

Comparative Analysis of Fixation Stability before and after Blinking during Binocular Viewing

Sang-Yeob Kim^a, Byeong-Yeon Moon^b, Hyun Gug Cho^c, and Dong-Sik Yu^{d,*}

Dept. of Optometry, Kangwon National University, Professor, Samcheok 25949, Korea
(Received January 9, 2023; Revised January 17, 2023; Accepted January 17, 2023)

Purpose: This study aimed to analyze differences in the fixation stability and gaze positions before and after blinking during binocular viewing. **Methods:** Of the 40 subjects (21.53±2.06 years) without ocular disease and currently not taking any medications, 28 and 12 subjects were classified into abnormal and normal phoria groups, respectively. Data recorded for 10 s using an eye tracker during fixation were analyzed for fixation stability, gaze positions, and changes in gaze positions for the two groups. **Results:** In both the abnormal and normal phoria groups, the fixation stability was more stable before than after blinking, but there was no significant difference between the two groups. The gaze positions showed differences before and after blinking in the horizontal direction, but the horizontal gaze positions were more accurate than the vertical gaze positions. In addition, changes in gaze positions over a short time tended to increase slightly in the vertical gaze position after blinking in the normal phoria group. **Conclusions:** Fixation stability during binocular viewing was stable until blinking but became unstable immediately after blinking. It is, therefore, likely that fixation stability is unstable as a result of blinking, whereas the horizontal gaze positions may be stabilized by micro-movements until blinking occurs.

Key words: Fixation stability, Phoria, Blinking, Gaze position, Eye tracker

서 론

주시 안정성(fixation stability)은 눈의 안정적인 주시 상태를 말하며, 불안정한 주시는 안구운동과 관련된 양안시 이상을 의심할 수 있다.^[1-3] 주시 안정성 평가는 임상에서 안구운동과 관련된 양안시이상 평가의 주요 검사 항목으로^[1] 맨눈으로 평가하거나 NSUCO(Northeastern State University College of Optometry), SCCO(Southern California College of Optometry), 아이트래커(eye tracker) 등으로 수행할 수 있다.^[1,4,5]

주시 안정성 평가는 사시나 안구운동장애와 관련된 질환으로 대부분이 사시성 양안시이상에 제한되어 수행하였다.^[6-8] 우리는 이와는 달리 지난 연구에서 아이트래커를 이용하여 비사시성 양안시이상, 즉 정상과 비정상인 사위 그룹에 대해 주시 안정성을 평가할 수 있었고 임상 적용의 가능성을 제시하였다.^[9,10] 그러나 아이트래커에 의한 주시 안정성 평가에서 10초 이상 주시하는 동안 자발적인 눈깜박임(blinking)이 발생할 수 있다. 이러한 눈깜박임이 주시 안정성에 영향을 줄 수도 있을 것이다.

눈깜박임은 눈물막을 안구 표면에 고르게 퍼지게 한다.^[11]

눈깜박임은 자발적인 눈깜박임, 의식적인 눈깜박임, 반사적인 눈깜박임으로 구별할 수 있으며, 임상적으로 가장 많이 측정되는 것은 자발적 눈깜박임이다.^[12,13] 눈깜박임의 빈도는 눈의 자극, 눈물의 상태, 시각의 기능 및 주시 상태, 눈의 피로, 심리 상태 및 질환에 따라 다양하다.^[14-16] 정상적인 성인에서 자발적인 눈깜박임 횟수는 분당 10~20회로 3~6초에 한 번씩 눈깜박임이 나타난다.^[16,17-19] 따라서 눈깜박임이 이러한 빈도라면 주시 안정성 평가에서도 눈깜박임은 일어날 수 있고, 이로 인해 주시 안정성에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 한편, 선행 연구에서 눈깜박임은 주시의 불안정에 관여하며,^[20] 또한 원숭이를 이용한 연구에서 미세회복기운동으로 주시의 안정화에 관여하는 것으로 보고^[21]하였으나 눈깜박임 전후의 주시 안정성 평가는 이루어지지 않았다.

본 연구는 사위와 관련된 주시 안정성의 정량적 평가^[10]의 후속으로 아이트래커를 이용한 주시 안정성 평가를 비정상과 정상 사위 그룹으로 나누어 눈깜박임 전과 후의 주시 위치의 차이, 주시 위치의 상관성, 시간에 따른 주시 경향을 비교 분석하고자 하였다.

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

Authors ORCID:^ahttps://orcid.org/0000-0001-6806-3305, ^bhttps://orcid.org/0000-0003-0645-4938, ^chttps://orcid.org/0000-0002-8267-3801, ^dhttps://orcid.org/0000-0002-4387-4408

대상 및 방법

1. 대상

본 연구는 강원대학교 생명윤리위원회에서 승인을 받은 사위와 관련된 주시 안정성의 정량적 평가(승인번호: KWNUIRB-2018-10-002-002)^[10]의 후속 연구로 기존 원자료를 이용한 것이며, 이전의 연구에서 참여자로부터 연구의 목적과 취지에 서면 동의를 받아 진행하였다. 원자료는 시력의 불편함이나 시력 확인을 위해 시력 검사를 받고자 참여한 대학생 65명 중에서 주시 안정성 평가에 적합한 선택 기준에 따라 40명을 대상으로 하였다. 대상자는 비정상 사위 그룹 28명(남 17명, 여 11명, 평균 21.86±2.17세)과 정상 사위 그룹 12명(남 7명, 여 5명, 평균 20.75±1.06세)이었다. 대상자 선택 기준은 12초 주시하는 동안 시작과 끝의 1초를 제외한 10초간의 주시에서 눈깜박임 전과 후에서 각각 1초 이상 눈깜박임이 없이 주시가 가능한 대상자에 한정하였다. 이러한 선택 기준에 적합하지 않아 제외된 대상자 25명은 눈깜박임이 10회 이상으로 많아서 14명, 눈깜박임이 1회~8회로 적절하나 눈깜박임의 전후로 1초 이상의 주시 확보가 되지 않아서 7명, 눈깜박임이 없어서 4명이었다. 사위 그룹의 분류 기준은 원거리 사위가 정위에서 2 △ 외사위, 근거리 사위가 정위에서 6 △ 외사위를 정상 사위 그룹으로, 이 범위 밖을 비정상 사위 그룹으로 분류하였다.

2. 측정 방법

모든 대상자는 문진을 통해 눈과 관련된 질환이 없으며 최근에 어떠한 약물을 복용하지 않았다는 사실을 확인하였다. 대상자의 시력은 평상시의 시력 상태, 즉 안경 미착용 또는 안경이나 콘택트렌즈 착용 상태에서 0.7~1.2 시력이었다. 시력은 투영시력표(ACP-8, Topcon, Japan)를 이용하여 측정하였고, 교정굴절력은 렌즈미터(LM-15, Topcon, Japan)로 측정하였다.

사위는 프리즘 바(HB 16, Astron International, USA)를 이용하여 원거리(6 m)와 근거리(40 cm) 순으로 측정하였다. 측정된 프리즘량은 외사위는 음의 부호를, 내사위는 양의 부호를 표기하였다. 양안시 이상은 Scheiman과 Wick의 분류 기준에서 원거리와 근거리 사위만을 비교하여 분류하였다.^[22]

주시 안정성 평가는 70 Hz의 Tobii Eye Tracker(Tobii eyeX, Tobii Technology, Sweden)가 장착된 Clinical Eye Tracker(Version 18.04, Thomson Software Solutions, UK)^[9,11]를 이용하였다. 이 장비는 주시 상태를 시각적으로 보여주는 모니터와 주시 타겟을 보여주는 모니터로 구성되며, 특히 주시 모니터는 27인치 LCD(1920×1080 pixels, LG

Korea)로 눈과 모니터 사이의 거리를 550 mm로 하였다.

턱과 이마받이가 있는 고정장치를 이용하여 대상자의 시선이 모니터 중앙을 보도록 좌우 위치와 높이를 조절하였고, 아이트래커를 작동시킨 후 내장된 보정(calibrate)메뉴를 실행하여 대상자의 주시 상태를 점검하였다. 시표는 약 0.22 시력의 시표 크기에 해당하는 3.7 mm 직경의 적색 원형 타겟이 검은색 배경으로 모니터의 중앙에 나타나도록 하였다. 피검사자는 모니터 상의 타겟을 12초 이상 주시하도록 하였다. 이러한 과정을 피검사자에게 미리 설명하고 시뮬레이션한 후 기록(record)메뉴를 실행하였다. 주시 모니터에서의 주시점은 다른 모니터에 수평(x-축)과 수직(y-축)의 위치, 주시점에서 개산(외사위 방향, exo)과 폭주(내사위 방향, eso)의 정도 및 눈깜박임의 시점으로 기록되었다. 주시 안정성 평가에서는 주로 주시 위치와 관련된 수평과 수직축으로 평가하였다.

3. 주시 안정성 평가 방법

주시 안정성 평가는 기록된 데이터를 외부 엑셀 파일로 출력 저장하여 눈깜박임의 시점, 주시점의 위치를 추출하였다. 모니터의 중심을 영(0)으로 수평과 수직 방향의 4분면의 데이터를 얻었다. 이때 평가에 이용되는 눈깜박임 시점의 선택은 12초 유지한 시간을 기준으로 전과 후 각각 1초를 제외한 10초간의 자료에서 중심에 가까운 눈깜박임을 전후로 주시 안정성을 평가하였다.

주시 안정성 평가는 주시점들의 수평과 수직 위치로 구성되는 타원 면적인 BCEA(bivariate contour ellipse area)^[23]를 식(1)에 의해 산출하였다.

$$BCEA = 2k\pi\sigma_h\sigma_v(1 - \rho^2)^{1/2} \quad (1)$$

여기서 σ_h 와 σ_v 는 각각 수평과 수직 주시 위치에 대한 표준편차(SD, standard deviation), ρ 는 수평과 수직 주시 위치의 피어슨 곱적률 상관계수(Pearson product-moment correlation)이며, k 는 확률면적에 의해 결정되며 확률면적이 68.2%(±1SD)일 때 1.146, 95.4%(±2SD)일 때 3.079이다. BCEA는 pixel 면적(pixel²)으로 나타났고 면적이 작을수록 주시 안정성은 크다는 의미이다. 필요에 따라 pixel 단위를 degree(deg, °) 단위로 환산하기 위해 550 mm 기준으로 환산인자 0.032 deg/pixel^[10,24]을 사용하였다. 또한 BCEA 그래프는 RStudio 소프트웨어(Version 1.3.1093, RStudio, USA)를 사용하였다.

4. 데이터 분석

수집된 데이터는 MedCalc 소프트웨어(Version 12.7.7.0, MedCalc Software, Belgium)를 사용하여 통계 분석하였다.

표본의 수가 30 이상일 때 중심극한정리(central limit theorem)에 의해 정규분포로 가정^[25]하였으며, 정규성 30 미만일 때 D'Agostino-Pearson로 검정으로 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)를 참고하여 정규성을 검정하였다. 정규와 비정규 분포는 각각 모수적 방법과 비모수적 방법으로 통계 분석하였다. 분석에 이용한 방법은 모수와 비모수적 검정에서 각각 독립표본(independent samples)과 Mann-Whitney 검정, 대응표본(paired samples)과 Wilcoxon 검정, 일원분산분석(one-way ANOVA)과 Kruskal-Wallis 검정으로 하였으며, 또한 Pearson 상관분석과 단순회귀분석을 하였다. 통계 분석에서 유의확률(p)이 유의수준(α) 0.05 이하일 때 유의한 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

주시 안정성 평가에 참여한 40명(남 24명, 여 16명)의

Table 1. Characteristics of the subjects

Characteristics	Abnormal phoria (N=28)	Normal phoria (N=12)
Male/female (N)	17/11	7/5
Age (years)	21.8±2.17	20.75±1.06
Visual acuity with correction (decimal)	0.7 to 1.0	0.7 to 1.2
Spherical equivalent (D)	-3.59±2.65	-2.50±2.37
Phoria at distance (Δ) [†]	-4.0±5.9	-0.58±0.79
Phoria at near (Δ) [†]	-8.8±10.25	-3.00±2.4
Binocular vision [‡]		12
Normality		12
Convergence insufficiency	14	
Convergence excess	5	
Basic exophoria	5	
Basic esophoria	4	

Data presented as mean±standard deviation (SD).

[†]Plus and minus sign in phoria indicate esophoria and exophoria, respectively.

[‡]Classification based on distance and near phoria.^[22]

Table 3. Fixation stability before and after blinking

Group	N	BCEA±1SD		p -value [†]
		Before (pixel ²)	After (pixel ²)	
Abnormal phoria	28	235.17±301.09 (153.30)	479.55±455.10 (336.99)	$p<0.001^*$
Normal phoria	12	241.55±163.33 (206.86)	512.15±347.32 (459.06)	$p=0.005^*$
All	40	237.08±265.13 (166.36)	489.33±421.48 (379.21)	$p<0.001^*$
Between groups [‡]		$p=0.600$	$p=0.619$	

Data presented as mean±standard deviation (SD) and median in parentheses.

BCEA: bivariate contour ellipse area.

[†]Wilcoxon test.

[‡]Kruskal-Wallis test.

* $p<0.05$ indicates significant difference.

Table 2. The number of blinks and time of the selected blink during fixation

	Abnormal phoria (N=28)	Normal phoria (N=12)	p -value [†]
Blinks	4.00±2.89 (3.00)	2.92±2.57 (2.00)	$p=0.148$
Time (sec)	6.03±1.57 (5.78)	6.18±1.84 (6.34)	$p=0.768$

Data presented as mean±standard deviation (SD) and median in parentheses.

[†]Mann-Whitney test.

평균 연령은 21.53±2.06세(19~26세)였으며, 비정상과 정상 사위 그룹 간의 특성은 Table 1과 같다. 두 그룹 간의 연령, 시력과 등가구면굴절력은 독립표본 검정에서 유의한 차이를 보이지 않았으나(각각 $p=0.836$, 0.184 , 0.075), 원거리와 근거리 사위는 각각 $p=0.008$ 과 $p=0.014$ 로 유의한 차이를 보였다.

눈깜박임 전과 후의 주시 안정성 평가에서 10초 동안의 평균 눈깜박임 횟수와 선택된 눈깜박임 시점은 Table 2과 같이 Mann-Whitney 검정에서 각각 $p=0.148$ 과 $p=0.768$ 로 비정상과 정상 사위 그룹 간의 유의한 차이를 보이지 않았다.

각 표본 수에 따라 BCEA를 각각 결정하고 이들을 평균하여 눈깜박임 전과 후의 주시 안정성 평가 결과는 Table 3과 같다. BCEA±1SD에 의한 평가에서 비정상과 정상 사위 그룹 모두 눈깜박임 후의 주시 안정성이 각각 479.55 pixel²(0.49 deg²)과 512.15 pixel²(0.52 deg²)로 눈깜박임 전의 각각 주시 안정성 235.17 pixel²(0.24 deg²)과 241.55 pixel²(0.25 deg²)보다 낮았다(Wilcoxon 검정, 각각 $p<0.001$ 과 $p=0.005$). 그러나 눈깜박임 전이나 후에서 비정상 사위, 정상 사위, 두 그룹 모두를 포함한 그룹 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다(Kruskal-Wallis 검정, 각각 $p=0.600$ 과 0.619). 비정상과 정상 사위 그룹을 각각 하나의 집단으로 보고 BCEA를 결정한 결과는 Fig. 1과 Fig. 2와 같으며, 여기서는 두 그룹 간에 차이를 확인할 수 있으며, 또한 눈깜박임 전과 후의 주시 안정성 차이도 확인할 수 있었다.

주시 위치는 주시 타겟에 얼마나 정확하게 주시하는가

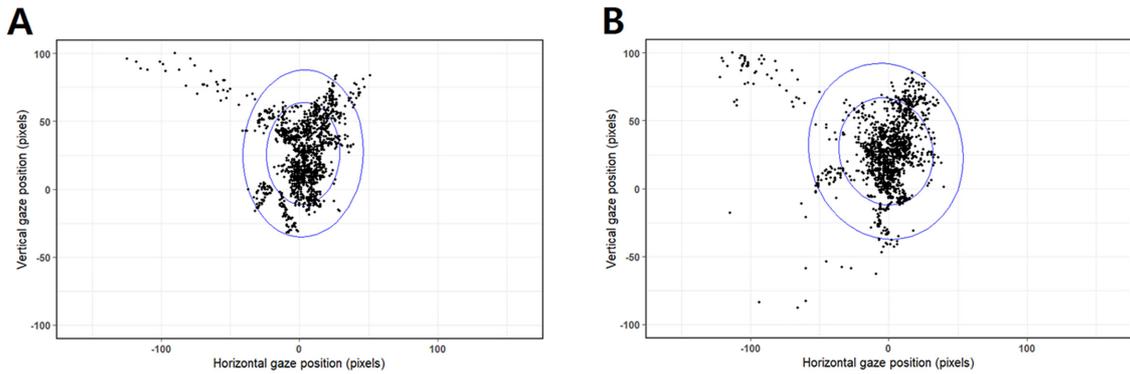


Fig. 1. BCEA for all abnormal phorias (N=28). 3177.78 pixel² before blinking (A), 4451.76 pixel² after blinking (B) 9784.37 pixel² before blinking for BCEA±1SD (inner ellipse area; 13706.95 pixel² after blinking for BCEA±2SD (outer ellipse area).

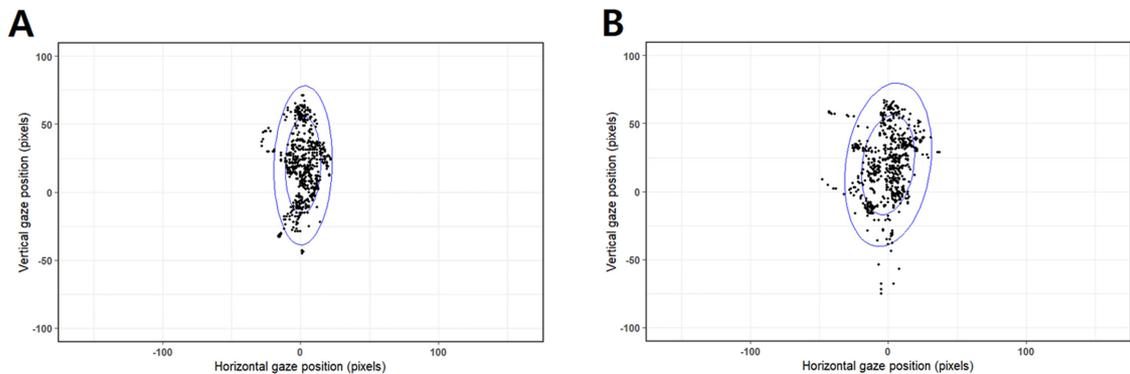


Fig. 2. BCEA for all normal phorias (N=12). 1,437.62 pixel² before blinking (A), 2,175.39 pixel² after blinking (B) For BCEA ±1SD (inner ellipse area), 4,426.43 pixel² before blinking (A); 6,698.03 pixel² after blinking (B) for BCEA±2SD (outer ellipse area).

를 나타낸 것으로 눈깜박임 전과 후의 주시 위치는 Table 4와 같다. 비정상과 정상 사위 그룹 모두 눈깜박임 전과 후의 독립표본 검정에서 수평 주시 위치가 비정상 그룹에서 각각 2.49 pixels과 -2.71 pixels, 정상 그룹에서 각각 1.69 pixels와 -0.31 pixels로 유의한 차이를 보였으나(각각 $p<0.001$, $p=0.001$), 수직 주시 위치는 비정상과 정상 그룹에서 유의하지 않았다(각각 $p=0.121$, 0.963). 비정상과 정

상 사위 그룹 모두 대응표본 검정에서 눈깜박임 전과 후의 수평과 수직 주시 위치 간에 유의한 차이를 보였다(모두 $p<0.001$).

눈깜박임 전과 후의 주시 위치의 Pearson 상관성은 Table 5와 같다. 비정상과 정상 사위 그룹 모두 수평이나 수직 방향의 주시 위치에서 눈깜박임 전과 후의 상관성은 0.522~0.698로 유의하였으며(모두 $p<0.001$), 이들의 상관

Table 4. Gaze position before and after blinking

Group	Gaze	Before (pixels)	After (pixels)	p-value [‡]
Abnormal phoria	H	2.49±17.73 (1620)	-2.71±23.47 (1609)	$p<0.001^*$
	V	26.41±24.90 (1620)	27.81±26.54 (1609)	0.121
	H vs. V [‡]	$p<0.001^*$	$p<0.001^*$	
Normal phoria	H	1.69±8.50 (685)	-0.31±12.74 (697)	0.001 [*]
	V	19.77±23.53 (685)	19.71±24.21 (697)	0.963
	H vs. V [‡]	$p<0.001^*$	$p<0.001^*$	

Data presented as mean±standard deviation (SD) and total number of gaze points in parentheses.

H = horizontal gaze position, V = vertical gaze position.

[‡]Independent samples t-test.

^{*}Paired samples t-test.

^{*} $p<0.05$ indicates significant difference.

Table 5. Pearson correlation before and after blinking

Group	Gaze	Before vs. After (N)	<i>p</i> -value [†]
Abnormal phoria	H	0.683 (1609)	<i>p</i> <0.001*
	V	0.698 (1609)	<i>p</i> <0.001*
Normal phoria	H	0.543 (685)	<i>p</i> <0.001*
	V	0.522 (685)	<i>p</i> <0.001*

H=horizontal gaze position, V=vertical gaze position.

[†]Paired samples t-test.

**p*<0.05 indicates significant difference.

성은 비정상 사위 그룹이 정상 그룹보다 더욱 높았다.

눈깜박임 전후의 시간에 따른 주시점들의 주시 경향을 단순회귀분석한 결과는 Fig. 3과 Fig. 4와 같다. 음과 양의 부호는 각각 눈깜박임 시점 전과 후의 시간을 나타낸다. Fig. 4D와 같이 정상 사위 그룹에서 눈깜박임 후의 수직 방향의 단순회귀식에서 $y=11.651+15.961x$ ($r=0.118$, $p<0.001$, $N=697$)로 유의미한 경향을 보였으나 대부분이 특정한 경향을 보이지 않았다. 이들을 살펴보면 눈깜박임 전의 수평과 수직 방향의 단순회귀식은 비정상 사위 그룹에서 각각 $y=1.097-2.781x$ ($r=-0.045$, $p=0.070$, $N=1620$), $y=26.893+0.973x$ ($r=0.011$, $p=0.652$, $N=1620$)로 유의한 경향을 보이지 않았다(각각 Fig. 3A와 3B). 또한 정상 사위 그룹에서

눈깜박임 전의 수평과 수직 방향의 회귀식은 각각 $y=1.993+0.589x$ ($r=0.020$, $p=0.608$, $N=685$), $y=20.071+0.592x$ ($r=0.007$, $p=0.852$, $N=685$)로 유의한 경향을 보이지 않았다(각각 Fig. 3C와 3D). 비정상 사위 그룹에서 눈깜박임 후의 수평과 수직 방향의 단순회귀식은 각각 $y=-3.137+0.861x$ ($r=0.011$, $p=0.673$, $N=1609$), $y=24.974+5.659x$ ($r=0.061$, $p=0.014$, $N=1609$)로 유의한 경향을 보이지 않았다(각각 Fig. 4A와 4B). 게다가 정상 사위 그룹에서 눈깜박임 후의 수평 방향의 회귀식은 각각 $y=-0.786+0.948x$ ($r=0.021$, $p=0.576$, $N=697$)로 유의한 경향을 보이지 않았다(Fig. 4C).

본 연구의 한계점은 아이트래커의 제한된 성능으로 양안주시 상태에서 안구의 미세움직임에 대한 평가 없이 주시 안정성과 주시 위치를 평가한 점과 양안주시가 어렵거나 불안정한 사시나 안구운동 장애가 있는 다양한 양안시 이상에 대해 평가하지 않은 점이다. 그러나 우리의 연구 결과와 선행연구를 비교하여 사위에 따른 눈깜박임 전후의 주시 상태를 평가할 수 있었다. 비정상과 정상 사위 그룹 간의 시력, 연령, 등가구면굴절력, 눈깜박임의 횟수나 선택된 눈깜박임의 시점에서 유의한 차이를 갖지 않았으며, 단지 사위도 차이의 특성을 보였다. 두 그룹의 눈깜박임 전과 후의 주시 안정성 차이, 수평과 수직에서 주시 위

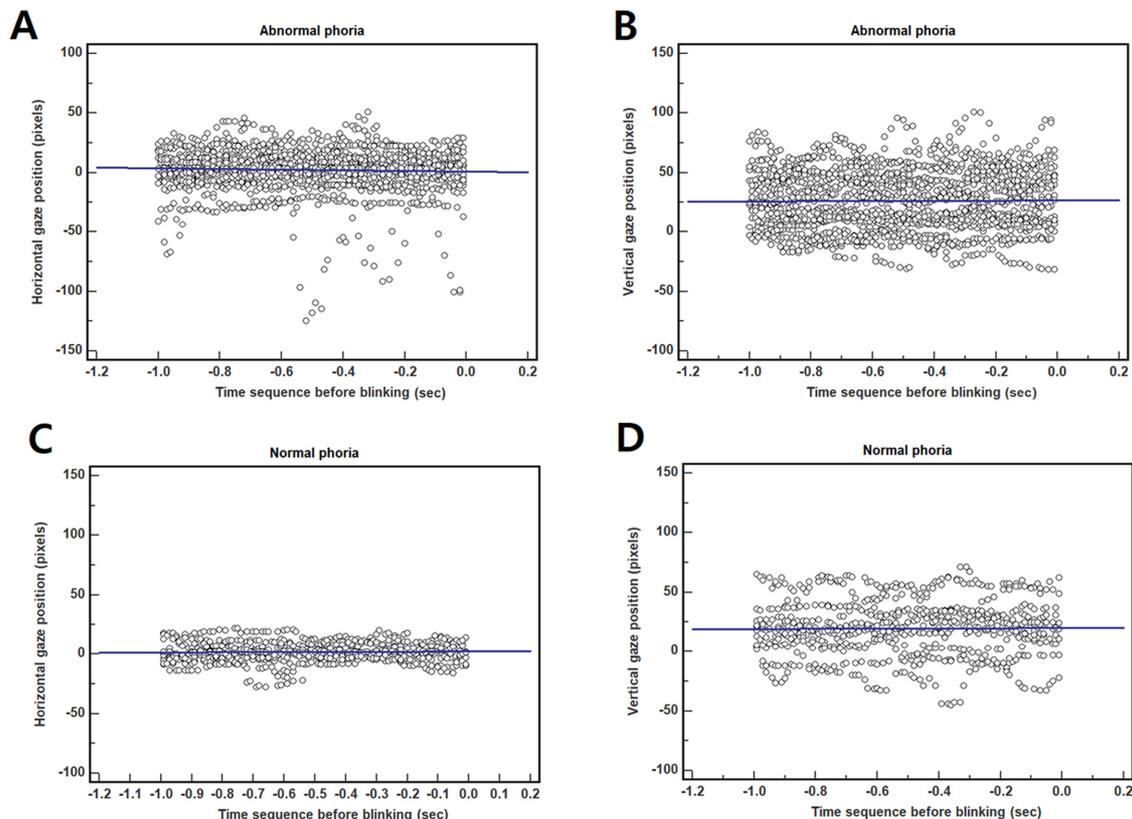


Fig. 3. Changes in gaze position with time sequence before blinking. Minus signs of time sequence indicate before blinking.

A. Horizontal gaze position in abnormal phoria, B. Vertical gaze position in abnormal phoria, C. Horizontal gaze position in normal phoria, D. Vertical gaze position in normal phoria.

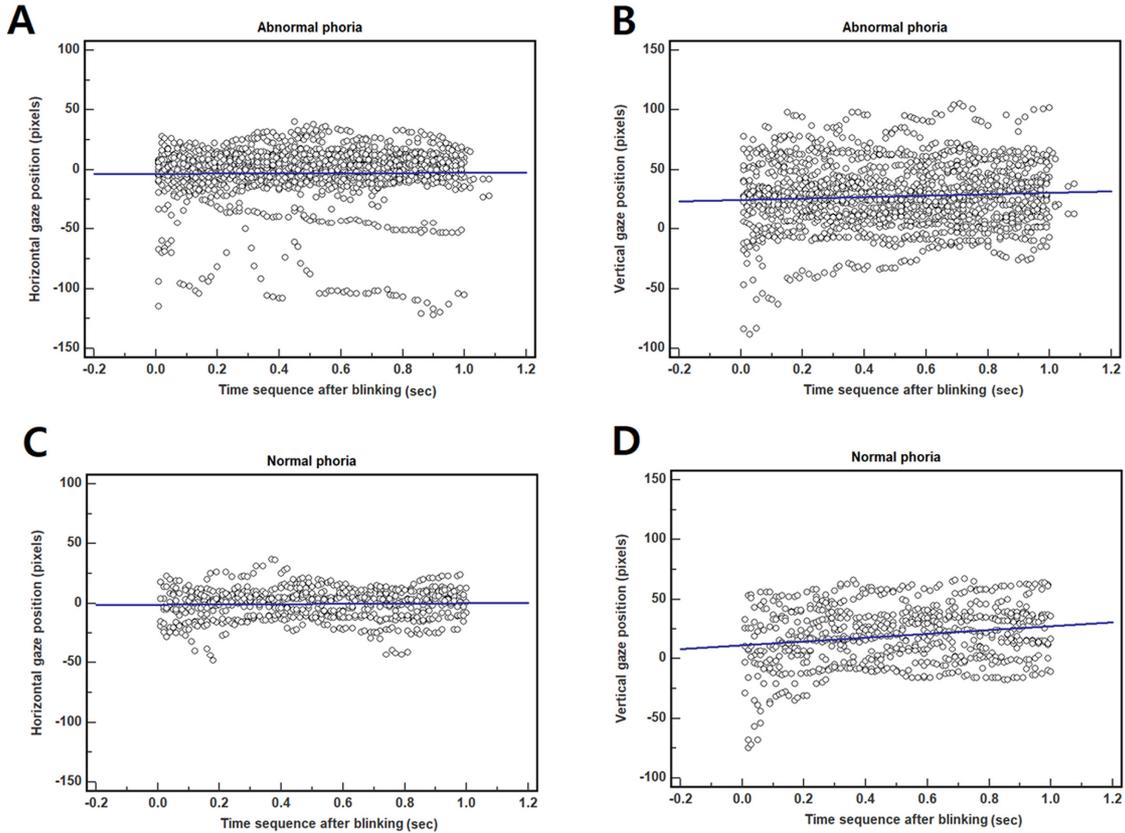


Fig. 4. Changes in gaze position with time sequence after blinking. Plus signs of time sequence indicate after blinking. A. Horizontal gaze position in abnormal phoria, B. Vertical gaze position in abnormal phoria, C. Horizontal gaze position in normal phoria, D. Vertical gaze position in normal phoria.

치의 차이, 상관성은 유의하였다. 또한 눈깜박임 전후 시간에 따른 주시 경향은 정상 사위 그룹에서 눈깜박임 후의 수직 방향에서 미미한 변화를 보였다.

이러한 결과를 살펴보면, BCEA를 근거한 주시 안정성 평가에서 비정상과 정상 사위 그룹 모두 눈깜박임 전이 후보다 안정하였다. 자발적인 눈깜박임은 깜박임의 순간이나 전과 후에서 망막에 가해지는 자극이 같으며 이러한 자극들의 민감도는 줄어드는 감각상실, 즉 눈깜박임 억제 (blink suppression)^[26,27] 때문에 의식하지 못한다. 이러한 이유에서 눈깜박임 전과 후의 주시 안정성은 큰 차이가 없을 것으로 생각할 수 있다. 하지만 눈깜박임 후의 주시 안정성은 상대적으로 낮았다. 이러한 눈깜박임에 따른 주시 안정성의 차이는 눈깜박임이 주시 불안정에 미치는 요인^[20]으로 눈깜박임 후의 주시 안정성을 낮게 하거나 미세 핵보기가 주시 안정에 미치는 요인^[21]으로 눈깜박임 전후의 주시 안정성을 높게 하는 것들의 균형 차이에서 비롯된 것으로 본다. 비정상과 정상 사위라도 양안 주시가 되면 떨림(tremor), 미세핵보기, 표류운동(drift)과 같은 3가지의 미세움직임(micro-movements)^[28,29]이 일어난다. 이러한 미세움직임은 눈깜박임 직후에 주시 불안정으로 나타나고, 이러한 주시 불안정은 다음 눈깜박임 직전까지 매우 짧은

시간에 눈의 떨림이나 표류운동에 의한 것이 아닌 미세핵 보기에 의한 재주시로 안정화하는 것으로 본다. 눈깜박임 전과 후에서 비정상과 정상 사위 그룹 간의 주시 안정성의 차이는 보이지 않았다. 이러한 현상은 우리의 이전 연구^[9]와 같이 두 그룹 간의 사위에서 차이가 존재하더라도 양안주시가 가능한 상태라면 융합여력의 크기가 충족이나 부족에 상관없이 주시 안정성에는 유의한 차이가 없다는 것과 일치한다.

눈깜박임 전이나 후에서 주시 타깃과 주시 위치의 차이, 즉 정확성은 비정상과 정상 사위 그룹 모두에서 수평 방향보다 수직 방향에서 그 차이가 크므로 정확성이 낮다. 두 그룹에서 눈깜박임 전과 후의 주시 위치의 차이는 수평에서 통계적으로 유의한 차이를 보였으나 수직에서는 유의하지 않았다. 이와 같은 결과는 Liang 등^[30]과 Schiborr 등^[31]이 보고한 바와 같이 주시에서도 지속적인 미세움직임에 의해 주시 위치가 변할 수 있으며, 이러한 변화 때문에 수직 방향보다 수평 방향에서의 주시 정확성이 증가하는 의미로 해석된다. 게다가 미세핵보기는 주로 수평 방향에서 매우 짧은 시간에 주시의 지속성을 높이는 것과는 달리 수직 방향에서 이러한 지속성이 낮음을 시사한다. 또한 미세핵보기는 서로 다른 주시거리에서도 입체감이 유

지되도록 수평면에서 눈을 끊임없이 움직여야 하므로 눈 깜박임이 일어난다면 수평 방향이 수직 방향보다 변동성이 더 크다고 볼 수 있다. 이러한 변동성은 주시 동안의 눈깜박임은 수평 진폭이 수직 진폭보다 크다는 Rottach 등^[32]의 설명과 일치한다.

눈깜박임 전과 후에서 주시 위치의 상관성은 수평 위치나 수직 위치에서 뚜렷한 양적 선형관계였다. 이러한 상관성은 비록 눈깜박임 전과 후에서 안정성의 차이가 있더라도 수평이나 수직 방향의 주시 위치가 유사한 양상을 가진다는 의미이다. 한편, 이러한 결과는 눈깜박임이 일어나더라도 눈깜박임과 확보기에 관련된 감각적 시각 억제^[27]로 인해 각각의 수평과 수직 방향에서 자발적으로 주시의 지속성이 유지된다는 의미로 해석된다. 또한 이러한 상관성은 비정상 사위 그룹이 정상 사위 그룹보다 크게 나타났으며, 이것은 눈깜박임 전후 시간에 따른 주시 경향의 변화는 정상 사위 그룹에서 눈깜박임 후의 수직 방향에서 미미한 변화와 관련이 있을 것으로 본다.

결 론

눈깜박임에 따른 BCEA에 의한 주시 안정성 평가에서 비정상과 정상 사위 그룹 모두 눈깜박임 전이 후보다 안정하였으나 두 그룹 간에 유의한 차이는 없었다. 비정상과 정상 사위 그룹은 모두 수평 주시 방향에서 눈깜박임 전과 후의 차이를 보였고, 수직 방향보다 더 정확하게 주시하였다. 또한 주시 양상은 수평 및 수직 방향에서 눈깜박임 전과 후의 뚜렷한 상관성을 보였다. 시간에 따른 주시의 변화는 정상 그룹에서 눈깜박임 후 수직 방향에서 미미하게 증가하는 경향을 보였다. 따라서 양안주시가 가능한 상태의 주시 안정성은 눈깜박임 직후 낮아지나 다음 눈깜박임 직전까지 미세운동에 의한 수평 주시 안정화가 일어나는 것으로 본다.

REFERENCES

- [1] Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, 4th Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014;25-30.
- [2] Kelly KR, Cheng-Patel CS, Jost RM, et al. Fixation instability during binocular viewing in anisometropic and strabismic children. *Exp Eye Res.* 2019;183:29-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.07.013>
- [3] Ghasia FF, Otero-Millan J, Shaikh AG. Abnormal fixational eye movements in strabismus. *Br J Ophthalmol.* 2018;102(2):253-259. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2017-310346>
- [4] Metsing IT, Ferreira JT. The prevalence of poor ocular motilities in a mainstream school compared to two learning-disabled schools in Johannesburg. *Afr Vision Eye Health.* 2016;75(1):a328. DOI: <https://doi.org/10.4102/aveh.v75i1.328>
- [5] Mihara M, Hayashi A, Fujita K, et al. Fixation stability of the upward gaze in patients with myasthenia gravis: an eye-tracker study. *BMJ Open Ophthalmol.* 2017;2(1):e000072. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjophth-2017-000072>
- [6] Martin TL, Murray J, Garg K, et al. Fixation eye movement abnormalities and stereopsis recovery following strabismus repair. *Sci Rep.* 2021;11(1):14417. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93919-w>
- [7] Lal V, Truong D. Eye movement abnormalities in movement disorders. *Clin Park Relat Disord.* 2019;1:54-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prdoa.2019.08.004>
- [8] Samet S, González EG, Mandelcorn MS, et al. Changes in fixation stability with time during binocular and monocular viewing in maculopathy. *Vision.* 2018;2(4):40. DOI: <https://doi.org/10.3390/vision2040040>
- [9] Kim SY, Moon BY, Cho HG, et al. Quantitative evaluation of the association between fixation stability and phoria during short-term binocular viewing. *Front Neurosci.* 2022;16:721665. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.721665>
- [10] Kim SY, Moon BY, Cho HG, et al. Comparison of image-based quantification methods in evaluating fixation stability using a remote eye tracker in abnormal phoria. *J Int Med Res.* 2022;50(5):3000605221098183. DOI: <https://doi.org/10.1177/03000605221098183>
- [11] Portello JK, Rosenfield M, Chu CA. Blink rate, incomplete blinks and computer vision syndrome. *Optom Vis Sci.* 2013;90(5):482-487. DOI: <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31828f09a7>
- [12] Espinosa J, Pérez J, Mas D. Comparative analysis of spontaneous blinking and the corneal reflex. *R Soc Open Sci.* 2020;7(12):201016. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.201016>
- [13] Oh J, Jeong J. Potential significance of eyeblinks as a behavior marker of neuropsychiatric disorders. *Korean J Biol Psychiatry.* 2012;19(1):9-20.
- [14] Abusharha AA. Changes in blink rate and ocular symptoms during different reading tasks. *Clin Optom (Auckl).* 2017;9:133-138. DOI: <https://doi.org/10.2147/OPTO.S142718>
- [15] Stern JA, Boyer D, Schroeder D. Blink rate: a possible measure of fatigue. *Hum Factors.* 1994;36(2):285-297. DOI: <https://doi.org/10.1177/001872089403600209>
- [16] McMonnies CW. The clinical and experimental significance of blinking behavior. *J Optom.* 2020;13(2):74-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joptom.2019.09.002>
- [17] Zametkin AJ, Stevens JR, Pittman R. Ontogeny of spontaneous blinking and of habituation of the blink reflex. *Ann Neurol.* 1979;5(5):453-457. DOI: <https://doi.org/10.1002/ana.410050509>
- [18] Salman MS, Liu L. Spontaneous blink rates in children

- during different types of eye movements. *Can J Neurol Sci.* 2013;40(5):717-721. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0317167100014979>
- [19] Tsubota K, Hata S, Okusawa Y, et al. Quantitative video-graphic analysis of blinking in normal subjects and patients with dry eye. *Arch Ophthalmol.* 1996;114(6):715-720. DOI: <https://doi.org/10.1001/archophth.1996.01100130707012>
- [20] Costela FM, Otero-Millan J, McCamy MB, et al. Fixational eye movement correction of blink-induced gaze position errors. *PLoS One.* 2014;9(10):e110889. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110889>
- [21] Khazali MF, Pomper JK, Thier P. Blink associated resetting eye movements (BARMs) are functionally complementary to microsaccades in correcting for fixation errors. *Sci Rep.* 2017;7(1):16823. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17229-w>
- [22] Tan QQ, Lewis JS, Lan CJ, et al. Preoperative binocular vision characteristics in the age-related cataract population. *BMC Ophthalmol.* 2022;22(1):196. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02418-7>
- [23] Steinman RM. Effect of target size, luminance, and color on monocular fixation. *J Opt Soc Am.* 1965;55(9):1158-1164. <https://doi.org/10.1364/JOSA.55.001158>
- [24] Kar A, Corcoran P. Performance evaluation strategies for eye gaze estimation systems with quantitative metrics and visualizations. *Sensors.* 2018;18(9):3151. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18093151>
- [25] Kwak SG, Park SH. Normality test in clinical research. *J Rheum Dis.* 2019;26(1):5-11. DOI: <https://doi.org/10.4078/jrd.2019.26.1.5>
- [26] Volkman FC, Riggs LA, Moore RK. Eyeblinks and visual suppression. *Science.* 1980;207(4433):900-902. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.7355270>
- [27] Kern M, Schulze-Bonhage A, Ball T. Blink- and saccade-related suppression effects in early visual areas of the human brain: Intracranial EEG investigations during natural viewing conditions. *NeuroImage.* 2021;230:117788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117788>
- [28] Mori A, Oguchi Y, Okusawa Y, et al. Use of high-speed, high-resolution thermography to evaluate the tear film layer. *Am J Ophthalmol.* 1997;124(6):729-735. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)71689-7](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)71689-7)
- [29] Stern JA, Walrath LC, Goldstein R. The endogenous eye-blink. *Psychophysiology.* 1984;21(1):22-33. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1984.tb02312.x>
- [30] Liang JR, Moshel S, Zivotofsky AZ, et al. Scaling of horizontal and vertical fixational eye movements. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys.* 2005;71(3):031909. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.71.031909>
- [31] Schiborr K, Laukkanen H, Hayes J. Introduction of a new test for standardizing and quantifying monocular fixation: the Aalen-Pacific Fixation Accuracy and Stability Test (AP-FAST). *Vis Dev Rehabil.* 2021;7(1):17-34. DOI: <https://doi.org/10.31707/VDR2021.7.1.p17>
- [32] Rottach KG, Das VE, Wohlgenuth W, et al. Properties of horizontal saccades accompanied by blinks. *J Neurophysiol.* 1998;79(6):2895-2902. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.1998.79.6.2895>

양안주시에서 눈깜박임 전후의 주시 안정성 비교 분석

김상엽, 문병연, 조현국, 유동식*

강원대학교 안경광학과, 교수, 삼척 25949

투고일(2023년 1월 9일), 수정일(2023년 1월 17일), 게재확정일(2023년 1월 17일)

목적: 양안주시에서 눈깜박임 전과 후의 주시 안정성과 주시 위치의 차이를 분석하고자 하였다. **방법:** 안질환이 없으며 최근 약 미복용자 40명(평균 21.53±2.06세)을 대상으로 하였으며 비정상과 정상 사위 그룹으로 각각 28명과 12명으로 나누었다. 두 그룹을 대상으로 주시하는 동안 아이트래커를 이용하여 10초 동안 기록된 데이터를 바탕으로 주시 안정성, 주시 위치 및 주시 위치의 변화를 분석하였다. **결과:** 비정상과 정상 사위 그룹 모두에서 주시 안정성은 눈깜박임 후보다 전이 더 안정하였으나 두 그룹 간에 유의한 차이는 없었다. 주시 위치는 수평 방향에서 눈깜박임 전과 후의 차이를 보였으나 주시 위치가 수평 방향이 수직 방향보다 더 정확하였다. 또한 짧은 시간에 따른 주시 위치의 변화는 정상 사위 그룹에서 눈깜박임 후 수직 주시 위치에서 미미하게 증가하는 경향을 보였다. **결론:** 양안주시에서 주시 안정성은 눈깜박임 직후 불안정하였고 눈깜박임 직전까지 안정하였다. 따라서 주시 안정성은 눈깜박임으로 인해 불안정하나 미세움직임에 의해 눈깜박임 직전까지 수평 주시 안정화가 일어나는 것으로 본다.

주제어: 주시 안정성, 사위, 눈깜박임, 주시 위치, 아이트래커