대한안과학회지 : 제 39 권 제 7 호 1998
J Korean Ophthalmol Soc Vol. 39, No. 7

디지털 방식의 안구회선각도 측정 및 재현성

한승한 · 김상길 · 이종복

= 요 약 =

현재까지 임상에서 회선운동각을 측정하는 방법은 검안경에 각도기를 장착하여 측정하거나, 안저촬영 등의 방법 등이 이용되어 왔으나 이런 방법들은 검사자의 주관적인 요소가 개입될 수 있어 안구의 회선운동을 객관적이고 정확하게 측정하는데는 어려움이 많다.

본 연구는 머리 기울임에 따른 정확한 안구의 회선 운동각을 측정하기 위하여 컴퓨터를 이용하는 새로운 방법을 고안하였으며 이 방법으로 머리기울임에 따른 안구의 회선운동을 측정하고 새로운 진단방법으로서의 정밀도를 평가해 보고자 하였다. 정상인 16명을 대상으로 안구의 회선각도와 머리 기울임 각도를 디지털 방법으로 측정한 결과 머리 기울임과 안구의 회선각 사이의 선형추세 방정식은 Y=2.0195X+22.2280(Y=머리 기울임각, X=안구의 회선각)이었으며 측정값의 검사자 내 재현성은 0.88%이었다. 이상의 결과로 디지털방법의 안운동각 측정방법은 측정이 힘들고 부정확한 기존의 방법에 비하여 편리하고 비교적 정확하게 회선운동각도의 측정에 사용할 수 있음을 알 수 있었다(한안지 39:1571~1577, 1998).

= **Abstract** =

Digital Videographic Measurement of Cyclotorsional Angle in Normal Human Eye

Sueng Han Han, M.D., Sang Gil Kim, M.D., Jong Bok Lee, M.D.

The eyeball movement is classifed into horizontal, vertical movement and cyclotorsion. The cyclotorsion has been known to be induced by two oblique and vertical rectus muscles. But there have been few precise methods for the measurement of cyclotorsion. So, we tried to find the precise method for

<접수일 : 1998년 1월 19일, 심사통과일 : 1998년 3월 20일>

연세대학교 의과대학 안과학교실, 시기능개발 연구소
The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea

the measurement of cyclotorsion with digital videographic method. Sixteen normal volunteers were included in this study, who had no eyeball movement disorders. For the measurement of cyclotorsion that followed by head tilt, the volunteer's head was tilted to fifteen, thirty, forty-five and sixty degree to the left and the partially compensated counter torsion was recorded with video camera. The movement was analyzed with digitally using IBM clone computer. The linear regression equation, between the head tilt and cyclotorsion was Y=2.019 X+22.2280 (Y=head tilt, X=cyclotorsion) and coefficient of variation(%) was 0.88%. Therefore, our videographic method for the measurement of cyclotorsion was relatively precise and may be applied in the measurement of ocular torsion (J Korean Ophthalmol Soc 39:1571~1577, 1998).

Key Words : Cyclotorsion, Digital, Head tilt, Reproducibility

안구에는 6개의 외안근이 있으며 이 외안근을 통해 3가지 축의 안운동이 일어난다. 3가지 축의 안운동은 수평운동과 수직운동 그리고 가장 복잡한 운동인 회선운동이다. 회선운동이 일어나는 가장 큰 이유는 상, 하직근과 상, 하사근이 수직축에서 어긋나게 부착되어 또 하나의 새로운 벡터에 의한 3차원적인 운동이 생기게 되기 때문이다. 회선운동에 관련하는 주요 근육은 사근이며 상, 하직근들도 일부 관여하고 있다고 알려져 있다. 따라서 사근마비가 올 경우 회선 복시를 호소하는 경우가 많으며 이 경우 머리 기울임 검사를 하여 마비된 사근을 찾게 된다[1]. 고전적으로는 머리를 좌우로 기울일 경우 그 반대방향으로 회선운동이 일어난다고 알려져 있으나, 여기에는 두 가지 서로 상반된 학설이 존재한다[2-4]. 첫째는 고개를 기울여도 회선운동이 생기지 않는다는 것이고, 둘째는 고개 기울임에 의해 기울인 방향의 반대 방향으로 회선운동이 생긴다는 것이다. 이와 같이 두 상반된 학설이 존재하게 된 이유는 검사 방법의 부정확성 때문이다. 실제로 눈의 회선운동을 측정하는 방법은 사진을 이용한 방법, 눈에 실을 대어 기울기를 재는 방법, 검안경을 이용하는 방법 등이 소개되어 있으나, 정량적 평가에 있어서 그 정확도가 떨어진다[5-9].

이에 저자들은 환자에게 부담을 적게 주면서 정확한 회선운동 각도 측정을 위해 최근에 일반적으로도 많이 사용되는 디지털 방법의 검퓨터를 이용하여 정상인의 머리 기울임에 따른 잔여 회선 운동양을 측정하여 머리 기울임과 회선운동각도 사이의 상관관계를 분석하였으며 새로운 검사법으로서의 신뢰성을 확인하기 위해 검사의 재현성을 평가하였다.

대상 및 방법

머리 기울임에 따른 회선운동각도를 측정하기 위하여 안운동 장애가 없는 정상 성인 남녀 16명을 대상으로 하였으며 이들의 연령분포는 22세에서 32세였으며 남녀 성비는 각각 8:8이었다.

본 실험을 위하여 형광등으로 조명하였고 그 조도는 일정하게 유지하였으며 대상안의 안운동을 기록하기 위하여 3CCD 비디오 카메라(SONY 3CCD, Model VX-1)로 녹화하였다. 먼저 대상자들을 의자에 앉게 한 후 정면을 주시하게 하였으며 대상자의 얼굴을 특수 제작한 틀에 고정하였다(Fig. 1). 이때 머리가 움직이지 않도록 머리띠를 착용하였다. 대상자의 눈높이에 맞추어 카메라의 높이를 조정하였으며 보조 조명을 카메라의 위에 부착시킨 후 대상자의 안각거리 중간에 비추었다. 이때 카메라의 셔터 속도를 1/200초에 맞춘 후, 카메라의 초점을 수동으로 하고 줌렌즈와 초점 조절놉을 사용하여 촬영할 눈을 가능한 최대로 확대하였다. 또, 화면상 거리의 보정을 위하여 대상자의 눈을 감게 한 후 환자 얼굴에 ㎜ 단위가 표시된 자를 갖다 댄 후 촬영하였으며 촬영 중 환자는 주시등(target light)을 계속 주시하게 하

였다. 촬영 시 대상자의 머리를 좌측으로 15도, 30도, 45도, 60도로 변화시키면서 우안을 촬영하였으며, 이때 각각의 지정된 각도로 머리를 기울인 상태에서 2분씩 촬영하였다.

자료의 분석은 아나로그 화면을 디지털 화면으로 바꾸기 위해 녹화된 비디오 화면 중, 각 대상의 머리 기울임이 없는 화면과 15도, 30도 45도 60도로 기울인 필름 중 임의의 화면을 택하여 486 DX-100 컴퓨터(486 DX4-100, IBM clone)에 장착된 frame grabber(Video maker, VITEC Co, Paris, France)로 화면 포착한 후 640×480 pixel 크기의 디지털 화면으로 바꾸었다. 이 화면에 MOCHA image analysis 프로그램(MOCHA for windows, Jandel Inc., CA, U.S.A.)을 사용하여 각각의 화면상의 좌표 중 1개의 이동점과 4개의 고정점을 취하였으며 이때 고정점은 외안각을 취하고 이동점은 이측 결막 혈관을 택하였다(Table 1, Fig. 2). 머리를 좌측으로 기울일 경우 우안의 회선운동이 일어나면, C를 꼭지점으로 하는 각∠RCF가 변화하게 된다. 따라서 머리 기울임이 없는 경우의 각∠RCF를 a0, 15도 기울인 후의 각∠RCF를 a15, 30도 기울인 후의 각∠RCF

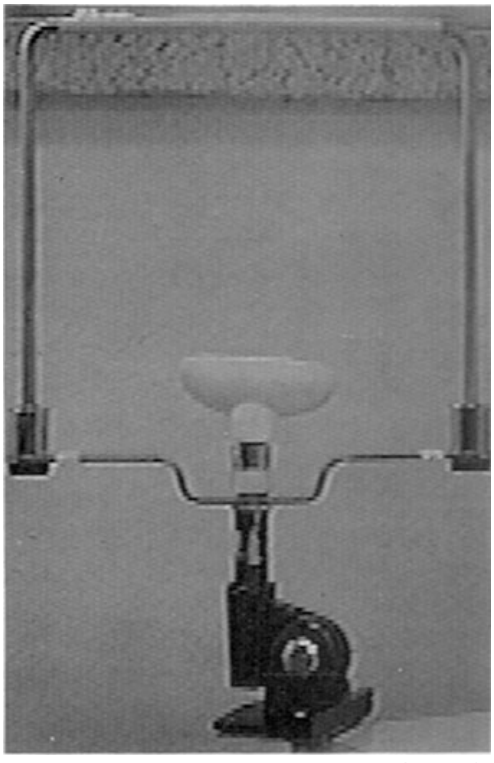

Fig. 1. The device designed for maintaining subject's head tilt to 15 to 60 degree.

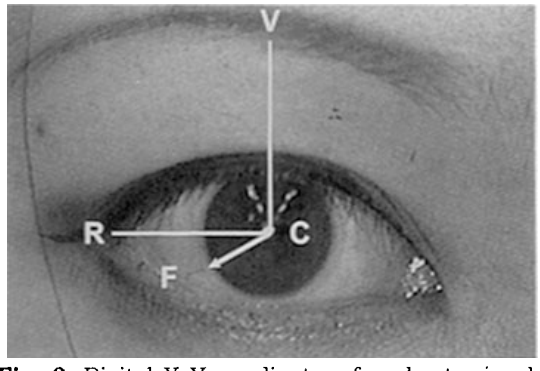

Fig. 2. Digital X, Y coordinates of ocular torsional angle and head tilt.
C: Center of rotation
F : Following point
R : Reference point
V-C : Vertical line

Table 1. System Charateristics

Camera	SONY 3CCD, Model VX-1
Video recorder	SONY EVC100(Hi-8 format)
Image processing software	MOCHA for windows(Jandel Inc., CA, U.S.A)
Hardware	
CPU	486 DX4-100, IBM clone
Frame grabber	Videomaker(Vitec Co, Paris, France), 640×480(pixels)

를 a30, 45도 기울인 후의 각∠RCF를 a45 60도 기울인 후의 각∠RCF를 a60이라고 가정하면, 좌측으로 15도 기울인 후의 회선운동각은 a15-a0, 30도 기울인 후의 회선운동각은 a30-a0, 45도 기울인 후의 회선운동각은 a45-a0, 60도 기울인 후의 회선운동각은 a60-a0이 된다. 머리 기울임이 없는 화면에서 눈의 중심에서 수직선을 그은 후 눈의 중심에서 고정점 사이의 선과의 각도를 b0라고 가정하고, 머리고정장치로 15도, 30도, 45도, 60도 기울인 후의 눈의 중심에서의 머리기울임 각도를 b15, b30, b40, b60이라 하면, 각각의 화면에서 머리 기울임 각도는 b15-b0, b30-b0, b45-b0, b60-b0가 된다. 이렇게 회선운동각도와 머리 기울임 각도의 값을 구한 후, 회기분석으로 비교하여 머리 기울임에 따른 회선운동각도 변화의 직선회기 방정식을 유추하여 보았다.

각 측정값의 재현성 평가를 위하여 회선운동각도의 측정을 위하여 녹화한 화면 중 임의의 한 개의 화면을 취하여 1개의 이동점과 1개의 고정점을 정한 후 눈의 회전중심(C, center of rotation)을 꼭지점으로 하는 RCF를 20회 반복하여 측정한 후 20개의 RCF값의 표준편차와 평균값을 구하고 검사자 내의 재현성을 평가하기 위하여 변이계수(Coefficient of Variation(%))을 구하였다.

결 과

안구회선운동각도의 디지털 측정을 위해 선택한 대상 16명의 머리 기울임 각도의 측정치와 잔여회선운동각도의 평균 측정치는 다음과 같다(Table 2). 머리 기울임 각도가 14.43도였을 때 잔여회선운동각도는 4.03도였으며 머리 기울임 각도가 각각 26.69, 44.76, 62.46도였을 때, 잔여회선운동각도는 6.34, 7.05, 12.01이었다. 이 결과로 머리 기울임에 따라 잔여회선이 생겼으며 그 정도는 머리 기울임에 비례하였으나 머리 기울임 각도와 일치하지 않았다. 또, 두 측정치의 상관 관계를 알기 위해 Y값을 머리 기울임 각도로 측정치로 X값을 잔여회선운동각도 측정치로 하여 선형추세방정식을 구하였으며 그 식은 Y=2.0195X+22.2280이었다(Fig. 3).

검사자 내의 재현성을 평가하기 위하여 Coefficient of Variation(%)을 구하였으며 머리 기울임에 따른 회선각도의 측정치의 검사자 내 재현성은 0.88%이었다(Table 3).

Table 2. The mean value of counter-rolling cyclotorsion

Head tilt	Cyclotorsion
14.43±4.87	4.03±1.67
26.69±8.06	6.34±3.07
44.76±5.75	7.05±3.88
62.46±5.16	12.01±6.93
Mean±SD	(degree)

Table 3. Reproducibility of cyclotorsional eyeball movement.

	Mean±SD(degree)	Reproducibility(%)
Cyclotorsion	91.36±0.81	0.88

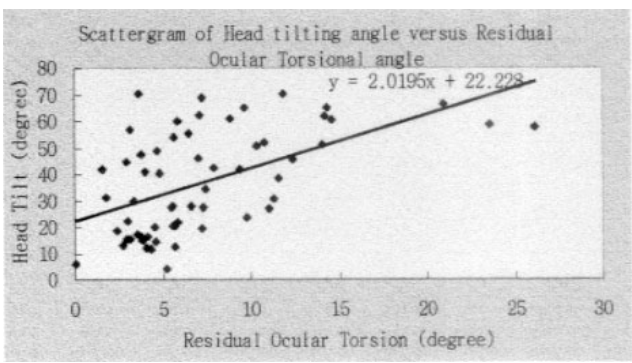

Fig. 3. Scattergram of Head tilting angle versus Residual ocular torsion

고 찰

눈에는 각각 6개의 외안근이 존재한다. 상직근과 하직근은 시축과 23도 각도를 이루며 눈의 적도 앞쪽으로 부착되어 있으며 상사근 및 하사근은 시축과 51도 각도를 이루며 눈의 후극부에 부착되어 있다[1]. 따라서 위 6개의 근육에 의한 3가지 축(X, Y, Z)을 중심으로 한 단안운동이 생긴다. 이에는 Z축을 중심으로 눈이 좌우로 움직이는 내전 및 외전운동, X축을 중심으로 눈이 상하로 움직이는 상전 및 하전운동, Y축을 중심으로 좌우로 움직이는 내회선 및 외회선운동이다[1]. 이러한 안운동을 수행함에 있어 운동장해가 있는 환자들을 진단하고 치료하기 위해서 안운동을 기록할 수 있는 여러 가지 진단기구가 사용되어 왔다[10-12].

이러한 안운동의 기록 방법으로 현재까지 알려진 것들은 전기안진도(electro-nystagmography), magnetic search coil method, infrared limbus tracking method, corneal reflex method 등이 있다. 그러나 이런 방법들은 안운동의 측정이나 결과의 분석에 있어 여러 가지 단점이 있는데, 이런 방법들은 눈의 움직임을 직접 기록하는 방법이 아니고 눈의 움직임 시에 발생하는 전기적 신호를 피부 혹은 공막 등에서 기록하는 간접 방법이며, 아나로그 신호를 사용하여 외부 잡신호에 영향을 받을 수 있으며, 여러 가지 고정장치를 사용하여 환자에 불편을 줄 수 있다[13-16]. 또한 안운동각의 측정을 위하여 사용되는 여러 방법들은 검사자의 주관적인 경험등에 의존하여 검사자간 혹은 동일검사자간의 오차가 발생할 수 있는 단점이 있다[17,18]. 특히 회선운동각을 객관적으로 정확히 측정할 수 있는 방법은 더욱 그러하다. 따라서 저자들은 현재 많이 사용되어지는 컴퓨터를 회선각 측정에 이용해 보기로 하였으며 특히 컴퓨터의 디지털 신호를 이용하면 화상신호를 x, y 공간좌표로 바꾼 후 이진법의 숫자로 치환하여 표시할 수 있다는데 착안하여 안구의 운동량의 변화를 정량적으로 측정하기로 하였다.

최근 개인용컴퓨터의 처리속도 및 용량이 증가함에 따라 안구의 회선운동을 비디오와 컴퓨터의 pattern recognition 기법을 이용하여 기록하려는 시도들과 레이저광을 눈에 조사한 후 반사되는 광선을 computer vision system을 이용하여 눈의 깜박거림의 횟수 및 정도를 측정하려는 시도가 보고되었다[19-21]. 본 연구에서는 일반 가정용 비디오카메라로 안운동을 녹화한 후 비디오 화면을 frame grabber로 디지털화하여 640×480개의 x, y 좌표로 치환한 후 머리 기울임에 따른 안구의 회선운동을 측정해 보았다. 이러한 방법의 장점은 기존의 방법에 비해 비관혈적이어서 협조가 어려운 환자의 경우에서도 검사가 용이하고 수평 수직 운동을 동시에 측정 가능하며 또 비디오 테이프만 있으면 언제라도 재구성이 가능하여 안저촬영 및 인화에 소모되는 시간을 절약할 수 있으며, 검안경 방법에 비해 환자에게 불편함을 주지 않는다는 것이다.

사근마비가 올 경우 수평 혹은 수직안운동은 정상이나 머리 기울임과 회선복시를 호소하는 경우가 많으며 이 경우 머리 기울임 검사를 하여 마비된 사근을 찾게 된다. 고전적으로 머리를 좌우로 기울일 경우 그 반대 방향으로 회선운동이 일어난다고 알려져 있으나 여기에는 두 가지 서로 상반된 학설이 존재한다[2,5,22]. 첫째, 머리를 기울여도 회선운동이 일어나지 않는다는 것이다. Jampel[22]은 원숭이 각막에 달걀 흰자를 가로로 길게 잘라 붙인 후 고개 기울임에 따른 회선운동을 측정한 결과 역회선(counter torsion)이 일어나지 않는다고 하였다. 둘째, 머리를 기울이면 회선운동이 일어나지만, 그 정도는 고전적으로 알려진 정도만큼은 아니라는 것이다. Kushner 등[4,5]은 정상인과 사근마비 환자에서 검안경과 교차원주(cross cylinder)를 이용한 방법과 연속 사진 촬영을 하여 회선각도를 재는 방법으로 머리 기울임과 회선운동의 정도를 측정한 결과 머리 기울임에 따라 회선운동이 일어나지만 그 양은 고전적으로 알려진 것보다 작았다고 보고하였다.

이들에 의하면 머리 기울임을 27도에서 55도로 변화시켰을 때 5도에서 16도 정도의 안구 회선운동이 발생한다고 하였으며 안구의 회선방향에 있어 머리를 기울인 쪽에 위치안 안구의 내회선과 그 반대쪽 안구의 외회선은 차이가 없다고 하였

다. Lindwong과 Herman[23]은 머리를 30도 기울일 때 5도의 내회선이 발생한다고 하였다.

이와 같이 두 상반된 학설이 존재하는 것은 회선의 객관적 검사 방법의 부정확성 때문이라고 할 수 있다. 실제로 눈의 회선운동을 측정하는 객관적 방법으로 눈을 가로지르는 실을 붙인 후 눈을 촬영하여 실과 눈의 홍채내의 특정부위가 이루는 각도를 측정하는 방법이 소개되었으나, 검사 및 판독 방법이 불편하고 정확성에 문제가 있어 임상적으로 사용되지 못하고 있으며[6,24]. Ferman등[24]은 안운동을 기록하는 방법의 일종인 magnetic search coil method를 사용하여 회선각도를 측정하였으나 그 정량적 분석의 어려움으로 임상적으로 널리 사용되지 못하였다. 현재 임상에서는 검안경에 각도기를 장착하여 시신경 유두부와 황반부 사이의 각도를 측정하거나 안저촬영을 한 후 망막의 시신경 유두부와 황반부 사이의 각도를 측정하는 방법이 가장 널리 이용되는 편이며 비교적 정확하다고 알려져 있다[7,9,25].

검안경에 각도기를 장착하여 회선을 검사하는 방법의 재현성은 39%, 안저사진을 이용한 방법의 재현성은 41%로 그 정밀도는 두 방법 모두 비슷하나 그 정밀도가 그리 만족스럽지 못한 편이다.

본 연구에서 디지털 방법으로 회선을 측정한 결과 머리 기울임 후 잔여회선이 발생하였으며 그 정도는 머리 기울임 각도보다는 상대적으로 작았다. 따라서 위의 2번째 가설인 Kushner의 가설과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 Kushner의 방법[4]은 검안경과, 교차원주(cross cylinder)를 이용한 방법으로 검사에 있어 주관적인 요소의 개입이 많을 수 있으며 검사자간의 오차를 유발할 수 있는 확률이 많은 방법으로 정확하지 못한 방법이라 할 수 있겠다. 또 Linwong과 Herman[23]이 제시한 방법은 눈앞에 실을 매달고 머리를 기울인 후 실과 다른 표적 물과의 각도를 측정하는 방법으로 불편하고 측정에 있어 주관적인 요소의 개입이 많을 수 있는 방법이다.

본 연구에서는 머리 기울임에 따른 동측의 내회선과 반대측 안의 외회선을 비교하지는 않았다. 그러나 이 부분에 대해선 Kushner[4,5]는 양안의 회선각도는 차이가 없다고 하였으며 Lindwong과 Herman[23]은 30도 머리를 기울일 경우 동측 내회선은 5도이며 반대측 외회선은 6.5도로 차이가 있다고 하였다. 따라서 앞으로 이러한 디지털 방법에 의한 양안에 대한 비교가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

본 연구의 디지털 회선측정방법은 그 재현성이 0.88%였으며 최대 90도의 회선을 측정할 경우 그 오차는 1도 이내로 위에서 언급한 안저촬영 방법과 검안경과 각도기를 이용한 방법에 비해 훨씬 정확하고 재현성이 높았다. 따라서 이 방법은 안구회선각의 정확한 측정과 마비성 회선사시가 있는 경우 회선마비의 정도의 정확한 측정과 치료 후 추적관찰 등에 유용하게 사용될 수 있는 좋은 방법임을 알 수 있었다.

REFERENCES

1) von Noorden GK : *Binocular vision and ocular motility. 7th ed. St. Louis, Mosby-Year Book*, 1996, pp. 41-56.
2) Quereau JVD : *Some aspects of torsion. Arch Ophthalmol* 51:783-788, 1954.
3) Jampel RS : *Ocular torsion and the function of the vertical extraocular muscles. Am J Ophthalmol* 89:292-304, 1975.
4) Kushner BJ, Kraft SE : *Ocular torsional movements in normal humans. Am J Ophthalmol* 95:752-762, 1983.
5) Kushner BJ, Kraft SE, Vrabec M : *Ocular torsional movements in humans with normal and abnormal ocular motility-part I: objective measurements. J Pediatr Ophthalmol & Stra* 21:172-177, 1984.
6) Rabinovitch He, Sharpe JA, Sylvester TO : *the ocular head tilt reaction. Arch Ophthalmol* 95:1395-1398, 1977.
7) von Noorden GK : *Clinical and theoretical aspects of cyclotropia. J Pediatr Ophthalmol & Stra* 21:126-132, 1984.
8) Madigan WP, Katz NK : *Ocular torsion-direct measurement with indirect ophthalmoscope and protractor. J pediatr Ophthalmol & Stra* 29:171-174, 1992.
9) von Noorden GK, Jenkins RH, Rosenbaum AL : *Horizontal transposition of the vertical rectus*

muscles for treatment of ocular torticollis. J pediatr Ophthalmol & Stra 30:8-14, 1993.

10) 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* 26: 938-944, 1985.
11) Dell'osso LF, Daroff RB : *Eye movement characteristics and recording techniques. In Tasma W, ed. Duane's Clinical Ophthalmology. 2nd Ed. Philadelphia, J.B. Lippincott*, 1991, pp. 14-16.
12) Dell'osso LF, Daroff RB, Troost BT : *Nystagmus ad saccadic intrusions and oscillations. In Tasma W, ed. Duane's Clinical Ophthalmology. 2nd Ed. Philadelphia, J.B. Lippincott*, 1991, pp. 1-3.
13) Collewijun H, Mark F, Janse TC : *Precise recording of human eye movements. Vision Res* 15: 447-450, 1975.
14) Stathacopoulas RA, Yee RD, Bateman JB : *Vertical saccades in Superior Oblique palsy. Invest Ophthalmol Vis Sci* 32:1938-1943, 1991.
15) Jones R : *Two-dimensional eye movement recording using a photo-electric matrix method. Vision Res* 13; 425-531, 1973.
16) Crane HD, Steele CM : *Generation-V dual-Purkinje image eyetracker. appl Optics* 24:527-537, 1985.
17) Roamano PE, von Noorden GK : *Limitations of cover test in detecting strabismus. Am J Ophthalmol* 77:10-12, 1971.
18) Ludvigh E : *Amount of eye movement objectively perceptible to the unaided eye. Am J Oph-thalmol* 32:649-653, 1949.
19) 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.
20) Young LR, Lichtenberg BK, Arroott AP, Crities TA, Oman CM, Edelman ER : *Ocular torsion on earth and in weightlessness. Ann N Y Acad Sci* 3:81-92, 1981.
21) Curthoys IS, Moore ST, McCoy SG, Halmagyi GM, Markham GH, Diamond SG, Wade SW, Smith ST : *VTM-a new method of measuring ocular torsion using image processing techniques. Ann N Y Acad Sci* 14:826-828, 1992.
22) Jampel RS : *Ocular torsion and the primary retinal meridians. Am J Ophthalmol* 91:14-24, 1981.
23) Linwong M, Herman SJ : *Cycloduction of the Eyes with Head tilt. Arch Ophthalmol* 85:570-573, 1971.
24) Ferman L, Colewijin H, Van den Berg AV : *A direct test of listings law-II. Human ocular torsional measured under dynamic conditions. Vision Res* 27:939-951, 1987.
25) Clack TD, Milburn WO, Graham MD : *After image versus photographic ocular torsionometry. Am J otolarungol* 2:133-137, 1981.