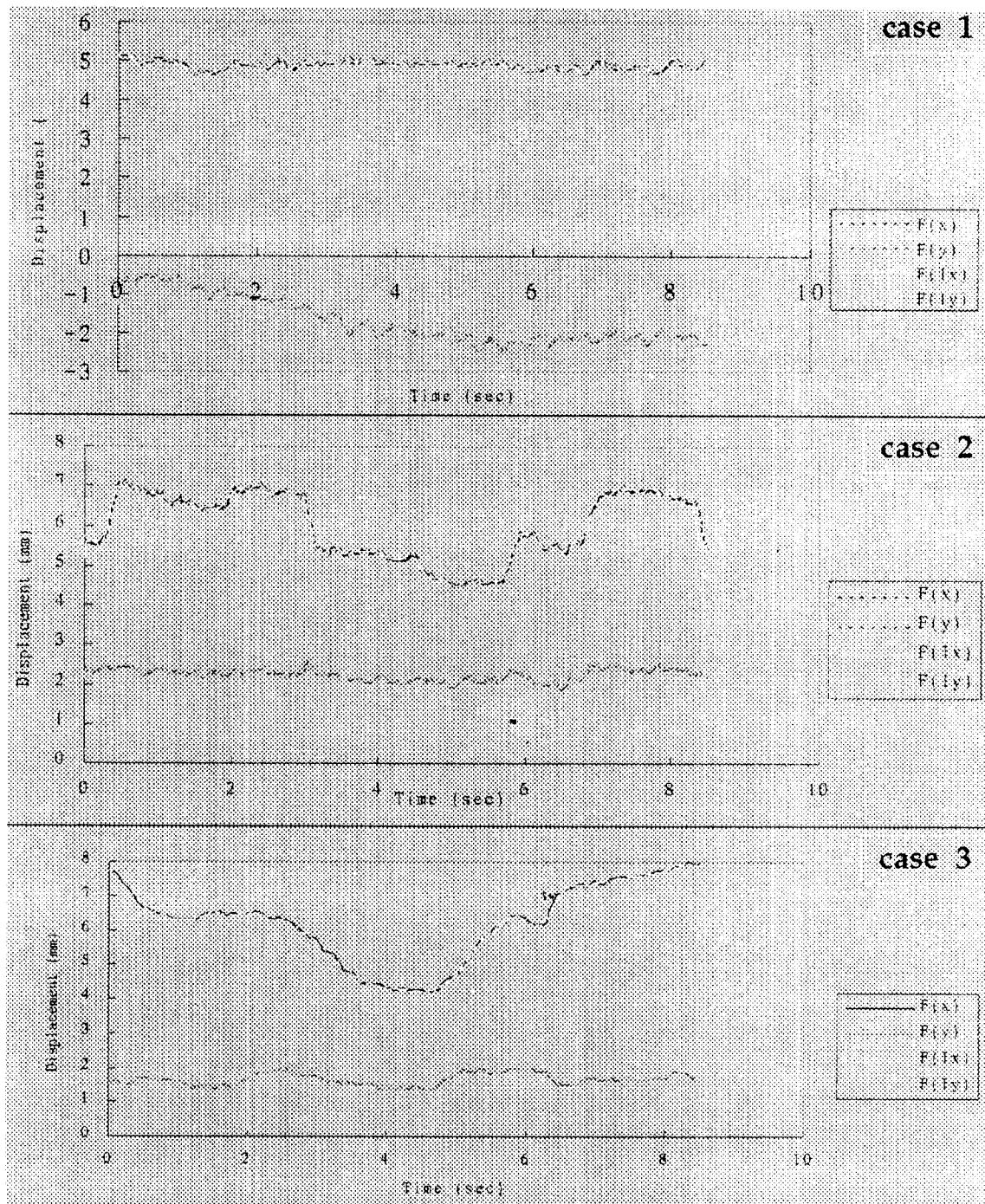


Fig. 3. Horizontal(Horizontal Displacement, $F(x)$) and vertical(Vertical Displacement, $F(y)$) eye movements of case #1 to #3. $F(Ix)$ and $F(Iy)$ show horizontal and vertical eye movements of case #1 to 3 after filtering more than 5Hz, 4Hz, 2Hz respectively of $F(x)$ and $F(y)$ using Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT).

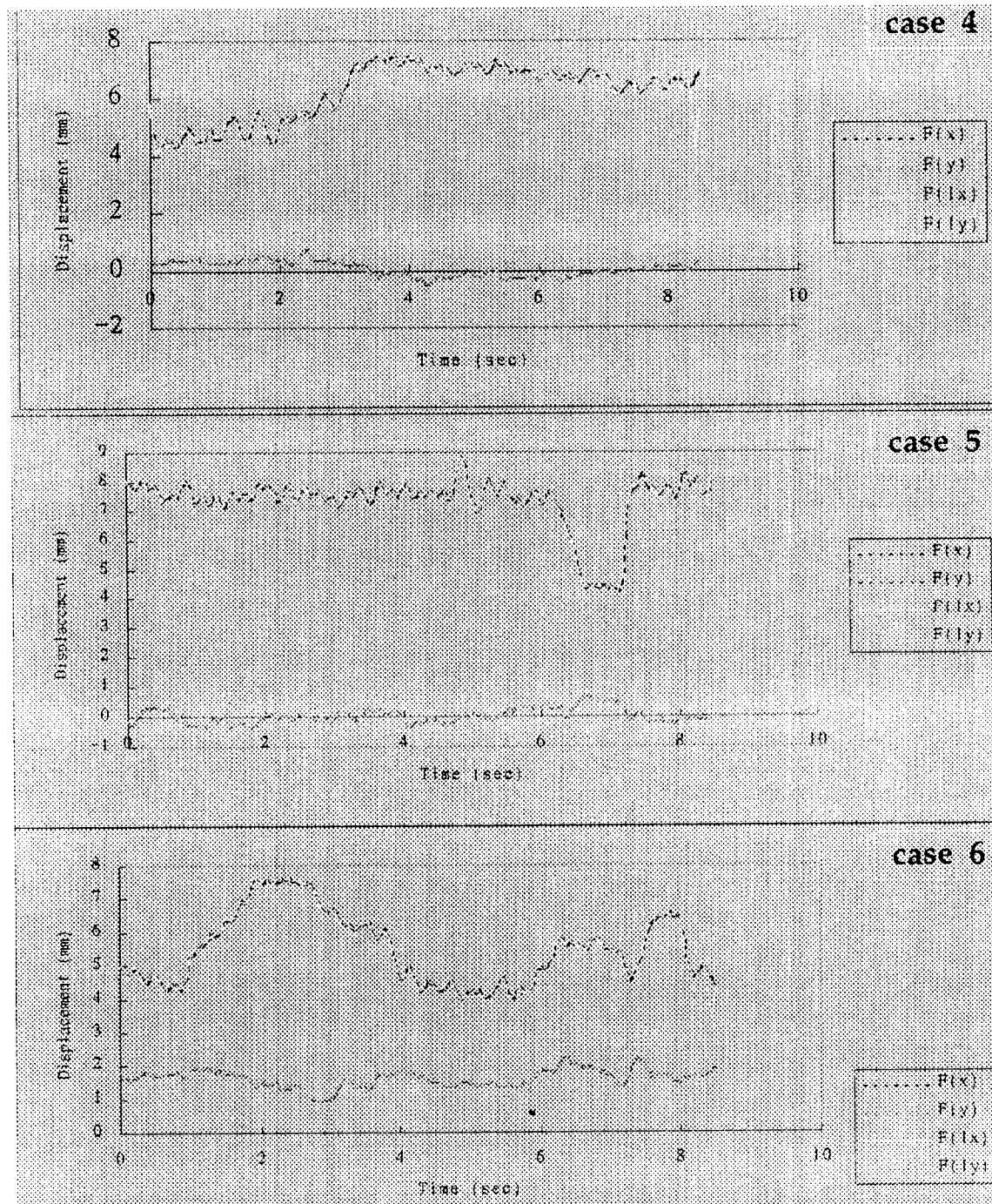
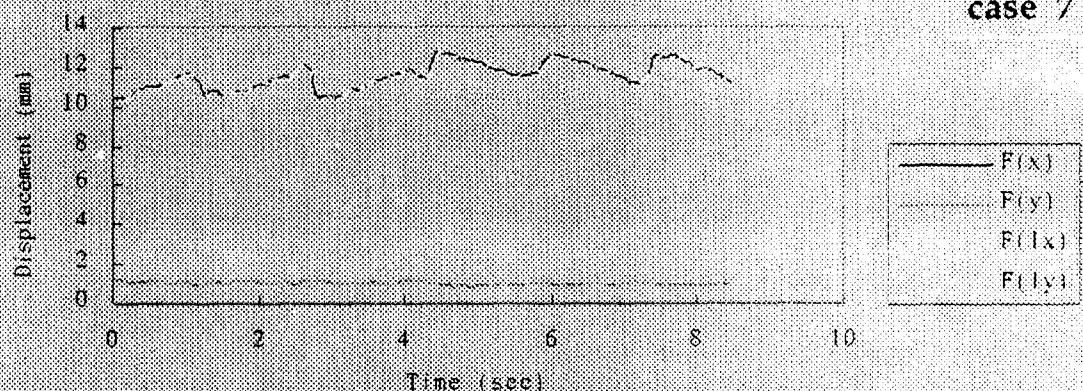
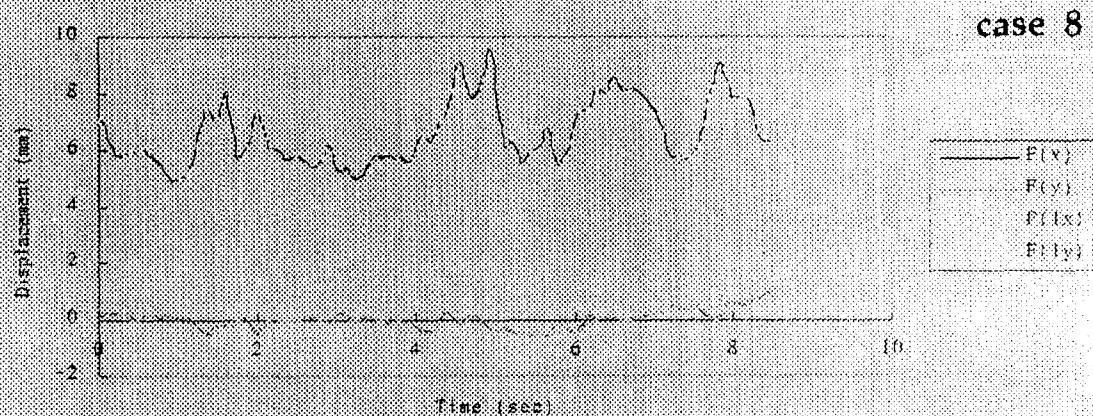


Fig. 4. Horizontal(Horizontal Displacement, $F(x)$) and vertical(Vertical Displacement, $F(y)$) eye movements of case #4 to 6. $F(Ix)$ and $F(Iy)$ show horizontal and vertical eye movements of case #4 to 6 after filtering more than 6Hz, 5Hz, 5Hz respectively of $F(x)$ and $F(y)$ using Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT).

case 7



case 8



case 9
preop.

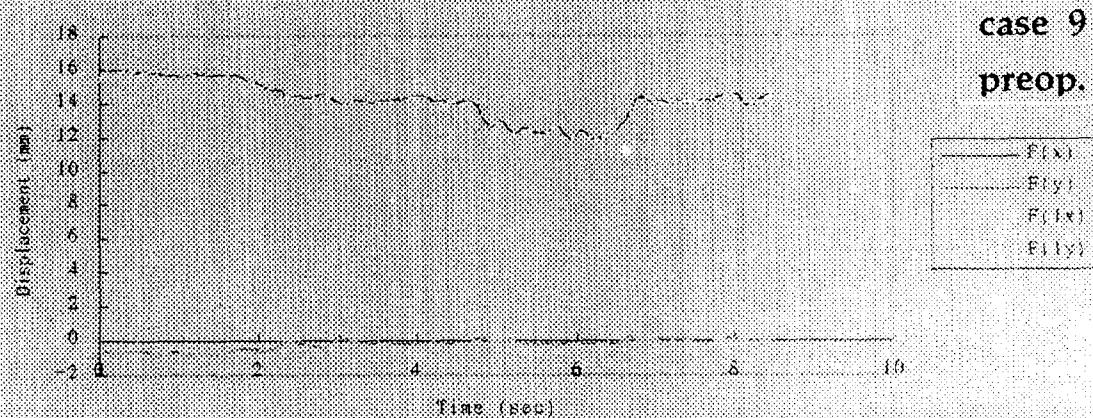
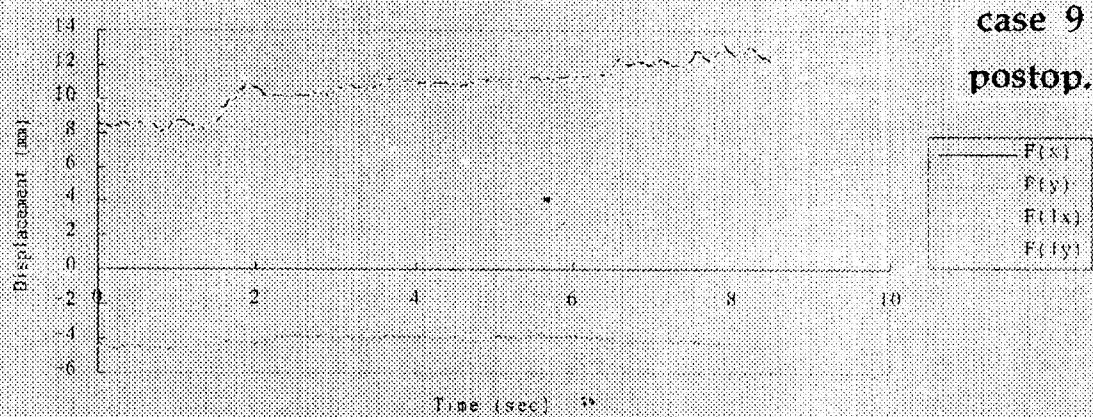


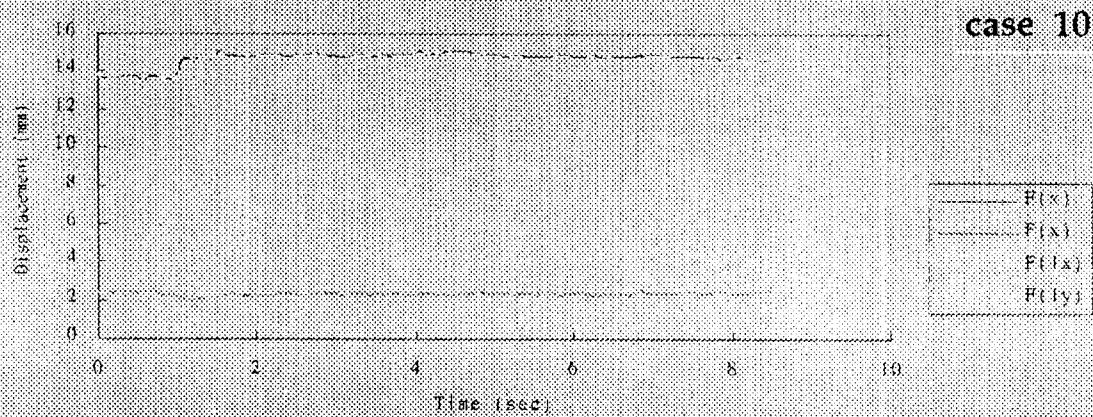
Fig. 5. Horizontal(Horizontal Displacement, $F(x)$) and vertical(Vertical Displacement, $F(y)$) eye movements of case #7 to #9. $F(Ix)$ and $F(Iy)$ show horizontal and vertical eye movements of case #7 to 9 after filtering more than 4Hz, 8Hz, 4Hz of respectively $F(x)$ and $F(y)$ using Inverse Fast Fourier Transformation(IFFT).

case 9

postop.



case 10



case 11

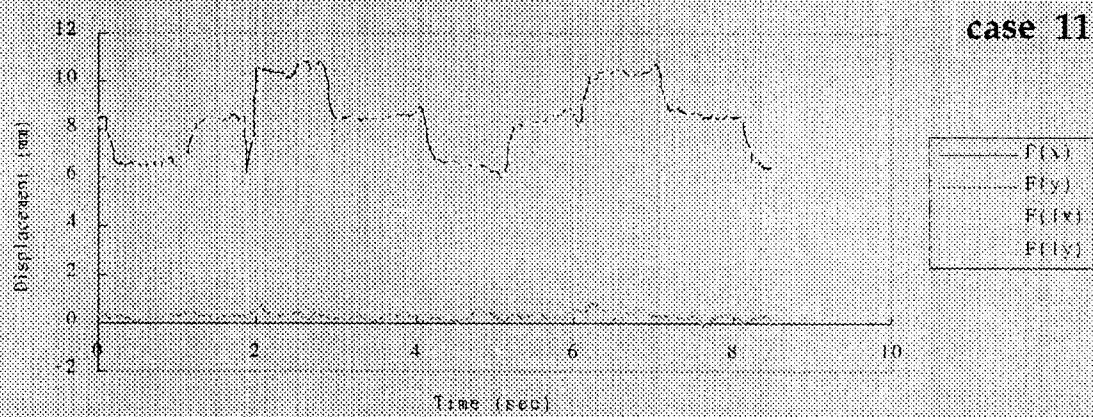


Fig. 6. Horizontal (Horizontal Displacement, $F(x)$) and vertical (Vertical Displacement, $F(y)$) eye movements of case #10 to #12. $F(Ix)$ and $F(Iy)$ show horizontal and vertical eye movements of case #10 to 12 after filtering more than 5Hz, 5Hz, 5Hz respectively of $F(x)$ and $F(y)$ using Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT).

결 과

1. 디지털화된 안운동

1) 대상 1

35세 남자 환자의 우측 눈의 안운동 기록이며, 수직 운동에서 2-3Hz 하측 진동안진 및 진자안진의 소견을 보여 준다. 또한 미세한 3-4Hz의 수평 진자운동의 소견을 알 수 있다(Fig. 3). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-5Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있다. 따라서 5Hz 이상의 안운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다(Fig. 3). 재구성한 도표상의 수평 안운동에서도 미세한 3-4Hz의 수평 진자운동의 소견을 보여 주고 있다(Fig. 3).

2) 대상 2

13세 남자로 좌측 둥안 1형 증후군 환자의 우측 눈의 안운동 기록이다. 20도 점프표적을 이용하여 우측 눈의 우측 수평신속운동을 유발시킨 후 기록하였다. 정상적인 우측 수평신속운동을 보여 준다. 신속 운동에 미세한 진자안진이 중복되어 있음을 알 수 있다. 수직 운동에서 신속 운동은 없으나 미세한 안 운동이 있음을 알 수 있다(Fig. 3).

진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-4Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고 0.5에서 1Hz 사이의 운동량이 가장 크게 몰려 있었다. 4Hz 이상의 안 운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다(Fig. 3). 재구성한 도표상의 수평 안 운동에서 신속 운동의 최대 외전 시에 3-4Hz의 안진이 관찰되었다(Fig. 3).

3) 대상 3

25세 여자로 우측 둥안 3형 증후군 환자의 우측 눈의 안운동의 기록이다. 우측 눈의 우측 수평신속운동을 유발시킨 후 기록하였다. 내전 및 외전 시 우측 수평신속운동이 감소되어 있음을 보여 준다. 수직 운동에서 신속운동이 없었다(Fig. 3). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-2Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알

수 있고, 0.5에서 1Hz 사이의 운동량이 가장 크게 몰려 있었다. 2Hz 이상의 안 운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다(Fig. 3).

4) 대상 4

30세 여자 환자의 좌측 눈의 안 운동의 기록이며, 수평운동에서 3-4Hz 진자안진 소견을 보여 준다. 또한 수직 안운동에서 미세한 안운동의 소견을 보여준다(Fig. 4). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-6Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 3-4Hz 사이에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다. 6Hz 이상의 안 운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다(Fig. 4). 재구성한 도표상의 수직 안운동에서도 3-4Hz의 수직진자운동의 소견을 보여 주고 있다(Fig. 4).

5) 대상 5

10세 남자 환자의 우측 눈의 안운동의 기록이며, 수평운동에서 4-5Hz 좌측진동 및 진자안진 소견을 보여 준다. 또한 좌측 신속운동이 동반되었음을 보여 준다. 수직 운동에서도 미세한 안운동을 보여 준다(Fig. 4). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-5Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 4-5Hz 사이에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다(Fig. 4). 5Hz 이상의 안 운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평안운동에서 우안의 내전시에 안진이 감소되는 소견을 보여 준다. 수직 안운동에서도 3-4Hz의 수직진자운동의 소견을 보여 주고 있다(Fig. 4).

6) 대상 6

20세 여자 환자의 좌측 눈의 안운동의 기록이며, 수평운동에서 4-5Hz 좌측 진자안진 소견을 보여 준다. 또한 좌안의 좌측 신속운동이 동반되었음을 보여 준다. 수직운동에서도 미세한 안운동을 보여 준다(Fig. 4). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-6Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 4-5Hz 사이

에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다. 6Hz 이상의 안 운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평안운동에서 4-5Hz 좌측 진자안진 소견을 뚜렷이 보여 준다. 수직 안 운동에서도 2-3Hz의 수직진자운동의 소견을 보여 주고 있다(Fig. 4).

7) 대상 7

26세 남자 환자의 우측 눈의 OKN반응에 대한 안운동 기록이며, 수평운동에서 약 0.8Hz 좌측 및 우측 진자안진 소견을 보여 준다. 수직운동에서는 안운동소견은 없음을 알 수 있다(Fig. 5). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-4Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있다(Fig. 5). 4Hz 이상의 안 운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평안운동에서 약 0.8Hz 좌측 및 우측 진자안진 소견을 뚜렷이 보여 준다(Fig. 5).

8) 대상 8

8세 남자 환자의 우측 눈의 안운동 기록이며, 수평운동에서 2-3Hz 좌측진동 및 진자안진 소견을 보여 준다. 수직운동에서도 미세한 안운동을 보여 준다(Fig. 5). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-6Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 2-3Hz 사이에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다. 6Hz 이상의 안운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다(Fig. 5). 재구성한 도표상의 수평안운동에서 2-3Hz 좌측진동 및 진자안진 소견을 보여 준다. 수직 안운동에서도 3-4Hz의 수직진자운동의 소견을 보여 주고 있다(Fig. 5).

9) 대상 9 (Kestenbaum수술 전)

14세 남자 환자의 우측 눈의 안운동 기록이며, 좌측으로 고개를 돌린 상태에서 정면 주시시 안전의 진폭의 감소 소견을 보임, 우안의 외전시 수평운동에서 3-4Hz 진자안진 소견을 보여 준다. 수직운동에서는 안운동이 없음을 알 수 있다(Fig. 5). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-

4Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 3-4Hz 사이에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다(Fig. 5). 4Hz 이상의 안운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평안운동에서 상기 소견을 뚜렷이 보여 준다(Fig. 5).

10) 대상 9 (Kestenbaum수술 후)

14세 남자 환자의 우측 눈의 안운동의 기록이며, 고개를 정면으로 주시했을 때 안전의 진폭의 감소 소견을 보임, 우안의 외전 및 내전시 수평운동에서 3-4Hz 진자안진 소견을 보여 준다. 수직운동에서는 안운동이 없음을 알 수 있다(Fig. 6). 진동 주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-4Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 3-4Hz 사이에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다(Fig. 6). 4Hz 이상의 안운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평안운동에서 상기 소견을 뚜렷이 보여 준다(Fig. 6).

11) 대상 10

51세 여자환자의 우측 눈의 안운동의 기록이며, 우측외전신경마비후 좌안의 내직근 Faden수술을 받은 상태임. 우안의 외전시 수평운동에서 미세한 안전의 소견을 보여 준다. 수직운동에서는 안운동이 없음을 알 수 있다(Fig. 6). 진동주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-5Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고, 2-4Hz 사이에 최대 에너지량이 있음을 알 수 있다(Fig. 6). 5Hz 이상의 안운동량을 제거한 후 안구의 수직F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평안운동에서 우안의 외전시 상기 소견을 보여 준다(Fig. 6).

12) 대상 11

23세 정상 남자로 우측 눈의 안운동의 기록이다. 10도 점프표적을 이용하여 우측 눈의 우측 수평 신속 운동을 유발시킨 후 기록하였다. 정상적인 우측 수평신속운동을 보여준다. 신속 운동과 미세한 진자안진이 중복되어 있음을 알 수 있다. 수직 운동에서 신속운동은 없으나 미세한 안운동

Table 3. Evaluation of reproducibility

Recording of ocular movement(pixels)	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation (CV, %)
Horizontal movement	12.49	0.08	0.68
Vertical movement	7.40	0.09	1.21

이 있음을 알 수 있다(Fig. 6). 진동주파수에 따른 에너지량의 도표에서 주로 1-6Hz 사이의 주파수대에 에너지량이 몰려있음을 알 수 있고 1-3Hz 사이의 운동량이 가장 크게 몰려 있었다(Fig. 6). 6Hz 이상의 안운동량을 제거한 후 안구의 수직 F(y) 및 수평F(x) 운동거리(mm)를 각각 재구성하였다. 재구성한 도표상의 수평 안운동에서 신속운동과 미세안진은 없었다. 수직안운동에서 수직 신속운동은 없었으나 3-4Hz의 미세한 진자안진이 관찰되었다(Fig. 6).

2. 재현성의 평가

각각의 실험 방법에 따른 검사자내 재현성(Interoperator reproducibility)을 평가하기 위하여 Coefficient of Variation(CV, %)을 구하여 그 값을 표시하였다(Table 3). 이중 수평운동은 0.68%, 수직운동은 1.21%로 검사간의 변화가 매우 적어 재현성이 양호함을 알 수 있었다.

고 찰

눈에는 각각 6개의 외안근이 존재한다. 상직근과 하직근은 시축과 23도 각도를 이루며 눈의 적도 앞쪽에 부착되어 있다. 상사근 및 하사근은 시축과 51도 각도를 이루며 눈의 후극부에 부착되어 있다. 따라서 눈에는 3가지축(X, Y, Z)을 중심으로 한 단안운동(duction movement)이 생긴다. Z축을 중심으로 눈이 좌우로 움직이는 내전 및 외전운동, X축을 중심으로 눈이 상하로 움직이는 상전 및 하전운동, Y축을 중심으로 좌우로 움직이는 내회선 및 외회선운동이 생긴다¹⁾. 실제로 사물을 볼 때는 양 눈을 사용하는 양안운동(version movement)이 생기게 되며 여기에는 신속운동(saccadic eye movement), 추종운동(smooth pursuit eye movement), 전정운동(vestibular eye move-

ment), 이향운동(vergence eye movement) 등이 있다²⁾. 단안 혹은 양안운동의 장해에 의하여 나타날 수 있는 대표적 질환으로 안진(nystagmus)과 마비사시 그리고 핵상안운동장해(supranuclear eye movement disorder)가 있다. 안진은 그 빠르기에 따라서 진자(pendular)와 진동(jerk) 안진으로 구분되며, 방향성에 따라서 수직(vertical)과 수평(horizontal) 및 회선(torsional)안진으로 분류된다. 안진을 정확하게 진단하여 치료하기 위해서 안진의 세기 및 방향성을 측정하여 기록할 수 있는 안운동 기록장치가 필요하게 되었다. 마비사시와 핵상안운동장해를 기타 견인성 사시와 감별하고 확진하기 위해서는 신속운동을 기록하여 신속운동속도를 측정하는 방법이 필수적이다^{2,4)}. 따라서 안운동장해의 진단에 필수적인 안운동기록을 위하여 여러 가지 진단장치 및 방법이 고안되어 사용되고 있다.

가장 초기에 사용된 방법으로 눈의 잔상효과(after image)를 이용한 방법이다. 눈에 규칙적인 광 자극을 준 후 남은 잔상을 말로서 표현하는 방법으로 기록 보전이 어려워서 사용되지 않았다. 눈에 mechanical transducer를 부착시킨 후에 안운동을 기록하는 방법이 고안되었다. 이는 최초로 눈의 움직임을 객관적으로 기록할 수 있는 방법이었으나 기구 자체가 정상적인 안운동을 방해하여 현재는 사용되지 않는다⁵⁾.

무비 카메라를 이용하여 눈의 움직임을 촬영한 후 안운동을 분석하는 방법이 사용되었다. 이 방법은 필름을 현상하는데 소요되는 시간이 너무 길고 촬영된 필름을 정량적으로 분석하는 방법에 한계를 느껴서 임상적으로 사용되지 못하였다⁵⁾.

각막에 광 자극을 준 후 각막에서 반사된 빛을 비디오 카메라에 녹화하여 분석하는 방법이 소개되었다. 이 방법은 미세한 안운동기록도 가능하였으나 오차를 줄이기 위해서 머리를 고정시켜야 하

고, 당시의 기술 수준으로 활용된 비디오를 정량적으로 분석하는 방법이 미숙하여 임상적으로 사용되지 못하였다. 각막에 거울이 부착된 콘택트렌즈를 착용한 후 거울에서 반사된 빛을 분석하는 방법이 고안되어 사용되었으며 10초 미만의 미세한 안운동의 기록이 가능하여 안전 연구에 사용되었다⁵⁾.

현재 임상적으로 가장 많이 쓰이는 안운동기록 방법인 전기안진도(electro-nystagmography)는 각막과 망막의 서로 다른 대사율(metabolic rate)로 인하여 발생되는 전기장을 눈 주위 피부에 부착된 전극을 통하여 기록하는 방식이다. 이 방식은 직접적으로 외안근에서 나오는 신호를 포착하는 방식이 아니기 때문에 정확한 안구 위치에 관한 정보를 제공한다고 할 수 없다. 또한 환자의 움직임에 따른 전극 부착 상태의 변화 그리고 땀 등에 의한 피부 저항치의 변화에 민감하여 자주 calibration을 하여야 하는 단점이 있다. 여러 가닥의 전극을 얼굴에 부착시켜야 하므로 소아나 협조가 잘 되지 않는 환자에 있어서 검사에 어려움이 따른다⁵⁾. 전기안진도는 수직안운동의 측정 시 안검거근에서 나오는 전기신호와 상하직근에서 나오는 신호가 중복되어 두 가지 안운동을 구분하는데 문제가 있다⁶⁾. 전기안진도는 아날로그 신호를 사용하기 때문에 외부의 잡신호에 영향을 받을 수 있는 단점이 있다⁷⁾. 이런 아날로그신호에 의한 오차를 줄이기 위하여 전기안진도를 사용하여 얻은 전기장을 컴퓨터에 연결하여 Fourier transform을 이용하여 분석하였으나, 이 역시 전기신호 발생 장치가 아날로그방식이어서 이 방식의 단점을 모두 없앴다고 보기 힘들다^{8,9)}. 현재 사용되는 대부분의 전기안진도는 신호 발생은 아날로그식을 자료 처리는 디지털 방식을 사용하고 있다. 환자의 안운동을 비디오에 녹화한 후 비디오 화면에 전기안진도의 그래프를 삽입함으로써 시간대별 안운동에서 실제 움직임과 그래프를 동시에 관찰하였다¹⁰⁾.

자기탐색코일방법(Magnetic search coil method)은 콘택트렌즈 내에 전선이 내장된 형태의 기구로 안운동 시 나오는 근육의 자기장의 세기 변화를 그래프화 하는 방식으로 아날로그 방식을

체택한 것은 전기안진도와 같으나 근육의 근처에서 신호를 처리하여 비교적 정확하며 미세한 안구 움직임도 포착 가능하다. 또한 수평 및 수직 안운동을 동시에 기록할 수 있으며 수직안운동시 안검 거근의 신호를 배제하여 눈의 상하 움직임을 선별적으로 나타낼 수 있다. 그러나 이 방법은 콘택트 렌즈를 사용하여야 하므로 관혈적이어서 협조가 잘 안되는 소아에 있어서 사용이 제한되는 단점이 있다^{11,12)}.

적외선 각막윤부 추적방법(Infrared limbus tracking method)과 각막반사방법(corneal reflection method)은 각막에 적외선을 조사한 후 반사되는 빛을 각막윤부나 각막에서 선별하여 안운동의 진폭을 도해하는 방법이다. 안운동의 기록과 자료의 분석이 디지털 방식이나 안운동을 추적하는 센서의 부착을 위하여 헬멧이나 고정틀에 얼굴을 고정하여야 하는 단점이 있다^{13,15)}. 개인용 컴퓨터의 처리속도 및 용량이 증가함에 따라 안구의 회선운동을 비디오와 컴퓨터의 pattern recognition 기법을 이용하여 기록하려는 시도들과 레이저광을 눈에 조사한 후 반사되는 광선을 컴퓨터 시력 시스템을 이용하여 눈의 감박거림의 횟수 및 정도를 측정하려는 시도가 보고되었다^{16,19)}.

위에서 언급했듯이 안운동의 기록 방법은 환자에 통증이나 불편함을 적게 주고, 작은 미세 운동 까지 기록할 수 있으며, 직접 눈의 움직임을 기록하고, 외부의 잡신호에 영향을 적게 받으며, 동시에 3가지축의 운동을 기록할 수 있는 방법을 찾아 발전해 왔다. 최근 들어 사회 전반에 걸쳐서 아날로그 신호는 컴퓨터의 디지털 부호로 대체되고 있다. 디지털신호를 이용하여 이상에 열거한 장점을 충족할 수 있는 검사 방법을 개발하기 위하여, 일반 가정용 비디오카메라로 안운동을 녹화한 후 초당 30프레임의 비디오 화면을 화면포착프로그램으로 디지털화하여 640×480 개의 x, y좌표로 치환하였다. 임상에서 가장 많이 사용되는 전기안진도와 같은 그래프를 얻기 위해서 각 화면상 1개 고정점을 우측안의 내안각, 좌측 안의 외안각을 취하였다. 각각의 이동점으로 동공 중심을 취하였다. 대상 1부터 11까지 시간대별 안운동의 진폭을 수평 및 수직 안운동으로 나누어 도해하였다. 안

운동의 진폭을 fast Fourier transformation하여 재구성한 결과 주로 6Hz 이내에서 운동에너지가 많이 분포하였다. 또한 대상 1, 3, 4, 5에서는 10, 11Hz대에서도 의미 있는 운동에너지를 분포를 보여주고 있다. 이 방식으로 눈의 운동을 측정할 경우 최대 15Hz 이내의 움직임을 기록할 수 있으므로 10, 11Hz대의 빠르고 작은 진폭의 움직임이 측정 오차가 아닌 미세안진일 가능성을 시사한다고 할 수 있다. 대상 1에서 11까지의 시간대별 안운동 진폭을 Inverse Fourier transformation으로 비교적 적은 운동에너지를 제거한 후 재구성한 결과 수평 및 수직안운동을 보다 뚜렷이 나타낼 수 있었다. 새로운 검사법으로서의 정밀도를 검사하기 위하여 재현성을 평가한 결과 수평운동은 0.68%, 수직운동은 1.21%로 비교적 정밀하다고 생각되며 아래와 같은 이점이 있다고 하겠다. 비관절적이며 따라서 협조가 잘 안되는 환자의 경우도 검사가 용이하다. 디지털신호를 사용하므로 외부잡신호가 끼여들 소지가 없으며, 비디오테이프만 있으면 언제라도 재구성이 가능하며 확대를 해도 잡신호의 증폭이 되지 않는다. 안근육에서 나오리라 추정되는 전기 신호를 간접적으로 포착하는 방법과는 달리 눈의 움직임을 직접 측정한다. 주변의 안검거근 영향을 받지 않는다. 수평 수직운동을 동시에 측정 가능하다. 어떤 머리 위치에서도 기록이 가능하다. 작은 안운동의 기록이 가능하여 향후 미세안진의 연구에 응용할 수 있다. 반면에 해결해야 할 문제점으로는 다음과 같은 사항이 있다. 눈을 감은 경우 측정이 불가능하다. 이 문제점은 고도의 프로그램 기술과 하드웨어의 기능 향상으로 삼차원 그래픽을 이용하면 해결되리라 본다. 본 연구에서 사용한 카메라는 대중용으로 셔터 속도는 1/30초에 고정되어 15Hz 이상의 빠른 안구 움직임은 측정이 불가하나, 고속 셔터를 사용하고 보다 빠르고 저장 용량이 큰 컴퓨터를 이용하여 해결할 수 있다고 생각된다. 본 저자가 사용한 개인용 컴퓨터로는 실시간처리가 불가하였으나, 좀더 빠른 중앙처리장치를 사용하고, 고용량의 주기억 및 보조기억장치를 보완하며, 화면 압축기술을 향상시켜 개선할 수 있으리라 생각된다. 현재 여러 분야에서 각광을 받고 있

는 pattern recognition기법을 활용하면 좀더 오차를 줄이고, 안운동기록을 실시간으로 가능하게 할 수 있으리라 생각된다.

결론적으로 디지털 방식의 안운동기록은 기존의 방식을 대체하여 편리하게 사용할 수 있었으며, 재현성의 평가에 있어서 기존의 방법과 비교하여 정밀하였다.

REFERENCES

- 1) Noorden GK : *Binocular vision and ocular motility*. 5th ed. St. Louis, Mosby-Year Book, 1996, pp 41-56.
- 2) Wright KW : *Strabismus and Pediatric ophthalmology*. 1st ed. St. Louis, Mosby-Year Book, 1995, 753-755.
- 3) Metz HS : *Restrictive Factors in Strabismus*. *Surv Ophthalmol* 28:71-83, 1983.
- 4) Metz HS : *Saccadic velocity measurements in strabismus*. In Tasman W, eds. *Duane's Clinical Ophthalmology*. 2nd ed. Philadelphia, J.B. Lippincott, 1991, pp. 1-13.
- 5) Delloso LF, Daroff RB : *Eye movement characteristics and recording techniques*. In Tasman W, eds. *Duane's Clinical Ophthalmology*. 2nd ed. Philadelphia, J.B. Lippincott, 1991, pp. 14-16.
- 6) Yee RD, Schiller VL, Lim V, Baloh RG, Baloh RW, Honrubia V : *Velocities of vertical saccades with different eye movement recording methods*. *Invest Ophthalmol* 26:938-944, 1985.
- 7) Delloso LF, Daroff RB, Troost BT : *Nystagmus and saccadic intrusions and oscillations*. In Tasman W, eds. *Duane's Clinical Ophthalmology*. 2nd ed. Philadelphia, J.B. Lippincott, 1991, pp. 1-3.
- 8) Baloh RW, Sills AW, Kumley WE, Honrubia V : *Quantitative measurement of saccade amplitude, duration, and velocity*. *Neurology* 25: 1065-1070, 1975.
- 9) Baloh RW, Langhofer L, Honrubia V, Yee RD : *On-line Analysis of Eye Movements Using a Digital Computer*. *Aviation Space Environ Med* 51(6):563-567, 1980.
- 10) Longridge NS, Pilley SFJ : *Superimposition of ENG Recording on Video Eye Movements (Con-*

- genital Nystagmus). *Adv Oto-Rhino-Laryng* 42: 85-89, 1988.
- 11) Stathacopoulos RA, Yee RD, Bateman JB : *Vertical Saccades in Superior Oblique Palsy. Invest Ophthalmol Vis Sci* 32:1938-1943, 1991.
- 12) Collewijn H, Mark F, Jansen TC : *Precise recording of human eye movements. Vision Res* 15: 447-450, 1975.
- 13) Jones R : *Two dimensional eye movement recording using a photo-electric matrix method. Vision Res* 13:425-431, 1973.
- 14) Crane HD, Steele CM : *Accurate three-dimensional eyetracker. Applied Optics* 17:691-705, 1978.
- 15) Crane HD, Steele CM : *Generation-V dual-Purkinje-image eyetracker. Applied Optics* 24: 527-537, 1985.
- 16) Young LR, Lichtenberg BK, Arrott AP, Crities TA, Oman CM, Edelman ER : *Ocular torsion Nystagmus. Adv Oto-Rhino-Laryng* 42:85-89, 1988.
- 17) Yamanobe S, Taira S, Morizono T, Yagi T, Kamio T : *Eye movement analysis system using computerized image recognition. Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 116:338-341, 1990.
- 18) Curthoys IS, Moore ST, McCoy SG, Halmagyi GM, Markham CH, Diamond SG, Wade SW, Smith ST : *VTM- a new method of measuring ocular torsion using image processing techniques. Annals New York Academy of Sciences* 826-828, 1992.
- 19) Tock D, Craw I : *Tracking and measuring drivers eyes. In Brown CM, Terzopoulos D, eds. Real time computer vision. 1st ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1994, pp. 71-89.*