

Application of Eye Tracker for Assessing Saccadic Eye Movements

Dong-Sik Yu*, Hyun Gug Cho, Sang-Yeob Kim, and Byeong-Yeon Moon

Dept. of Optometry, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea

(Received April 30, 2018; Revised June 1, 2018; Accepted June 7, 2018)

Purpose: This study aimed to find out whether the eye tracker was an applicable tool for a clinical saccadic eye movement test. **Methods:** Thirty-eight subjects (mean age: 20.61±1.00 years) were recruited. All subjects underwent history taking, visual acuity test with or without correction, gross saccade test, and prism cover test. Horizontal and vertical saccades were measured with Clinical Eye Tracker in visual angle of 30 deg at a distance of 55 cm. Quantification of horizontal and vertical saccades were categorized into components such as size (length and width), and speed for further analysis. **Results:** Components were not significantly different between horizontal and vertical saccades. The fixation length of horizontal saccade reduced with the decrease in exophoria or the increase in esophoria at a near distance ($r = -0.438$, $p = 0.006$). The speed of vertical saccade was faster with the increase in esophoria, and slower with the increase in exophoria ($r = 0.322$, $p = 0.049$). Normal group tended to be nearer to visual angle in the saccade size, and faster in the saccade speed than potential abnormal group. Normal group tended to be nearer (to visual angle) in the saccade size, and faster in the saccade speed than potential normal (not completely normal) group. **Conclusions:** The size and speed of saccade in a given visual angle could be assessed objectively using the eye tracker. This study shows that an eye tracker is an applicable alternative tool for a clinical saccadic eye movement test.

Key words: Horizontal saccade, Vertical saccade, Eye tracker, Eye movement

서 론

충동안구운동(saccadic eye movement)은 망막으로부터 벗어난 상을 망막에 위치하도록 눈이 빠르게 주시하는 움직임이다. 정상적인 충동안구운동은 두 눈이 정확하고 신속한 동향운동(conjugate movement)이 되어야 한다.^[1,2] 모든 안구운동 중에서 충동안구운동은 700 deg/sec의 속도로 가장 빠르며, 임상적으로 적절한 평균속도는 약 300 deg/sec이다.^[3,4] 충동안구운동의 이상은 겨냥이상증(dysmetria), 측정과소증(hypometria 또는 undershooting), 측정과대증(hypermertia 또는 overshooting), 안구운동신경마비(ocular motor nerve palsy), 핵간마비(internuclear ophthalmoplegia), 중증근무력증(myasthenia gravis), 소뇌성질환(cerebellar disease) 및 전반적 시야결손(gross visual field defects) 등의 병리학적 요인으로 나타난다.^[5] 따라서 충동안구운동검사는 눈의 기능이나 눈의 건강을 평가하는 주요 항목이다.

충동안구운동검사는 읽기안구운동(reading eye movement)을 기반으로 정확도와 속도로 평가하는 미세 충동안구운동(fine saccade)과 반사자극이나 자의에 의해 시작되는 즉,

보고자 하는 지점을 정확하고 신속하게 볼 수 있는지 평가하는 총체 충동안구운동(gross saccade)으로 나눌 수 있다.^[3] 미세 충동안구운동검사는 Readalyzer™, Visagraph III™와 같은 아이트래커(eye tracker)를 이용하거나 DEM(development eye movement)검사, NSUCO(Northeastern State University College of Optometry)검사, Pierce검사 및 King-Devick검사 등을 이용한다.^[6] 이외는 달리 총체 충동안구운동검사는 피검자 중심 40~50 cm 거리에 30 deg에서 40 deg 간격으로 양쪽에 놓여 있는 연필 또는 손가락을 교대로 주시하도록 하여 검사한다.^[3] 지금까지의 총체 충동안구운동검사는 직접 관찰에 의한 방법으로 추가 장비가 필요 없는 신속한 검사방법이지만 정량적이지 못하여 동일한 결과를 평가자에 따라 다르게 해석할 수 있다는 단점을 가지고 있다.^[3,7] 이러한 단점을 개선하기 위해 정량화된 평가방법을 모색할 필요가 있다.

총체 충동안구운동의 정량화는 아이트래커를 적용한다면 가능할 것으로 생각된다. 읽기안구운동 평가에 사용되는 아이트래커(Readalyzer™와 Visagraph III™)^[8,9]는 적외선 센서가 장착된 고글을 착용한 상태에서 주시(fixation),

*Corresponding author: Dong-Sik Yu, TEL: +82-33-540-3415, E-mail: yds@kangwon.ac.kr

후퇴(regression), 되돌기(return-sweep) 중심으로 안구움직임을 직접 기록하는 방식으로 이루어지며, 또한 고글 형태로 눈을 감싸고 있어 자연스러운 자세에서의 충동안구운동검사의 정량화에는 용이하지 않은 것으로 판단하였다. 그러나 이와는 달리 Tobii EyeX^[10,11]는 적외선 센서를 컴퓨터 모니터 하단에 부착할 수 있고, 자연스러운 자세에서 모니터 상에 움직이는 타겟을 추적할 수 있어 충동안구운동 평가의 정량화가 가능할 것으로 판단하였다.

아이트래커를 이용한 안구운동 평가는 대부분 읽기안구운동 중심으로 이루어졌으며^[12-14] 충동안구운동에 적용한 사례는 없다. 지금까지의 충동안구운동검사의 결과는 일반적으로 4등급 즉, 부드럽고 정확한 주시일 때 ‘4+’부터 주시 불능 또는 강화된 주시 잠복일 때 ‘1’로 분류되지만 주관적 요소가 개입될 가능성이 높아 좀 더 객관적으로 판단할 방법이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 아이트래커를 이용하여 객관적으로 충동안구운동을 평가하는 방법을 고안하여 기존 방법과의 대체 가능성 및 임상 적용 가능성을 찾고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구의 취지에 동의한 20대 대학생 38명(평균 나이 20.61±1.00세; 남자 16명, 여자 22명)을 대상으로 하였다. 대상자 중 안경 착용자가 18명, 콘택트렌즈 착용자가 11명, 안경이나 콘택트렌즈 미착용자가 9명이었으며, 교정 굴절력은 모두 근시이며 등가구면 굴절력을 기준으로 평균 -4.63±2.42 D, 교정시력은 평균 0.91±1.2줄(line)이었다.

2. 연구 방법

1) 아이트래커 측정체계 및 검량

아이트래커는 Clinical Eye Tracker(Thomson software solutions, Hatfield, UK)를 이용하였다.^[11] 이 장비는 60Hz의 주파수와 약 0.5 deg의 시각 정밀도로 안구추적이 가능한 Tobii EyeX(Tobii Technology AB, Stockholm, Sweden)의 하드웨어와 읽기 과정에서 안구운동을 평가할 수 있는 소프트웨어로 구성되며, Tobii EyeX는 3개의 LED 발광체(illuminator)로 이루어진 프로젝트(projector), 근적외선 감지 카메라에 의해 동공중심각막반사(pupil center-corneal reflection)를 감지하는 센서(sensor)와 눈의 위치와 주시점을 계산하는 알고리즘(algorithm)으로 구성된다.

피검자에게 55 cm 거리에서 모니터의 중앙을 약간 아래 방향으로 보게 한 다음, 프로그램에 의해 모니터 상에 나타나는 4개의 타겟(중앙, 좌우의 상단, 하단 중심)을 지속적으로 주시하게 한다. 이 때 모니터 상의 주시점 위치를

피검자의 동공간거리에 맞도록 검량(calibration)하게 되며, 이 과정에서 피검자가 안경이나 콘택트렌즈를 착용하였다면 착용한 상태에서 실시한다.

2) 타겟 설정

주시거리 55 cm에서 27인치 모니터(해상도 1920×1080, 82 pixels/inch) 상에 나타나는 심벌 타겟이 약 0.5 시력(직경 3.6~3.7 mm 적색 원)이 되도록 조정하였다. 이러한 조건의 시자극(stimulus selector)으로 폭(amplitude)=약 30 deg, 타겟 노출 간격(timing)=500 ms, 배경색(background color)=흑색, 타겟의 색(stimulus color)=적색, 타겟의 크기(size)=12(0.5 시력에 가장 가까운 약 3.7 mm)로 세팅하였고, 타겟은 수평과 수직 방향으로 각각 5~7회 노출하도록 하였다.

3) 아이트래커에 의한 충동안구운동 측정

모든 대상자는 측정하기 전에 문진, 현재의 시력교정상태를 확인하였고 또한 원거리와 근거리 프리즘 가림검사로 편위도를 측정하였다. 이때 먼저 총체 충동안구운동검사를 실시한 다음 아이트래커를 이용하여 충동안구운동 평가를 하였다.

피검자에게 모니터에 나타는 상을 계속 주시하도록 하였고, 이때 주시를 위해 고개를 돌리거나 시표가 나타나는 위치를 미리 예측하지 않도록 하여 측정하였다. 충동안구운동은 수평 방향으로 측정한 후 수직 방향을 측정하였다. 측정값은 모니터 상에 눈이 주시되는 위치를 픽셀(pixel) 단위로 나타내며 시간 경과에 따른 수평 이동(Fig. 1A)과 수직 이동량이 기록되었다. 또한, 눈 움직임의 궤적(trajjectory)은 모니터 상에 기록되며 픽셀 단위의 측정값을 시각(visual angle, deg)으로 표기하여 충동안구운동의 크

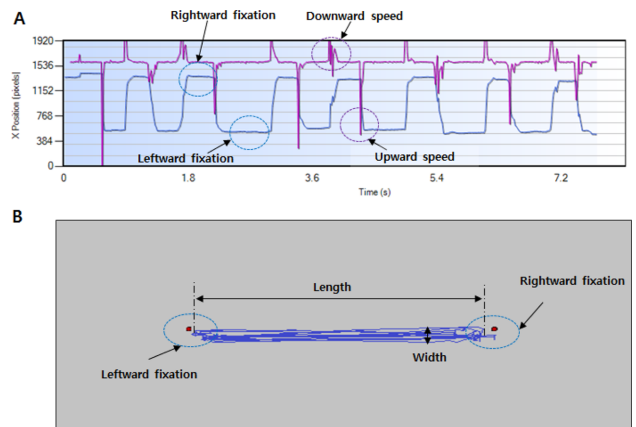


Fig. 1. A raw data of horizontal eye movements. Recording horizontal eye movements (A) and showing scan path (B).

기(길이와 폭, deg; 길이 × 폭, deg²)를 결정하였고(Fig. 1B), 시간 경과에 따른 시각의 움직임으로 표기하여 총동안구운동의 속도(deg/sec)를 평가하였다. 개인의 측정값은 평균과 표준편차를 이용하지 않고 5~7회 노출된 타깃의 반응 중에서 중간값으로 평가하였다.

3. 분석

수집된 자료는 MedCalc®(version 10.3.1.0, MedCalc Software bvba, Belgium)을 이용하여 분석하였다. 모든 분석에서 신뢰구간은 95%로 하였고, 유의 확률 (p)<0.05일 때 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 총동안구운동의 크기

아이트래커에 의한 총동안구운동 평가에서 타깃이 30 deg의 주시각으로 나타날 때 수평과 수직 총동안구운동의 길이는 각각 32.65±2.65 deg와 32.48±2.93 deg, 폭은 3.24±1.02 deg와 3.19 deg±0.73, 길이와 폭의 곱은 106.69±38.21 deg²과 103.55±25.51 deg²으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1, paired t-test에서 각각 p=0.779, 0.756, 0.624). 안구운동 이상의 감별진단에서 총동안구운동의 유용성을 제기한 Termsarasab 등의 연구¹¹⁵⁾를 미루어볼 때 수평과 수직 총동안구운동의 크기 차이는 안구운동 이상의 진단의 한 요소가 될 수 있다. 이러한 측면에서 아이트래커에 의한 총동안구운동 평가의 적용 가능성을 살펴보았다. 수평과 수직 총동안구운동의 길이 차이는 -1.53 deg에서 2.35 deg로 다양한 분포를 확인할 수 있었다. 또한 그 차이의 평균 0.18±3.91 deg이었고, 38명 중 21명이 수평 방향이 수직 방향보다 길었으며, 이와 반대인 경우는 16명, 차이가 없는 경우가 1명이었다(Fig. 2). 따라서 위 결과와 같이 아이트래커에 의한 총동안구운동의 평가에서 각 안구운동 방향에 따른 눈의 움직임을 정량화하여 평가할 수 있었다.

Table 1. Mean and standard deviation (SD) of saccade size (deg)

| Saccade size | | Mean | SD | Minimum | Maximum |
|--------------|---------------------------|--------|-------|---------|---------|
| Horizontal | Length | 32.65 | 2.65 | 27.60 | 37.94 |
| | Width | 3.24 | 1.02 | 2.00 | 6.46 |
| | Length×width [†] | 106.69 | 38.21 | 55.12 | 227.65 |
| Vertical | Length | 32.48 | 2.93 | 25.25 | 39.00 |
| | Width | 3.19 | 0.73 | 2.11 | 4.93 |
| | Length×width [†] | 103.55 | 25.51 | 61.53 | 164.57 |

[†]Unit: deg²

한편, 두 눈이 보고자하는 타깃을 지나쳐 주시할 때를 overshoot, 보고자하는 타깃에 미치지 못하여 주시될 때를 undershoot라고 할 때,¹¹⁶⁾ 수평과 수직 방향의 총동안구운동에서 overshoot %는 (length-30)/30 식(여기서 30은 타깃 사이의 거리)에 의해 각각 12.25%와 10.71%로 수평 방향이 수직 방향보다 overshoot %가 많았다(Fig. 3). 수평이나 수직에서 overshoot %는 Bahill 등¹¹⁷⁾이 대상자 160명 중 예비검사를 통해 선정한 정상인 7명을 대상으로 적외선반사법(infrared reflection oculography)에 의한 수평 방향의 총동안구운동을 평가한 결과 2~3%로 보고한 것보다 높다. 이러한 차이는 본 연구에서 대상자를 제한하지 않고 무작위로 선택하였고 안경이나 콘택트렌즈 착용자 또는 미착용자 모두를 포함시켜 대상자의 폭이 넓은 것과 관련이 있을 것으로 판단하며, 본 연구와 같이 영상기반 방식(image based methods)의 안구운동 평가는 정확도와

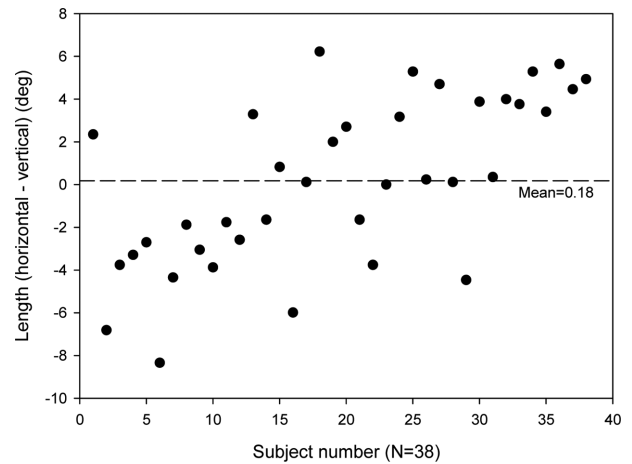


Fig. 2. Difference between horizontal and vertical saccade size. x-axis: subjects sorted in ascending order based on horizontal length.

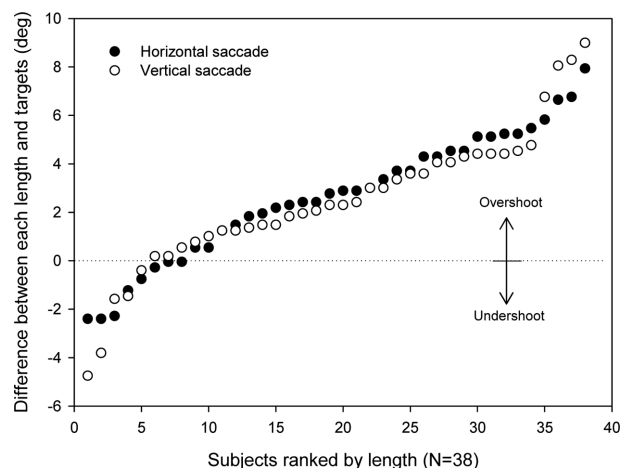


Fig. 3. Difference between shooting in horizontal and vertical saccade. x-axis: subjects sorted in ascending order each saccade.

신뢰도가 확보된 것으로^[18,19] 측정기기의 성능 차이는 크지 않은 것으로 본다. 측정기기 차이에 따른 유의성은 없는 것으로 보고한 것^[20]과 정상적인 충동안구운동에서 편차를 고려한다면 수평이나 수직에서 overshoot %는 좀 더 작아질 것으로 본다. 따라서 위 결과로부터 아이트래커에 의한 충동안구운동 평가는 안구운동의 크기 요소를 기준으로 대상자의 다양성을 검출할 수 있어 총체 안구충동운동검사^[4]에 적용할 수 있는 것으로 판단한다.

2. 충동안구운동의 속도

충동안구운동의 속도는 Table 2와 같다. 수평 충동안구운동의 평균속도는 292.12±62.52 deg/sec이며 오른쪽 방향과 왼쪽 방향의 주시속도는 각각 275.59±77.65 deg/sec와 308.65±74.53 deg/sec로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(paired t-test, p = 0.062). 수직 충동안구운동의 평균속도는 235.78±41.09 deg/sec이며, 하방과 상방의 주시속도는 각각 226.19±61.20 deg/sec와 245.37±52.82 deg/sec로 유의한 차이를 보이지 않았다(paired t-test, p = 0.146).

Chang^[21]의 연구에서 안전위도법(electrooculography, EOG)으로 측정한 수평 충동안구운동의 평균속도는 30 deg 시각에서 577 deg/sec이었으며, Choi 등^[22]의 적외선반사법으로 측정한 수직 충동안구운동의 평균속도는 20 deg 시각에서 440 deg/sec이었다. 또한, Boghen 등^[23]의 연구에서 30 deg 시각의 수평 충동안구운동의 최하속도는 227 deg/sec이었으며, Yee 등^[20]의 연구에서 30 deg 시각의 수직 최대속도 300 deg/sec이었다. 본 연구에서 얻은 충동안구운동의 속도는 선행 연구자들의 결과보다 낮은 편이다. 이는 정상인만을 대상으로 한 선행연구와 다르게 무작위로 대상자를 선택하여 생긴 차이 라고 본다.

한편, 수평과 수직 충동안구운동 속도 비교에서 수평 충동안구운동이 수직 충동안구운동보다 유의하게 빨랐다(paired t-test에서 p<0.0001). 이러한 결과는 수직보다 수평 충동안구운동의 속도가 빠르다는 Bonnet 등의 결과와 일치하였다.^[24,25] 충동운동 방향의 속도에서 Yoshida^[26]는 충동안구운동은 서로 다른 방향에서 유의한 차이가 있으며

상방향의 운동이 더 빠르다고 하였다. Oohria 등^[27]은 오른쪽 방향의 충동안구운동이 왼쪽보다 빠르며 상방의 충동안구운동이 하방보다 빠르다고 하였다. 본 연구에서는 38명 중 25명이 오른쪽 주시속도가 느렸으며 일부 대상자는 오른쪽 주시에서 머리가 돌아가는 징후를 보였다. 이러한 결과는 Baloh 등^[28]이 왼쪽 충동안구운동이 오른쪽보다 7% 더 빠르다는 것과 유사하였다.

일반적으로 충동안구운동 속도는 주시각이 클수록 빠르며^[29] 나이가 들수록 느린 경향이 있다.^[20,30] 또한 정상안 대상자일지라도 상하 방향의 충동안구운동 차이가 나타날 수 있으며 이는 대상자의 특이반응의 차이(idiosyncratic differences)^[20,31]라 하였다. 충동안구운동은 주시방향, 주시 시각, 개인의 특성에 따라 다양한 형태를 가짐으로 총체 충동안구운동검사와 달리 수평과 수직 방향으로 크기와 속도를 측정하여 눈의 기능을 평가할 수 있을 것이다. 충동안구운동에 관한 본 연구의 결과와 선행의 결과들에서 충동안구운동 속도는 측정방법과 대상에 따라 다양하였다. 따라서 아이트래커를 안구운동평가에 적용하기 위해서 표준화된 방법과 안구운동 이상 유무에 대한 판단 기준이 필요한 것으로 본다.

3. 안기능에 따른 충동안구운동 평가

아이트래커에 의한 충동안구운동 평가는 안구움직임의 크기, 폭 및 속도의 양적 평가로 가능하였다. 대상자의 다양성에 따른 충동안구운동의 특성을 알기 위해 상관관계 분석에서 수평 충동안구운동의 주시 길이는 근거리 사위도와 뚜렷한 상관관계를 보였다(Fig. 4, Pearson 상관계수 = -0.438, p = 0.006). 그리고 내사위가 클수록, 외사위가 작을수록 주시각이 작아지는 경향을 보였다. 수직 충동안구운동의 속도는 근거리 사위도와 약한 상관관계를 보였다(Fig. 5, Pearson 상관계수 = 0.322, p = 0.049). 그리고 충동안구운동 속도는 내사위가 클수록 빠르고, 외사위가 클수록 느린 경향을 보였다. 이와 같은 사위와 충동안구운동의 특성의 관계는 여러 연구^[32-34]에서도 보고되었다. 따라서 사위는 양안시가 가능하여 총체 충동안구운동에서 정

Table 2. Mean and standard deviation (SD) of saccade speed (deg/sec)

| Saccade speed | | Mean | SD | Minimum | Maximum |
|---------------|-----------------------|--------|-------|---------|---------|
| Horizontal | Rightward | 275.59 | 77.65 | 152.22 | 490.45 |
| | Leftward | 308.65 | 74.53 | 192.19 | 528.29 |
| | Average of both-wards | 292.12 | 62.52 | 175.90 | 432.01 |
| Vertical | Downward | 226.19 | 61.20 | 139.59 | 408.72 |
| | Upward | 245.37 | 52.82 | 150.59 | 399.59 |
| | Average of both-wards | 235.78 | 41.09 | 157.53 | 363.84 |

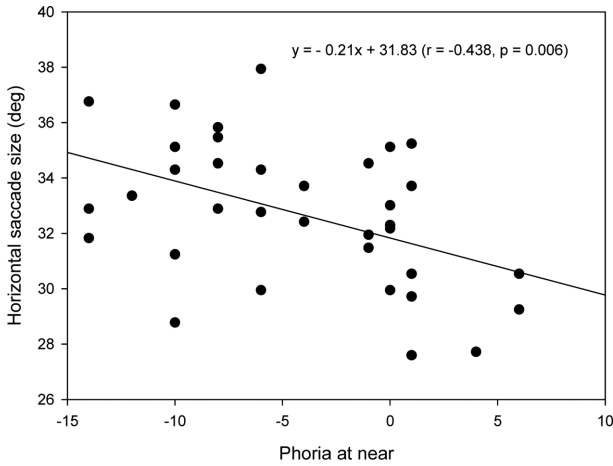


Fig. 4. Scatter plot of phoria at near and horizontal saccade size (length).

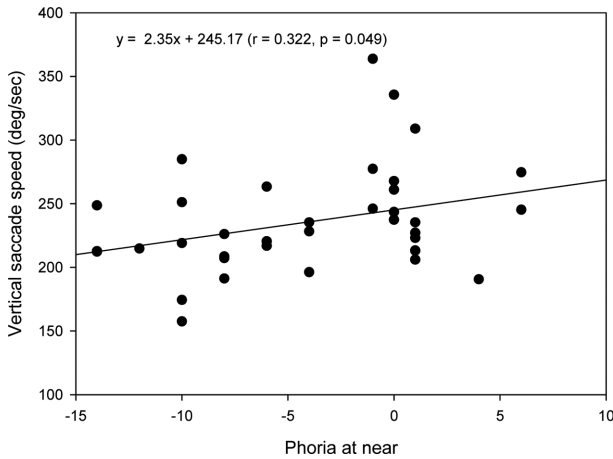


Fig. 5. Scatter plot of phoria at near and vertical saccade speed.

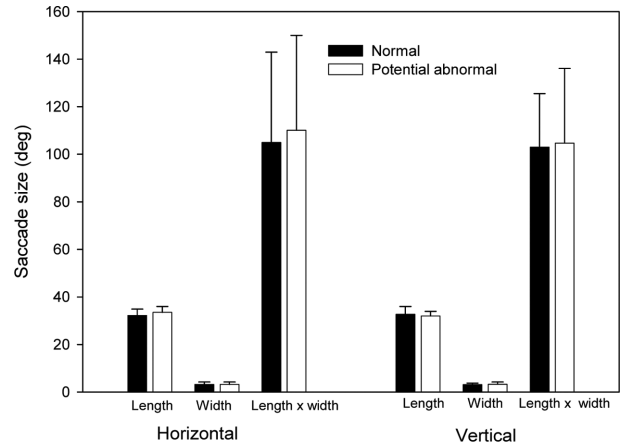


Fig. 6. Comparisons of saccade size of eye tracker for normal (N = 23) and potential abnormal (N = 13) group by gross saccade. Error bars represent 1 SD.

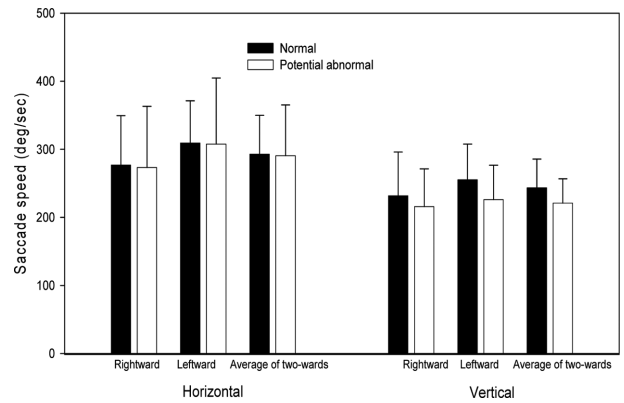


Fig. 7. Comparisons of saccade speed of eye tracker for normal (N = 23) and potential abnormal (N = 13) group by gross saccade. Error bars represent 1 SD.

상으로 평가되지만 아이트래커에 의한 평가에서는 충동안구운동에 영향을 줄 가능성이 있는 것으로 판단된다.

대상자 38명에 대해 직접 관찰에 의한 총체 충동안구운동검사⁴⁾에서는 모두 정상으로 확인할 수 있었다. 위와 같은 총체 충동안구운동검사와 다른 방법으로 아이트래커에 의해 충동안구운동 평가를 모든 대상자에게 실시하였다. 총체 충동안구운동 평가에서 판정 기준에 따라 판단하였을 때 모두 정상그룹으로 평가되지만 이 중에서 판정 기준에 나타나지 않는 머리 미동, 주시 시 주시방향으로의 머리 움직임을 보인 대상자를 잠재적 이상 그룹(N = 13)으로 나누고, 이 외의 부드럽고 정확한 주시가 가능한 정상 그룹(N = 25)으로 나누어 분석한 결과는 Fig. 6과 Fig. 7과 같다.

수평과 수직 충동안구운동의 비교에서 길이, 폭, 길이와 면적의 곱에서 두 그룹 간(normal vs potential abnormal)의 차이는 유의하지 않았다(수평 충동안구운동: independent samples t-test에서 각각 p = 0.148, 0.953, 0.698; 수직 충동

안구운동: independent samples t-test에서 각각 p = 0.461, 0.671, 0.852). 또한 주시속도를 기준으로 수평 충동안구운동의 비교에서 두 그룹 간의 주시속도는 유의한 차이를 보이지 않았고(independent samples t-test, p = 0.910), 우측 주시속도와 좌측 주시속도에서도 유의한 차이를 나타내지 않았다(각각 p = 0.897, 0.956). 수직 충동안구운동의 비교에서 두 그룹 간의 주시속도는 유의한 차이를 보이지 않았고(independent samples t-test, p = 0.109), 또한 하방 주시속도와 상방 주시속도에서도 유의한 차이를 나타내지 않았다(각각 p = 0.458, 0.106). 위와 같이 여러 항목의 비교에서 정상 그룹과 잠재적 이상 그룹 간의 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나 충동안구운동에서 정상 그룹이 잠재적 이상 그룹보다 시각(30 deg)에 근접한 주시를 보였고, 주시속도가 더 빠른 경향을 가진 것으로 판단된다. 본 연구의 한계점은 충동안구운동 평가에 대상자의 적합성과 다양성에 관한 것이다. 즉 평가 대상자에 대한

충동안구운동이 정상과 비정상을 뚜렷하게 구별할 만한 특성과 대상자의 다양성에서 한계점을 가지고 있다. 따라서 보다 확실한 충동안구운동 이상자를 포함시켜 대상자의 스펙트럼을 넓혀 평가할 필요가 있는 것으로 본다. 그럼에도 불구하고 총체 충동안구운동검사에서 정상에서 벗어나는 기준(잠재적 이상 그룹)으로 판단해 보면 징후(sign) 차이를 보이고 있어 아이트래커에 의한 충동안구운동 평가가 가능할 것으로 본다.

결 론

충동안구운동검사에서 직접 관찰에 의한 방법과 달리 아이트래커에 의한 평가는 충동안구운동의 크기와 속도로 가능하였다. 비록 안구운동 이상을 포함하는 다양한 대상자는 아니지만 근거리 사위도에 따른 수평 충동안구운동 크기와 수직 충동안구운동의 속도의 관련성을 확인하였다. 총체 충동안구운동에서 정상 그룹과 잠재적 비정상 그룹으로 구분한 평가와 아이트래커에 의한 평가의 비교에서 두 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 정상 그룹이 잠재적 이상 그룹보다 시각에 가까운 주시를 보였고, 주시속도가 더 빠른 경향을 보였다. 따라서 주시각의 방향과 범위에서 눈이 주시하는 크기와 속도는 아이트래커를 이용하여 객관적 평가가 가능하므로 충동안구운동검사에서 기존 방법과의 대체와 임상 적용 가능성이 있는 것으로 본다.

감사의 글

2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-620170140).

REFERENCES

- [1] Dodge R. Five types of eye movement in the horizontal meridian plane of the field of regard. *Am J Physiol.* 1903;8(4):307-329.
- [2] Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall W, Lamantia AS, Mcnamara JO et al. *Neuroscience*, 3rd Ed. Massachusetts: Sinauer associates, 2004;457-461.
- [3] Griffin JR, Grisham JD. *Binocular anomalies: diagnosis and vision therapy*, 4th Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2002;22-35.
- [4] Elliott DB. *Clinical procedures in primary eye care*, 3rd Ed. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2007;215-217.
- [5] Scheiman M, Wick B. *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*, 4th Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014;374-376.
- [6] Vogel GL. Saccadic eye movements: theory, testing and therapy. *J Behav Optom.* 1995;6(1):3-12.
- [7] Maples WC, Ficklin TW. Interrater and test-retest reliability of pursuits and saccades. *J Am Optom Assoc.* 1988; 59(7):549-552.
- [8] Romsdahl E. Does performance on the ReadAlyzer correlate with performance on "symbol check" activity for the Nintendo DS. *J Behav Optom.* 2011;22(6):155-157.
- [9] Ciuffreda MA, Ciuffreda KJ, Santos D. Visagraph baseline analysis and procedural guidelines. *J Behav Optom.* 2003;14(3):60-64.
- [10] Ooms K, Dupont L, Lapon L, Popelka S. Accuracy and precision of fixation locations recorded with the low-cost Eye Tribe tracker in different experimental set-ups. *J Eye Mov Res.* 2015;8(1):5,1-24.
- [11] Optician. Eye tracking and its clinical application, 2017. [https://www.opticianonline.net/cet-archive/4561\(22 April 2018\).](https://www.opticianonline.net/cet-archive/4561(22 April 2018).)
- [12] Koo BY, Oh SJ, Doo HY, Mah KC. Analysis of eye movement characteristics in the NYSOA K-D and the DEM test with eye tracking device. *Korean J Vis Sci.* 2014;16(4): 527-535.
- [13] Kim HR, Jeong JH. The study of visual fatigue by monitor letter contrast with an eye tracker. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(4):533-538.
- [14] Kim HR, Kim SH, Shin DM, Jeong HY, Kim YG, Kim TH et al. A study of legibility by monitor letter color with an eye tracker. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2): 279-284.
- [15] Termsarasab P, Thammongkolchai T, Rucker JC, Frucht SJ. The diagnostic value of saccades in movement disorder patients: a practical guide and review. *J Clin Mov Disord.* 2015;2:14.
- [16] Weber RB, Daroff RB. The metrics of horizontal saccadic eye movements in normal humans. *Vision Res.* 1971; 11(9):921-928.
- [17] Bahill AT, Clark MR, Stark L. Dynamic overshoot in saccadic eye movements is caused by neurological control signed reversals. *Exp Neurol.* 1975;48(1):107-122.
- [18] Gibaldi A, Vanegas M, Bex PJ, Maiello G. Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit for research. *Behav Res Methods.* 2017;49(3):923-946.
- [19] Bedell HE, Stevenson SB. Eye movement testing in clinical examination. *Vision Res.* 2013;90:32-37.
- [20] 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(7):938-944.
- [21] Chang BL. Saccadic velocity in normal eyes. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1988;29(3):369-372.
- [22] Choi O, Kim HB, Kwak YS, Nam MH. The studies of vertical eye movement disorders. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1979;20(2):145-152.

- [23] Boghen D, Troost BT, Daroff RB, Dell'Osso LF, Birkett JE. Velocity characteristics of normal human saccades. Invest Ophthalmol. 1974;13(8):619-623.
- [24] Bonnet C, Hanuška J, Ruzs J, Rivaud-Péchoux S, Sieger T, Majerová V et al. Horizontal and vertical eye movement metrics: what is important?. Clin Neurophysiol. 2013; 124(11):2216-2229.
- [25] Bahill AT, Stark L. Neurological control of horizontal and vertical components of oblique saccadic eye movements. Math Biosci. 1975;27(3-4):287-298.
- [26] Yoshida S. Quantitative analysis of horizontal, vertical, and oblique saccades using a search coil. Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho. 2002;105(6):741-750.

충동안구운동 평가를 위한 아이트래커의 적용

유동식*, 조현국, 김상엽, 문병연

강원대학교 안경광학과, 삼척 25949

투고일(2018년 4월 30일), 수정일(2018년 6월 1일), 게재확정일(2018년 6월 7일)

목적: 아이트래커가 임상 충동안구운동검사에 적용 가능한 도구인지를 알아보려고 하였다. **방법:** 38명의 대상자(평균 나이 20.61±1.00세)를 모집하였고, 모든 대상자는 문진, 교정 또는 미교정 시력, 총체 충동안구운동검사 및 프리즘 가림검사를 실시하였다. 수평과 수직 충동안구운동은 55 cm 거리에서 30 deg 시각에서 임상아이트래커로 측정하였다. 수평과 수직 충동안구운동의 정량화는 분석을 위해 충동안구운동의 크기(길이와 폭)와 속도 성분으로 분리하였다. **결과:** 수평과 수직 충동안구운동에서 성분별 유의한 차이는 보이지 않았다. 수평 충동안구운동의 주시 길이는 근거리에서 내사위가 클수록, 외사위가 작을수록 작아졌다($r = -0.438$, $p = 0.006$). 수직 충동안구운동의 속도는 내사위가 클수록 빠르고, 외사위가 클수록 느렸다($r = 0.322$, $p = 0.049$). 정상 그룹은 잠재적 비정상 그룹보다 충동안구운동의 크기에서 주시각에 더 가까웠고, 속도에서 더 빠른 경향이었다. **결론:** 주어진 주시각에서 충동안구운동의 크기와 속도는 아이트래커를 이용하여 객관적으로 평가할 수 있었다. 이 연구는 아이트래커는 임상 충동안구운동검사에 적용 가능한 대체 도구임을 보여준다.

주제어: 수평 충동안구운동, 수직 충동안구운동, 아이트래커, 안구운동