

영상 안진검사를 이용한 눈운동의 기록

Eye Movements Recording with Video-oculography (VOG)

한 승 환 | 연세의대 안과 | Sueng-Han Han, MD

Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine

E-mail : shhan222@yumc.yonsei.ac.kr

J Korean Med Assoc 2007; 50(4): 343 - 347

Abstract

The measurement of eye movements in three dimensions is an important tool to investigate the human oculomotor system. When compared with the conventional electro-nystagmography (ENG) and scleral search coil system (SSCS), the video-oculography (VOG) has a higher accuracy and is a more comfortable and reliable method for the 3D-measurement of human eye movements.

Keywords : Electro-nystagmography; Eye movement; Recording technique; Search coil; Video-oculography

핵심용어 : 전기안진도; 눈운동기록; 공막탐색코일; 영상안진검사; 눈운동이상

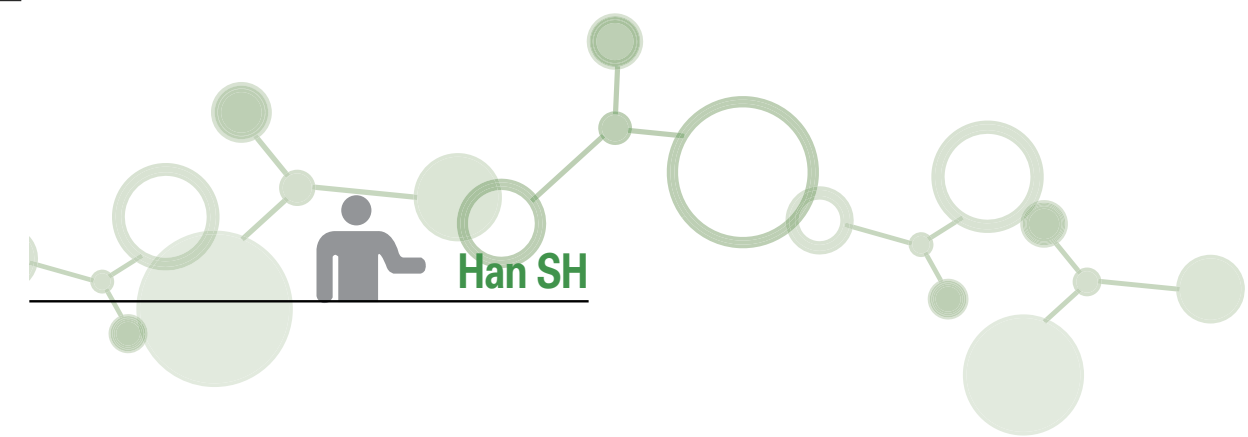
서론

눈운동이상 질환(사시, 안진, 외안근마비 등)이 있는 환자들의 경우 눈운동이상을 확진하고 교정수술의 양을 결정하는 데에 눈운동을 시간대 별로 도식화하여 분석하는 것은 많은 도움을 준다. 이러한 눈운동의 기록방법에는 전기안진도(electro-nystagmography, ENG), 공막 탐색코일 시스템(scleral search coil system, SSCS), 영상 안진검사(video-oculography, VOG), 각막 반사 방법(corneal reflection method) 등이 있다(1~4).

전기안진도(ENG)는 눈운동을 기록하고 눈운동이상을 진단하는 방법으로 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법으로 눈 주위의 피부에 전극을 부착한 후 눈운동시 발생하는 탈분극을 전기적 신호로 증폭하여 눈운동의 진폭을 시간대

별로 그래프화 하는 방식으로 이루어진다. 하지만 이러한 신호의 증폭을 위해 아날로그 방식을 사용하기 때문에 외부의 잡신호에 의한 영향을 많이 받는다는 단점이 있다(1~4). 이러한 잡신호의 영향을 줄이기 위한 여러 방법들이 개발되었으나 자료처리만 디지털 방식으로 하고 있을 뿐 인체에서 발생하는 전기신호를 감지해서 증폭시키는 장치 자체는 여전히 아날로그 방식을 사용하고 있다(5). 또한 ENG는 피부 전극의 위치 및 부착 상태에 따라 전기저항이 변하여 오차가 발생할 가능성이 있으며, 수직 눈운동을 측정하는 경우에는 상·하안검거근에서 발생하는 전기신호와 상·하직근에서 발생하는 전기신호가 중복되어 구별하기 어렵다는 단점이 있다(1).

공막 탐색코일 시스템(SSCS)은 공막에 전극이 붙은 콘택트렌즈를 부착하여 눈운동시 일어나는 근육의 자기장 변화



를 3차원적으로 그래프화하는 방식이다. 신호를 수집하는 방식으로 아날로그 방식을 채택한 것은 ENG와 같으나 피부가 아닌 공막에서 전기신호를 받으므로 눈 근육에 가까워 보다 정확한 신호를 받을 수 있고, 수직 눈운동시에도 상·하안검거근의 신호를 배제할 수 있어 상·하직근에서 발생하는 전기신호를 선별적으로 나타낼 수 있다는 장점이 있다(6). 그러나 SSCS는 콘택트렌즈를 사용하므로 보다 관혈적 이어서 30분 이상 검사를 지속하기 어려우며 특히 협조가 잘 안되는 소아 등에 있어서는 사용이 제한된다(6).

기존의 눈운동을 기록하는 방법들은 이러한 문제점들을 가지고 있으므로 환자의 불편감을 줄이면서도 정확히 눈운동을 기록할 수 있는 방법이 필요하게 되었다. 이를 위하여 최근에 개발된 방법이 영상 안진검사(VOG)이다. VOG의 발달과정과 임상에서의 응용, 그리고 기존의 눈운동 기록방법과 비교하여 VOG의 장단점에 관하여 살펴보고자 하였다.

기존의 눈운동 기록방법

눈에는 각각 6개의 외안근이 존재한다. 상직근과 하직근은 시축과 23도 각도를 이루며 눈의 적도 앞쪽에 부착되어 있으며 상사근 및 하사근은 시축과 51도 각도를 이루며 눈의 후극부에 부착되어 있다. 따라서 단안 눈운동은 안구회전중심을 지나는 3개의 축을 기준으로 회전한다. 이 축들을 Fick 축(Figure 1)이라 하고 각각 X축, Y축 및 Z축이라 한다. Z축은 상하 방향의 축이며 이를 중심으로 안구는 수평회전을 하고, X축은 좌우 방향의 축으로 이를 중심으로 안구는 수직회전을 하고, Y축은 전후 방향의 축으로 이를 중심으로 안구는 회전을 한다. 실제로 사물을 볼 때는 두 눈을 사용하는 양눈 운동이 생기게 되며 여기에는 신속운동, 추종운동, 전정운동, 이향운동 등이 있다.

단안 혹은 양안 눈운동의 장애에 의하여 나타날 수 있는 대표적 질환으로 안진과 마비사시 그리고 핵상눈운동장애가 있다. 안진은 그 빠르기에 따라서 진자와 진동 안진으로 구분되며 방향성에 따라서 수직과 수평 및 회전 안진으로 분류된다(7). 안진을 정확하게 진단하고 치료하기 위해서 안진의 세기 및 방향성을 측정하여 기록할 수 있는 눈운동

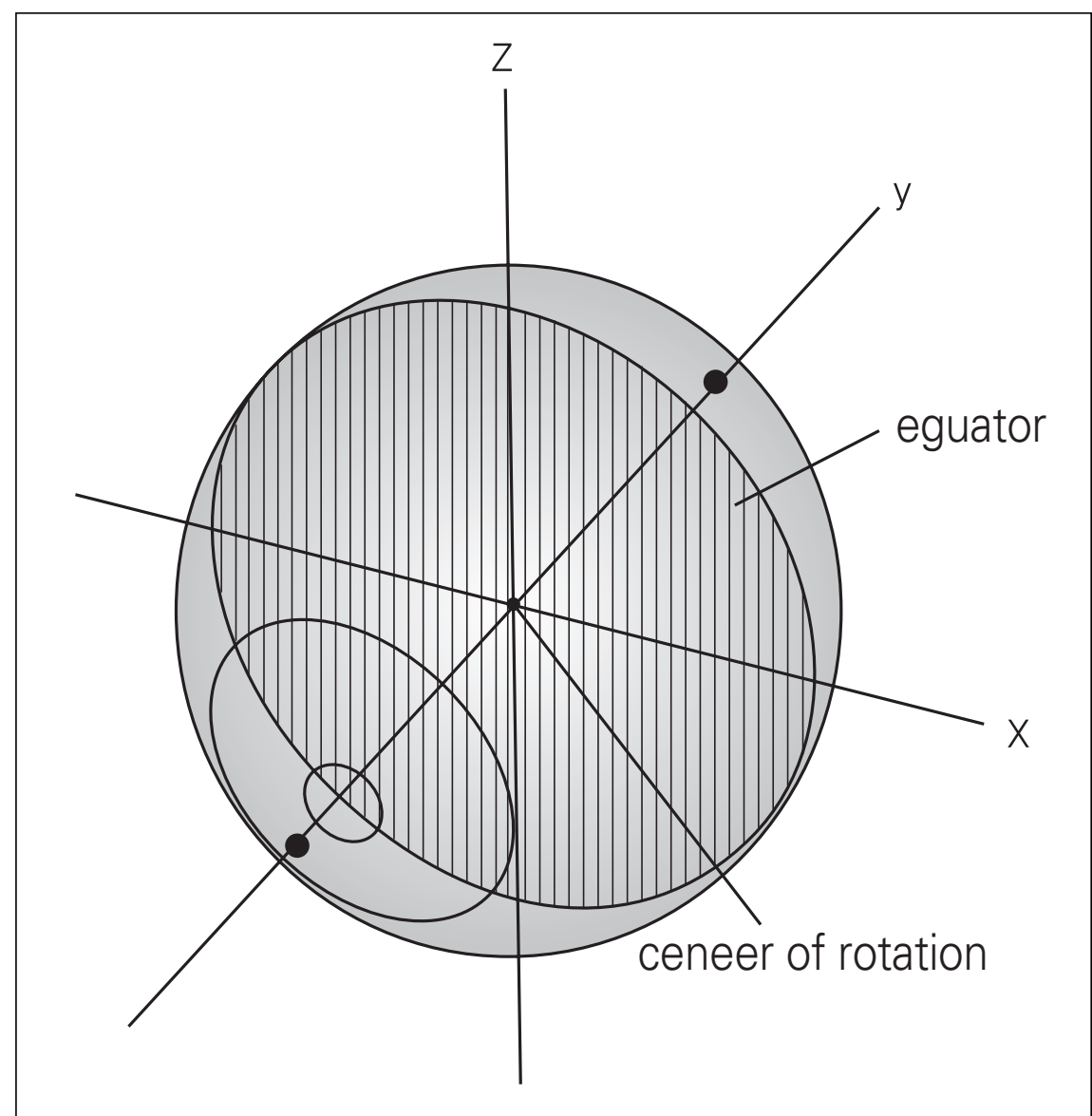
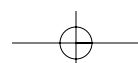


Figure 1. Axis of Fick.

기록장치가 필요하고 마비사시와 핵상눈운동장애를 기타 견인성 사시와 감별하고 확진하기 위해서 신속운동을 기록하여 신속운동속도를 측정하는 방법이 필수적이다. 따라서 눈운동장애의 진단에 필수적인 눈운동 기록을 위하여 여러 가지 진단장치 및 방법이 고안되어 사용되고 있다.

가장 초기에 사용된 눈운동 기록방법은 눈의 잔상효과를 이용한 방법이다. 눈에 규칙적인 광자극을 준 후 남은 잔상을 환자가 말로 표현하는 방법으로 기록 보전이 어려워 널리 사용되지 않았다. 이후 눈에 센서를 부착한 후에 눈운동을 기록하는 방법이 고안되었는데 이는 최초로 눈의 움직임을 객관적으로 기록할 수 있는 방법이었음에도 기구 자체가 정상적인 눈운동을 방해하여 현재는 사용되지 않고 있다. 무비 카메라를 이용하여 눈의 움직임을 촬영한 후 눈운동을 분석하는 방법도 고안되었으나 이 방법은 필름을 현상하는데 소요되는 시간이 너무 길고 촬영된 필름을 정량적으로 분석하는 방법에 한계를 느껴서 임상적으로는 사용되지 못하였다. 이후 각막에 광자극을 준 후 각막에서 반사된 빛을 비디오 카메라에 녹화하여 분석하는 방법이 소개되었다. 이 방법은 미세한 눈운동 기록도 가능하였으나 오차를 줄이기 위해서 머리를 고정시켜야 하고 당시의 기술 수준으로 촬영



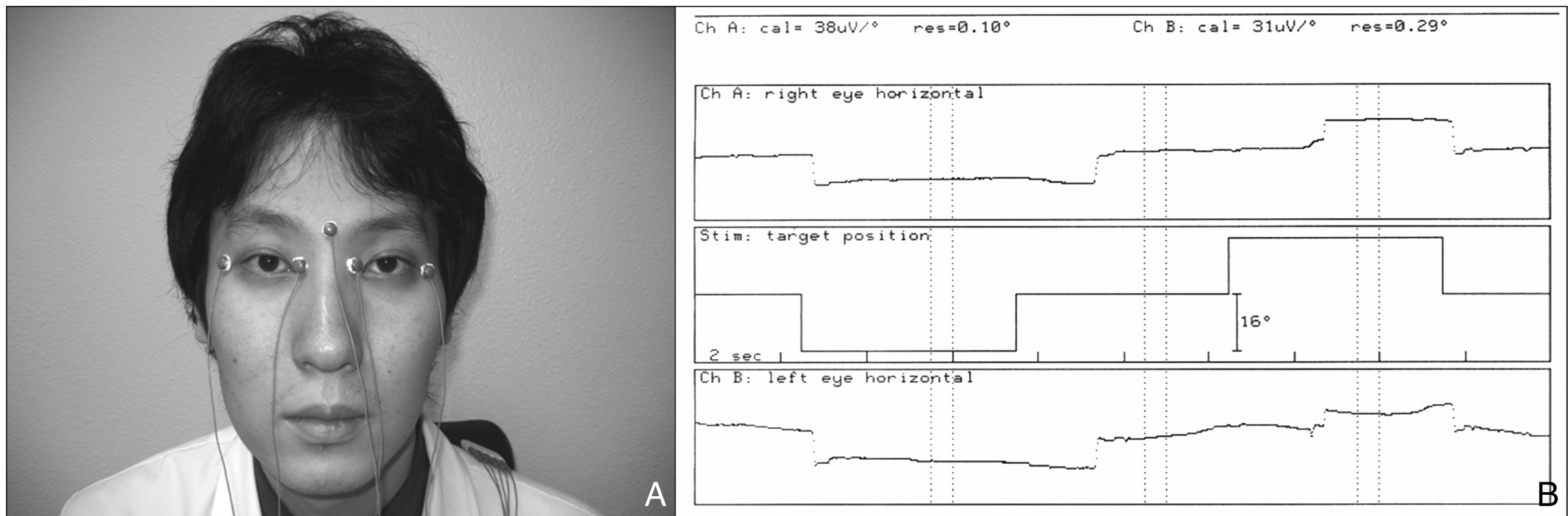


Figure 2. A) Electro-nystagmography. B) Record of electro-nystagmography.

된 비디오를 정량적으로 분석하는 방법이 미숙하여 임상적으로 사용되지 못하였다. 또한 각막에 거울이 부착된 콘택트렌즈를 착용한 후 거울에서 반사된 빛을 분석하는 방법이 고안되었으며, 이 방법은 10초 미만의 미세한 눈운동의 기록이 가능하여 안진 연구에 사용되었다(2, 3).

현재 임상적으로 가장 많이 쓰이는 눈운동 기록방법은 ENG이다. 이는 각막과 망막의 서로 다른 대사율로 인하여 발생하는 전기장을 눈 주위 피부에 부착된 전극을 통하여 기록하는 방법이다. 하지만 이 방식은 직접적으로 외안근에서 나오는 신호를 포착하는 방식이 아니기 때문에 정확한 안구 위치에 관한 정보를 제공한다고 할 수 없고, ENG로 수직 눈운동을 측정하는 경우에는 상·하안검거근에서 나오는 전기신호와 상·하직근에서 나오는 전기신호가 중복되어 두 가지 눈운동을 구분할 수 없다(1). 또한 환자의 움직임에 따른 전극부착 상태의 변화나 땀 등에 의한 피부저항의 변화에 민감하여 자주 calibration을 하여야 하는 단점이 있다. 또한 여러 가닥의 전극을 얼굴에 부착시켜야 하므로 소아나 협조가 잘 되지 않는 환자에 있어서 검사에 어려움이 따른다(Figure 2). ENG는 신호의 증폭을 위해 아날로그 방식을 사용하기 때문에 외부의 잡신호에 의한 영향을 많이 받는다는 단점이 있다(1~4). 이러한 잡신호에 의한 오차를 줄이기 위하여 ENG를 사용하여 얻은 전기장을 컴퓨터에 연결하고 Fourier transform을 이용하여 잡신호를 제거하여 분석하는 등의 기술이 개발되었으나 이 역시 아날로그

방식이므로 문제점을 모두 없앴다고 보기는 힘들다. 현재 사용되는 대부분의 ENG의 신호 발생은 아날로그 방식을 사용하고 자료 처리는 디지털방식을 사용하고 있다(5).

SSCS는 안에 전선이 내장된 콘택트렌즈 형태의 기구를 공막에 접촉시킨 후 눈운동시 발생하는 근육의 자기장의 세기 변화를 3차원적으로 그래프화 하는 방식이다. 신호를 수집하는 방식으로 아날로그 방식을 채택한 것은 ENG와 같으나 공막에서 전기신호를 받으므로 근육의 바로 근처에서 신호를 수집하여 보다 정확한 신호를 받을 수 있고 미세한 안구 움직임도 포착이 가능하다는 장점이 있다. 또한 수평 및 수직 눈운동을 동시에 기록할 수 있으며 수직 눈운동시에도 상·하안검거근의 신호를 배제하고 눈의 상하 움직임만을 선별적으로 나타낼 수 있다(6). 그러나 이 방법은 콘택트렌즈를 사용하므로 보다 관혈적이어서 협조가 잘 안되는 소아에 있어서 사용이 제한되는 단점이 있다(Figure 3)(8).

Corneal reflection method는 각막에 적외선을 조사한 후 반사되는 빛을 각막과 각막윤에서 반사된 빛으로 선별하여 눈운동의 진폭을 도해하는 방법이다. 눈운동의 기록과 자료의 분석이 디지털 방식이지만 눈운동을 추적하는 센서의 부착을 위하여 헬멧이나 고정틀에 얼굴을 고정하여야 하는 단점이 있다(9).

개인용 컴퓨터의 처리속도 및 용량이 증가함에 따라 안구의 회전운동을 비디오와 컴퓨터의 pattern recognition 기법을 이용하여 기록하려는 시도들과 레이저 광을 눈에 조사

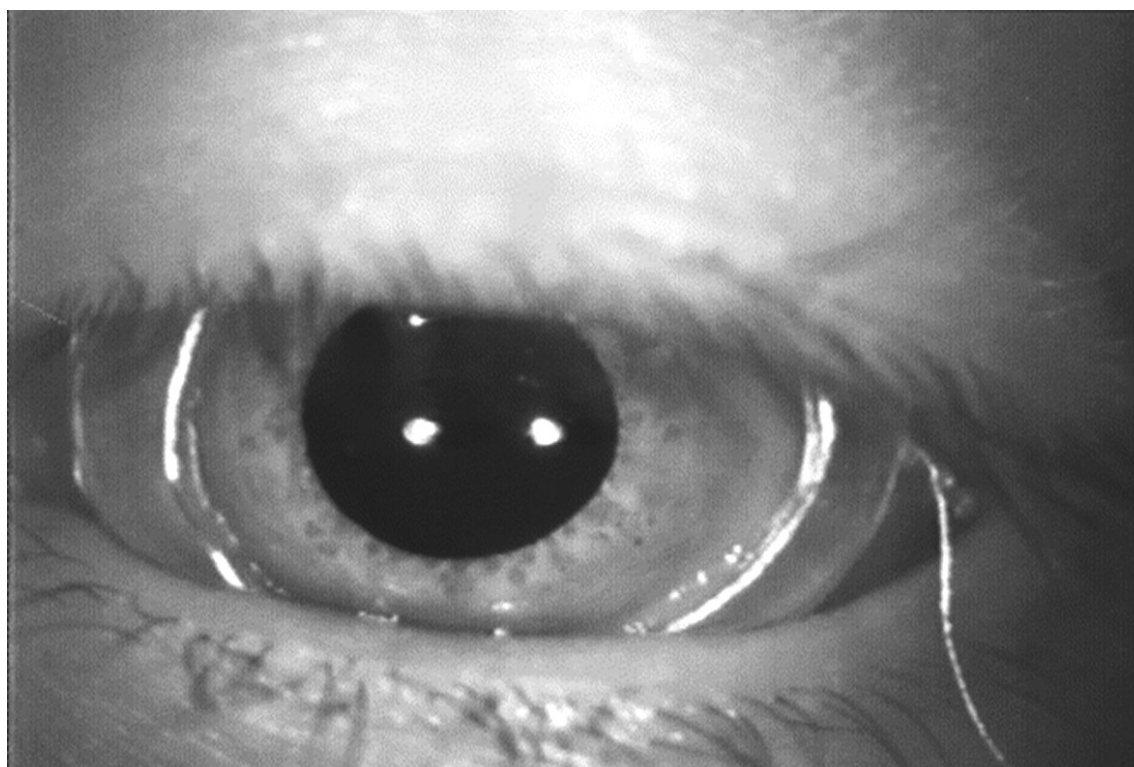
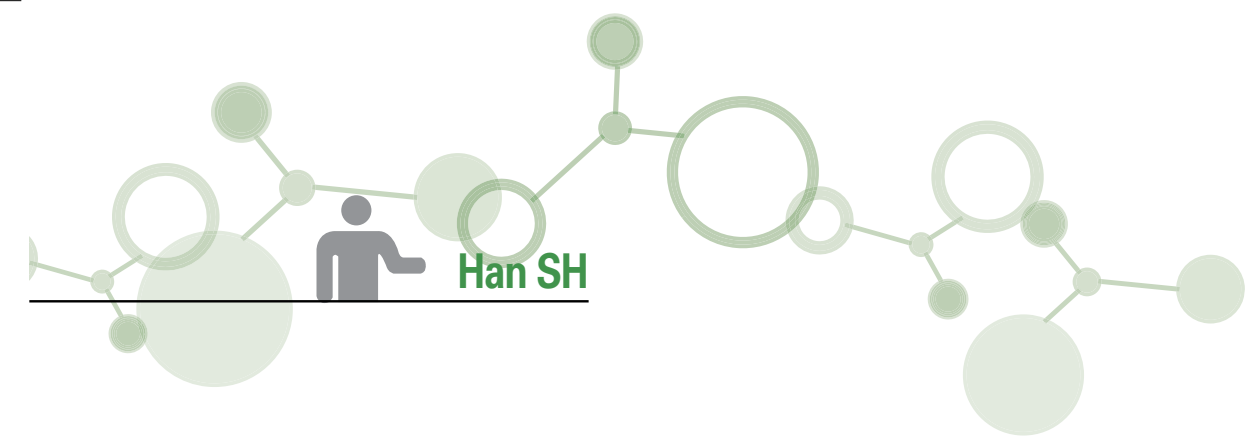


Figure 3. Scleral search coil system (From Imai et al. *Auris Nasus Larynx* 2005;32:3-9).

한 후 반사되는 광선을 computer vision system을 이용하여 눈의 깜박거림의 횟수 및 정도를 측정하기 위한 방법들이 시도되고 있다. 위에서 언급했듯이 눈운동의 기록방법은 환자의 불편감을 줄이면서 눈의 움직임을 직접 기록하고 작은 미세운동까지 기록할 수 있으며, 외부의 잡신호에 영향을 적게 받고 동시에 3가지 축의 운동을 기록할 수 있는 방법을 찾아 발전해 왔다(10~14).

영상 안진검사 (VOG)

최근에 사용되기 시작한 VOG는 비디오 카메라로 눈운동을 녹화한 후 비디오 화면을 구성하는 픽셀들을 모두 x, y(2-dimensional, 2-D) 혹은 x, y, z(3-dimensional, 3-D) 좌표로 치환하여 눈운동을 시간대 별로 정량적으로 기록하는 방법을 사용한다. 눈운동을 추적하는 방법으로 초기에는 적외선을 조사하여 동공의 움직임을 디지털 비디오 카메라로 촬영한 후 컴퓨터에 입력되는 화상 프레임에서 동공과 홍채의 명암 차이를 이용하여 동공 영역을 분리하고 경계 검출법과 동공의 타원체 근사화를 적용하여 동공의 중심 좌표를 설정하여 이를 시간대 별로 나타내어 수평 및 수직 눈운동을 도식화하는 방법을 사용하였다. 개인용 컴퓨터 단말기의 성능이 향상됨에 따라 2-D 화면에서 홍채의 생김새를 인식하여 그 패턴이 동공의 중심점에서 어떻게 변하는지를 계산하여 눈의 회전 벡터 값의 변화를 실시간으로 시간

대 별로 정량화할 수 있게 되었다. 따라서 최신 VOG는 위의 알고리즘을 적용하여 눈의 3차원적 운동(수평, 수직, 회전)을 실시간으로 시간대 별로 기록할 수 있다(Figure 4)(8, 14~16).

SSCS와 2-D VOG를 이용하여 40° 범위에서 눈의 신속 운동 속도를 기록하여 비교한 결과 두 방식 모두 1° 이내의 오차로 비슷하게 눈운동을 기록할 수 있었다. 단 VOG의 경우 SSCS에 비해 상대적으로 sampling rate(60 Hz)가 낮아 아주 빠른 미세 눈운동을 기록하기에는 다소 부족하였다(15). SSCS와 3-D VOG를 이용한 눈운동의 비교 분석에서 두 기기의 차이는 회전, 수평, 수직 운동에서 각각 0.56°, 0.78°, 0.18°로 적었으며 sampling rate에서는 SSCS와 3-D VOG의 차이는 각각 500Hz 이상과 60Hz로 매우 큰 차이를 보여 주었다. 이런 차이는 일반적인 영상 저장장치가 초당 30 프레임을 사용하고 있기 때문이다. 향후 디지털 영상 시스템이 발전하고 전산 처리 속도가 보다 빨라지면 sampling rate도 높아질 수 있으리라 생각된다(Figure 5)(8, 16). 실제로 우리 눈의 운동이나 안진을 기록하는 데는 sampling rate가 60Hz면 충분하지만 sampling rate가 커지면 미세 안진의 연구에 큰 도움이 되리라 생각된다. SSCS와 3-D VOG의 측정치에서 발생하는 미세한 차이는 VOG 장치를 머리에 부착시켜서 센서와 눈과의 거리 차이에서 오는 것으로 생각되며 그 차이는 미미한 반면 VOG는 비관혈적이고 환자가 착용하기에 편하기 때문에 실제 임상응용에서는 훨씬 유리하다. 추후 컴퓨터의 발달과 더불어 더욱 빠르고 정확한 VOG가 개발되어 SSCS 혹은 ENG 등을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Yee RD, Schiller VL, Lim V, Baloh FG, Baloh RW, Honrubia V. Velocities of vertical saccades with different eye movement recording methods. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1985;26:938-944.
2. Dell'osso LF, Daroff RB. Eye movement characteristics and recording techniques. In: Tasman W, ed. *Duane's Clinical Ophthalmology*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott, 1991: 14-16.
3. Dell'osso LF, Daroff RB, Troost BT. Nystagmus and saccadic intrusions and oscillations. In: Tasman W, ed. *Duane's Clinical*

- Ophthalmology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott, 1991:1-3.
4. Baloh RW, Sills AW, Kumley WE, Honrubia V. Quantitative measurement of saccade amplitude, duration, and velocity. *Neurology* 1975;25:1065-1070.
 5. Baloh RW, Langhofer L, Honrubia V, Yee RD. On-line analysis of eye movements using a digital computer. *Aviat Space Environ Med* 1980;51:563-567.
 6. Collewyn H, van der Mark F, Jansen TC. Precise recording of human eye movements. *Vision Res* 1975;15:447-450.
 7. Noorden GK. Binocular vision and ocular motility. 5th ed. St. Louis: Mosby, 1996:41-56.
 8. Imai T, Sekine K, Hattori K, Takeda N, Koizuka I, Nakamae K, Miura K, Fujioka H, Kubo T. Comparing the accuracy of video-oculography and the scleral search coil system in human eye movement analysis. *Auris Nasus Larynx* 2005;32:3-9.
 9. Jones R. Two dimensional eye movement recording using a photo-electric matrix method. *Vision Res* 1973;13:425-431.
 10. Yamanobe S, Taira S, Morizono T, Yagi T, Kamio T. Eye movement analysis system using computerized image recognition. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1990;116:338-341.
 11. Han SH. Measurements of ocular saccadic velocities: computerized digital video measurement technique. *J Korean Ophthalmol Soc* 1995;36:1199-1206.
 12. Han SH, Yoo TW, Lee JB. Digitalized videographic measurement of strabismic angle. *J Korean Ophthalmol Soc* 1998;39:740-745.
 13. Han SH, Kim SG, Lee JB. Digital videographic measurement of cyclotorsional angle in normal human eye. *J Korean Ophthalmol Soc* 1998;39:1571-1577.
 14. Han SH, Kim SG, Lee JB, Jeong H. Eye movement recording using computer image recognition technique. *J Korean Ophthalmol Soc* 2003;44:2410-2416.
 15. van der Geest JN, Frens MA. Recording eye movements with video-oculography and scleral search coils: a direct comparison of two methods. *J Neurosci Methods* 2002;114:185-195.
 16. Houben MM, Goumans J, van der Steen J. Recording three-dimensional eye movements: scleral search coils versus video oculography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:179-187.



Peer Reviewer Commentary

라 상 훈 (연세원주의대 안과)

본 논문은 눈운동 이상을 기록, 분석 그리고 진단하는 검사들에 대한 소개와 그 장단점에 대해서 객관적으로 기술하고 있으며 최근 새롭게 소개된 영상 안진검사에 대해서 자세히 다루고 있다. 영상 안진검사는 눈의 3차원적 운동을 실시간으로 기록할 수 있고, 전극의 부착으로 인한 오류나 환자의 불편감이 적고 정확한 검사 결과를 얻을 수 있다. 하지만 아직 미세한 안운동 이상에는 어려움이 있음을 간과해서는 안된다. 그러나 향후 디지털 영상 기술의 발달로 이러한 단점도 개선될 여지가 있으므로 그 활용은 더욱 증가할 것으로 보인다.