

디지털 방식을 이용한 사시각의 측정

한승한 · 유태환 · 이종복

= 요약 =

최근 사용되고 있는 사시각의 측정은 검사자의 경험과 주관적 판단에 의존하는 방법이다. 이런 방법에서는 검사자간에 그리고 동일 검사자에 의한 측정값의 차이가 비교적 크게 나타날 수 있어 좀더 정밀한 사시각 측정 방법의 개발이 필요하다.

본 연구는 편리하고 정확하게 사용될 수 있는 사시각 측정 방법의 개발을 위하여, 비디오 카메라와 컴퓨터를 이용한 새로운 디지털 방식의 안운동각 측정법을 고안하였다. 이 방법으로 사시각을 측정하여 보았으며, 새로운 진단 방법으로서의 정밀도를 평가하고자 하였다. 다른 눈이상이 없는 일차 수평 사시 35명 35안을 대상으로 하여 디지털 방식을 사용하여 안구 편위각을 측정하고 이 값과 교대프리즘가림 검사에 의한 측정값을 회기귀분석으로 비교하였다. 디지털 방식의 사시각 측정치와 교대프리즘가림 검사법의 측정치 사이의 선형 추세 방정식은 $Y=1.1054X+1.3870$ (Y =교대프리즘가림 검사법의 사시각 측정치, X =디지털 방식의 사시각 측정치)였다. 또 본 연구에서 디지털 방식의 수평 사시각 측정치의 재현성을 평가하기 위해서 동일 환자의 한 화면에서 안구 편위각도를 20회 반복 측정하여 검사자내 재현성을 구한 결과 3.71%였다.

이상의 결과로 디지털 방식의 사시각 측정은 기존의 방법을 대체하여 편리하게 사용될 수 있음을 알 수 있었고, 재현성의 평가에 있어서 대체로 정밀하였다(한안지 39:740~745, 1998).

= Abstract =

Digitalized Videographic Measurement of Strabismic Angle

Sueng Han Han, M.D., Tae Hwan Yoo, M.D., Jong Bok Lee, M.D.

Current using strabismic angle measurement techniques require examiner's experience and subjective decision. The accuracy between observers and

<접수일 : 1997년 11월 3일, 심사통과일 : 1997년 12월 31일>

연세대학교 의과대학 안과학교실 시기능개발 연구소

The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea

* 본 논문의 요지는 1997년 제 78차 대한안과학회 춘계 학술 대회에서 구연 발표됨.

intra-observer is limited by the minimum eye movement that the examiner can detect with naked eye. Horizontal strabismic angles with 35 comitant strabismus patients were measured using precise digital signals converted by digital frame grabber and image processing software in a 32 bit microcomputer. Strabismic angle calculated using digital method was compared with that of prism-cover method. The slope of the regression line was 1.1054; the Y-intercept was 1.3870PD. The coefficient of variation to verify its reproducibility for measurements of total variability in 35 strabismic patients was 3.71%. The strabismic angle measurement with digital frame grabber seems to be relatively precise and clinical application will be available in measuring horizontal and vertical strabismic angle(J Korean Ophthalmol Soc 39:740~745, 1998).

Key Words : Digital, Reproducibility, Strabismic angle

현재 임상적으로 사용되는 사시각의 객관적 측정법은 Hirschberg방법, Krimsky방법 그리고 교대프리즘가림 검사법 등이 있다. 이중 임상에서는 교대프리즘가림 검사법이 가장 정확하다고 알려져, 이 방법이 가장 널리 사용되고 있다^{1,2,3}. 상기한 검사법이 대부분 검사자의 경험 및 눈짐작에 의존한 측정값을 얻게 되어, 검사자간 그리고 동일 검사자에 의해서도 측정값의 차이가 커서 좀더 정밀하게 사시각을 측정할 수 있는 방법의 개발이 필요하다^{4,5}.

이에 저자들은 환자에게 부담을 적게 주면서 정확한 안운동 각도의 측정 방법을 개발하고자 하였다. 대중화된 비디오 카메라로 안운동을 녹화한 후 초당 30 화면의 비디오 화면을 컴퓨터에 장착된 frame grabber로 화면 포착한다. 안운동 각도의 정량적 측정을 위하여 사시환자에서 한눈의 이동점과 고정점 사이의 화면상의 거리를 수학적 공식을 이용하여 보정하고, 두 점간의 이동 거리를 운동 각도로 계산하였다. 이렇게 디지털화하여 얻은 안구 편위각과 실제 교대프리즘가림 검사값을 회기 분석으로 비교하여 그 상관계수를 유추하였다. 새로운 검사법으로서의 신뢰성을 확인하기 위하여 사시각 측정값의 검사자내 재현성을 구하였다.

대상 및 방법

다른 눈이상 없이 일치 수평 사시 35명 35안

을 대상으로 하였으며, 연령분포는 4세에서 11세였으며, 남녀성비는 각각 18:17였다.

안운동각도의 측정을 위한 대상의 비디오 촬영을 시행하였다. 먼저 대상을 의자에 앉힌 후 정면을 주시하게 하고, 고정틀에 환자의 이마와 턱을 고정하여 움직이지 못하게 하였다. 대상의 눈높이에 맞추어 3CCD 비디오 카메라(SONY 3CCD, Model VX-1)의 높이를 조정하고, 보조조명을 카메라의 위에 부착시킨 후 환자의 안각간 거리 중간에 비추었다. 카메라 셔터속도를 1/200초에 맞추고, 카메라 초점을 수동에 맞춘 후 줌렌즈와 초점 조절늪을 사용하여 촬영할 눈을 가능한 최대로 확대하고, 보정을 위하여 환자의 눈을 감게 한 후 환자의 얼굴에 mm단위가 표시된 자를 갖다 댄 후 촬영하였다. 환자는 촬영중 target light를 계속 주시하게 하였고, 이때 보조조명은 형광등을 이용하고, 환자 전방에서 보조조명을 천장에 반사시켰다. 다시 사시안을 최대로 확대하여 촬영한 후, 우세안과 사시안을 가리개로 가리면서 촬영을 진행했다. 위 방법으로 10회 반복하여 촬영했다. 교대프리즘가림 검사를 카메라 위치와 같은 검사 거리에서 실시하여 그 값을 측정했다.

촬영된 비디오 화면을 이용하여 안운동 각도를 측정하는 과정은 다음과 같다. 촬영된 8mm 비디오 테이프를 486Dx4-100 컴퓨터(IBM compatible)에 장착된 frame grabber(Video marker, VITEC Co, Paris, France)로 화면 포착

하여 640×480pixel 크기의 디지털 화면으로 바꾼 후 화면상의 좌표를 얻었다. 교대가림검사 화면중 고정점(R)과 이동점(F)과의 거리의 차이가 가장 큰 두 화면을 취하였다. 이때 눈의 중심 좌표(C)는 각막의 중앙이 되는 점으로 하였고, 고정점(R)은 target light가 각막에서 반사 되는 점으로 정하였다. 그리고 이동점(F, F')은 안구의 중심점(C)과 고정점(R)에서 수평선을 그은 후 그 선이 각막윤과 만나는 점으로 정하였다. 각막윤은 256 gray scale의 화면 중에서 명암의 차이가 가장 확실한 선으로 택하였다(Fig. 1). F-R과 F'-R 사이의 거리의 차를 구하여 MOCHA image analysis 프로그램(MOCHA for windows, Jandel Inc., CA, U.S.A.)을 이용하여 mm로 환산하였다. 이렇게 구해진 안구 편위 거리를 실제로 임상에서 사용하는 프리즘 각도로 환산하기 위하여, 제이 코사인 법칙을 이용하여 원주각으로

치환하였다(Fig. 2).

컴퓨터 화면상에 나타난 거리는 평면상의 거리이며, 이를 눈에서의 구면 거리로 보정하여 구하였다(Fig. 3). 위의 과정을 환자마다 각각 10회 실시하여 평균값을 구했다. 이렇게 디지털화하여 얻은 안구 편위각과 실제 교대프리즘가림 검사값을 회기분석하여, 그 상관계수를 유추했다.

안운동 각도 측정을 위하여 녹화한 화면 중 임의의 한 개의 화면을 취하고, 안구의 중심(R, 고정점)에서 수평선을 그은 후 그 선이 각막윤과 만나는 이동점을 얻었다. 취한 화면 중 각각 1개의 고정점과 이동점을 20회 반복하여 취했다. 이렇게 얻어진 20개의 이동점과 고정점 사이의 거리(|F-R|)를 구해서, 20개의 |F-R|값의 표준편차와 평균값을 구하고, 검사자내의 재현성을 평가하기 위하여 Coefficient of Variation(%)을 구했다.

결 과

안운동각의 디지털 방식의 측정을 위해 선택한 대상 35명의 디지털 방법의 안운동각 측정치의 평균값은 수평 사시각도가 18.14프리즘 디옵터이

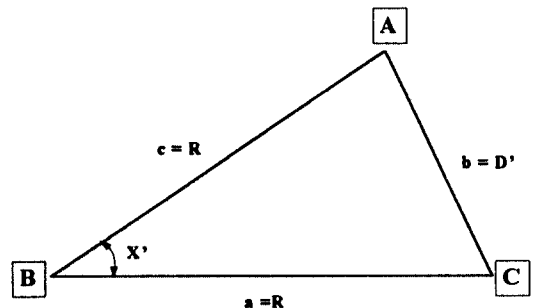


Fig. 2. The second rule of cosine.

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B$$

$$b = \text{SQRT}(c^2 + a^2 - 2ca \cos B)$$

$$D'^2 = 2R^2 \times (1 - \cos X')$$

$$\cos X' = 1 - (D'^2 / 121.68)$$

$$X' = \arccos(1 - (D'^2 / 121.68))$$

$$X' \Delta = \text{Tan}(\arccos(1 - (D'^2 / 121.68))) \times 100$$

$$\Delta = \text{Tan} X' \times 100$$

D' : distance on computer monitor plane,
actual distance

Fig. 1. Selection of coordinates(point of fixation, point of movement) for measurement of strabismic angle.

R : point of fixation, F : point of movement

었으며, 교대프리즘가림 검사법의 평균 측정값은 20.89프리즘 디옵터였다. 디지털 방법의 안운동 각 측정치의 최대값은 49.16프리즘 디옵터였으며, 교대프리즘가림 검사법 측정치의 최대값은 50.00프리즘 디옵터였다. 디지털 방법의 안운동 각 측정치의 최소값은 -46.54프리즘 디옵터였으며, 교대프리즘가림 검사법 측정치의 최대값은 -53.00프리즘 디옵터였다(음의 부호는 내사시, 양의 부호는 외사시로 표기함). 디지털 방법의 안운동 각 측정치와 교대프리즘가림 검사법 측정치의 상관관계를 알기 위하여 Y값을 교대프리즘가림 검사법 측정치로 X값을 디지털 방식의 안운동 각 측정치로 하여 선형 추세 방정식을 구하였다. 그 방정식은 $Y=1.1054+1.3870X$ 이었다(Fig. 4). 수평 사시각의 측정치의 검사자 내 재현성을 평가하

기 위해 구한 Coefficient of variation(%)은 3.71%이었고, 안구 운동 각도 측정치(mm)의 평균은 3.62, 표준편차는 0.13였다.

고 찰

사시각의 측정 방법은 von graefe(1857)가 사시각을 정량적으로 기술한 후 여러 가지 형태로 발전하였다. Laurence(1865), Meyer(1865), Galezowski(1869)들은 사시각을 객관적으로 측정하기 위한 장치를 고안하였다. 이들은 단안 혹은 양안에서 사시의 정도를 각도가 아닌 길이(linear measure)로 측정하였다. 이들이 고안한 방법들은 사시각을 정량적으로 측정하여 수술 등의 치료에 응용하려는 객관적인 지표로 삼으려고 했다는 점에서는 인정받을만 하였으나, 3가지 축을 중심으로 한 안구의 운동을 무시하고 사시각을 단순한 길이로 측정하였기 때문에 실제 임상에 이용되지 못하였다. Steffan(1866), Landolt(1866), Chaptier(1878), Snellen(1873)들은 시야계와 촛불을 사용하여 사시 각도를 길이가 아닌 원주각으로 측정하였다. 그러나 초기의 이런 시도들은 측정 기구들의 사용이 불편하고 측정시에 나타나는 오차가 큰 단점 때문에 실용화되지 못 하였다. Hirschberg(1885)는 30cm 떨어진 곳에서 광원으로 촛불을 사용하여 사시안의 각막에 반사되는 빛이

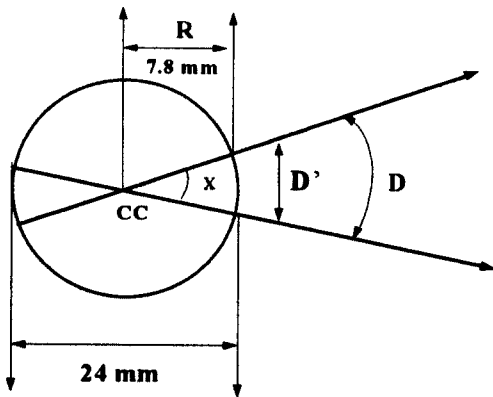


Fig. 3. A formula for conversion of the distance on computer monitor plane to the spherical distance on ocular surface. The distance on computer monitor is a distance of ground plane. This distance should be converted to the spherical distance on ocular surface. The angle of circumference was calculated by the second rule of cosine, and the conversion of circumferential angle to prism diopter was done.

$R=7.8\text{mm}$ (a line connecting the fixation point with the center of curvature(CC) of the cornea)

$D=(X^\circ/360) \times 2\pi R$ (spherical distance, theoretical distance)

$X^\circ=360 \times D/2\pi R=8.19\text{D}$

$X\Delta=\text{Tan}(16.38\text{D}) \times 100, 14.39\text{D}$

Fig. 4. Scattergram of strabismic angle calculated using the digital videographic method versus prism cover measurement(XT : exotropia, ET : esotropia).

눈의 중심으로부터 떨어진 거리를 여러 단계로 구분하여 사시각을 측정하였다. 불빛이 동공연에 맺히면 12~15도, 불빛이 동공연과 각막윤의 중간에 맺히면 25도, 각막연에 맺히면 45~50도의 사시라고 진단할 수 있다고 주장 하였다. 현재 그 정량적 평가는 바뀌었으나 이 검사 방법은 현재까지도 객관적 사시각검사의 한 방법으로 협조가 이루어지지 않는 소아에 널리 쓰이고 있다²⁾. Hirschberg 계수에 관한 연구는 여러 저자에 의해 연구 발표되었으며 그 정도는 저자들 마다 차이를 보이고 있다 (Table 1)⁶⁾. Krimsky는 프리즘을 사용하여 Hirschberg의 방법을 보완하고 정확한 사시각을 측정하였으며, 이 방법은 객관적 사시각 검사로 현재에도 널리 사용되고 있다¹⁾.

Hirschberg와 Krimsky의 방법들은 카파각을 보정하여야 하는데 눈짐작에 의한 보정 방법으로 오차가 커질 수밖에 없다. 교대프리즘가림 검사법은 객관적 사시각 측정 방법 중 가장 널리 사용되는 방법이다. 그러나 이 방법은 사시각이 점점 커질수록 오차가 커지며 75프리즘 디옵터 이상의 사시에 있어서 약 10 프리즘 디옵터의 오차를 나타낼 수 있다. 또한 프리즘의 재질에 따라 오차가 나타날 수 있다³⁾. 이 검사법이 사시 수술 양을 결정하는데 있어서 가장 많이 사용되고 비교적 정확하다고 알려져 있지만 아무리 숙련된 검사자가 시행하더라도 3~4프리즘 디옵터 이상의 오차를 나타낼 수 있다^{4,5)}. 사진과 비디오 카메라 그리고 컴퓨터의 발달과 함께 사시안을 영상화하여 그 화면에서의 사시각을 측정하려는 시도를 하고 있다.

Brodie는 프리즘을 이용하여 인위적 사시를 만든 후 사진 촬영을 하여 사진상의 편위거리(mm)와 편위각(프리즘 디옵터, PD)과의 관계를 계산하여 Hirschberg계수를 유추하였다. 그가 계산한 Hirschberg계수는 21PD/mm였다. 이 경우 사진의 평면을 실제 눈의 곡면 상태로 보정하지 않았기 때문에 다른 저자들과의 계수와 차이가 있었다⁷⁾. 사진을 이용하여 교대프리즘가림 검사법과 각막 반사법의 상관관계를 유추한 결과 Hirschberg계수는 20.89PD/mm이었다⁶⁾. 교대프리즘가림 검사법의 정확도를 높이기 위해서 환자의 얼굴을 고정시키고 환자의 눈에 적외선을 조사하여 반사되어 나오는 Purkinje image를 비디오 카메라로 측정하여 약 1도의 사시각을 정확히 측정하였다⁸⁾. Miller등은 Hirschberg방법의 오차를 줄이기 위하여 컴퓨터의 image processing technique을 도입하였다. 인위적으로 사시를 만든 후 눈에 적외선을 조사하여 반사된 Purkinje image를 디지털 화면으로 전환시킨 후 실제 인위적으로 만든 사시각과 컴퓨터상에서 계산한 사시각의 결과를 분석하여 두 방법간에 통계학적 의의가 있음을 보고하였다⁹⁾. 저자들은 디지털 방법으로 사시각을 측정하여 얻은 화면상의 안구 운동 거리를 기하학적으로 보정하여 원주 각도를 구하였다. 이때 각막의 중심부에서 각막까지의 곡률반경은 7.8mm라고 가정하였다¹⁰⁾. 디지털 방법에 의한 측정치를 현재 임상에서 가장 널리 쓰이는 교대프리즘가림 검사법의 측정치와 비교하여 회귀 방정식을 얻을 수 있었다. 따라서 디지털 방법으로 측정 한 사시각을

Table 1. Qualitative analysis of Hirschberg coefficient.

| Reference | Hirschberg coefficient | method of analysis |
|-----------------|------------------------|---|
| Hirschberg | 1886 8°/mm | clinical experience |
| Wheeler | 1943 8°/mm | relationship between gaze direction and limbal reflection |
| krimsky | 1948 7°/mm | use of geometric model |
| Jones, Eskridge | 1970 12°/mm, 22PD/mm | analysis of photograph and use of geometric model |
| Griffin, Boyer | 1974 20.75PD/mm | analysis of photograph |
| Carter, Roth | 1978 13.6°/mm | analysis of photograph |
| Wick, London | 1980 19.5PD/mm | theoretical calculation |
| Brodie | 1987 21PD/mm | analysis of photograph and use of geometric model |

PD: Prism diopter

교대프리즘가림 검사법의 측정치로 환산하여 임상
에 적용할 수 있으리라 생각된다. 수평 사시와 수
직 사시가 동반된 경우에 있어서도 안운동시 수평
및 수직 운동으로 구분한다면 사시각을 수평 및
수직 사시각으로 분리하여 측정할 수 있으리라 생
각된다. 이차원 평면상의 화면상 안운동 거리를 3
차원적인 원주 각도로 치환하는 공식을 이용하면
정확한 Hirschberg계수를 얻을 수 있으리라 생각
되며, 카파각을 보정할 방법을 고안한다면 소아
사시각 측정에도 이용할 수 있으리라 생각된다.
디지털 방법의 사시각 측정의 재현성을 평가하기
위해서 Coefficient of variation (%)을 계산하였
다¹¹⁻¹³⁾. 재현성은 3.71%로 본 실험에서 최대 측정
값 49.16PD의 오차 한계는 1.82PD로 교대프리
즘가림 검사법의 오차(3~4PD)에 비하여 정확하
였다.

본 연구에서는 일반 가정용 비디오카메라로 안
운동을 녹화한 후 비디오 화면을 frame grab-
ber로 디지털화하여 640×480개의 x, y좌표로 치
환한 후 안운동 각도를 측정해 보았다. 이러한 디
지탈 방식의 사시각 측정은 그 측정치의 재현성이
뛰어 나며, 검사 시행 중 검사자의 주관적 요인을
감소시킬 수 있어, 검사자간 혹은 검사자 내의 오
차를 줄일 수 있었으며, 사시 각도의 정확한 측정
에 이용할 수 있는 좋은 방법임을 알 수 있었다.
앞으로 자료 압축 기술의 발달과 pattern reco-
gnition기법을 활용하여 발전시키면 안운동을 좀
더 빠르고 정밀하게 기록하면서 보다 정확하고 편
리한 사시각의 측정이 가능하리라 생각되어 보고
하는 바이다.

REFERENCES

- 1) Krinsky E : *The binocular examination of the young child.* *Am J. Ophthalmol* 26:624-625, 1943.
- 2) Wheeler MC : *Objective strabismometry in young children.* *Arch Ophthalmol* 29:720-736, 1943.
- 3) Putnam OA, Quereau JV : *Precisional errors in measurement of squint and phoria.* *Arch Ophthalmol* 34:7-15, 1945.
- 4) Ludvig E : *Amount of eye movement objectively perceptible to the unaided eye.* *Am J. Ophthalmol* 32:649-653, 1949.
- 5) Romano PE, Von Noorden GK : *Limitations of cover test in detecting strabismus.* *Am J. Ophthalmol* 77:10-12, 1971.
- 6) Derespini PA, Naidu E, Brodie SE : *Calibration of Hirschberg test photographs under clinical condition.* *Ophthalmology* 96:944-949, 1989.
- 7) Brodie SE : *Photographic calibration of the Hirschberg test.* *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28:736-742, 1987.
- 8) Effert R, Pflibsen K : *A new method to perform the cover test.* *Ophthalmology* 93:433-435, 1986.
- 9) Miller JM, Mellinger M, Grievenkemp J, Simons K : *Videographic Hirschberg measurement of simulated strabismic deviations.* *Invest Ophthalmol Vis Sci* 34:3220-3229, 1993.
- 10) Uozato H, Guyton DL : *Centering corneal surgical procedure.* *Am J. Ophthalmol* 103:264-275, 1987.
- 11) Caprioli J, Klingbeli U, Sears M, Pope B : *Reproducibility of optic disc measurement with computerized analysis of stereoscopic video images.* *Arch Ophthalmol* 104:1035-1039, 1986.
- 12) Shields MB, Martone JF, Shelton AR, Olie AR, Macmillan J : *Reproducibility of topographic measurements with the optic nerve head analyzer.* *Am J. Ophthalmol* 104:581-586, 1987.
- 13) Mikelberg FS, Douglas GR, Drance SM, Schuizer M, Wilsman K : *Reproducibility of computerized pallor measurements obtained with the Rodenstock disk analyzer.* *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 226:269-271, 1988.