

융합대비에 따른 주시시차와 조절의 변화

서재명

광주보건대학 안경광학과

투고일(2009년 10월 31일), 수정일(2009년 11월 23일), 게재확정일(2009년 12월 8일)

목적: 융합대비의 변화에 따른 주시시차를 추적하며 동시에 버전스 체계와 밀접한 조절의 관계를 확인해 보고자 한다. **방법:** 양안 교정시력이 1.0이상이며 입체시 지각이 확인된 16명을 대상으로 하였다. 굴절 및 양안시 검사는 Zeiss Polatest Classic을 사용하였으며 입체시차는 TNO를 사용하여 측정하였다. 난점 입체시표와 배열시표는 프로그램화 된 컴퓨터를 사용하여 대비의 변화와 시간을 정확히 제어하였다. **결과:** 주시시차는 융합대비의 감소에 따라 안구는 외전성 경향을 보였다($p=0.0004$). 의사위안에서 비교차성 비대응 결상시 융합대비가 감소할수록 외전현상이 더욱 두드러졌다. 융합대비의 변화는 조절에 영향을 주지 않았지만($p=0.803$) 배열시표에는 영향을 주는 것으로 밝혀졌다($p=0.0000$). **결론:** 융합대비가 저하될수록 안구는 외전성 경향을 보이거나 조절의 변화는 없다.

주제어: 주시시차, 융합대비, 조절, 배열시력

서 론

학령기의 시력과 학업 성취도간의 상관관계가 없다고 한 연구가 소수^[1]이었으나 독서력은 시각조건 예컨대, 부등시나 원시 혹은 주시시차 등에 따라 영향을 받는다고 한 연구가 다수를 차지한다^[2,3,4]. 또한 사위와 입체시 간의 연구도 활발히 진행되고 있으며 상호 관련이 있다고 발표한 연구가 소수^[5,6] 있으나 상호 무관하다고 발표한 연구가 다수^[7-9]를 이룬다.

Haase^[10]는 6세까지의 유아는 무의식적 교육을 통해 공간지각을 습득하게 되며 파눈 영역이 좁은 사람은 입체시가 불량하다고 하였다. Schumer와 Julez^[11]는 검사거리가 주시시차에 영향을 미치는지 조사하기 위해 수직형 사인 파인 시차격자가 공간감을 갖게 하는 난점 입체시표로 측정하였다. 그 결과 교차성과 비교차성 비대응 결상간의 가장 큰 차는 주시체로부터 20'의 거리를 가질 때였다.

한편, 조도가 증가하면 홍채가 수축하고 초점심도가 깊어진다. 깊어진 초점심도는 공간상에 있는 사물이 명시역에서 사라지는 순간을 포착하기 어렵게 만든다. 그 때문에 조도의 증가가 입체시의 감소를 야기한다고 생각해 볼 수 있다^[12]. Lovasik과 Szymkiw^[13]는 난점 입체시표와 Titmus 시표를 사용하여 동공의 크기 변화가 입체시에 영향을 미친다는 것을 확인하였으나 동공의 크기가 2.5 mm이하일 경우로 전제했다. 배열시표를 사용한 Jaschinski^[14]는 양안

배열시차의 크기가 1.4'와 3.4' 사이에 있다는 점과 주시시차와 상관관계가 있음을 확인하였다. 이번 연구는 검사거리를 융합대비로 치환시켜 대비의 감소에 따라 주시시차의 변화와 그에 따른 어떤 조절반응을 발생시키는지 조사하고자 한다.

방법 및 절차

이번 연구에 참가하는 피검자는 기초검사로 Zeiss Polatest Classic을 사용하여 단안 및 양안 굴절검사를 실시하였다. 양안 교정시력이 1.0이상이며 입체시 검사와 난점 입체시검사에서 입체시가 분명히 확인된 20세부터 50세까지 총 16명을 피검자로 선택했다. 표적은 배열시표(Vernier target)와 난점 입체시표(Random Dot Stereogram)가 사용되었으며 주사율 132.7 Hz인 17인치 모니터에 구현시켰다. 또한 피검자는 주파수가 66.35 Hz인 편광 필터가 장착된 안경(Elsa 3D Revelator)을 사용하여 모니터를 주시하였으며 검사거리는 50 cm였다. 모니터 발광휘도는 8 cd/m²였으며 배경화면은 흰색, 표적은 검은색이었다. 검사시 표적의 노출시간은 각각 80 ms였으며 배열시표와 난점 입체시 검사가 총 50번 교대로 나타나도록 설정했다.

두 개의 배열선(vernier lines)을 가진 표적은 각각 27'×6.9'였으며 간격은 48'이었다. 편광필터가 장착된 안경으로

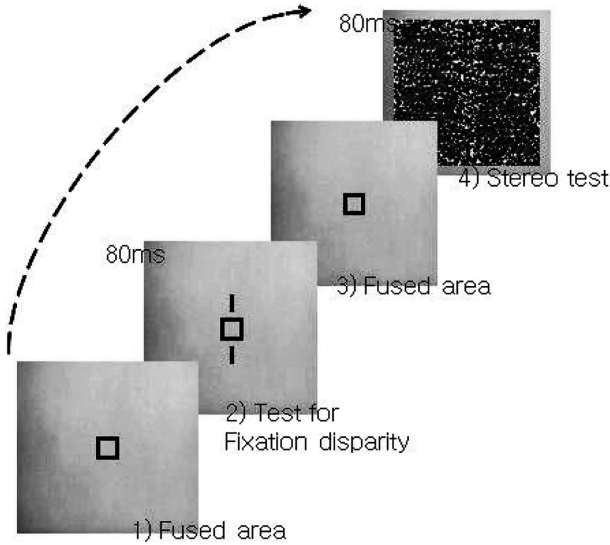


Fig. 1. Structure of test for vernier acuity and stereo acuity, which is programmed by computer.

우안은 위에 있는 수직선을 좌안은 아래에 있는 수직선을 주시하며 Jaschinski^[14]에 의한 방법으로 주시시차를 측정한다. 두 수직선 사이에는 34.4'의 크기를 갖는 사각형이 위치하며 양안 동시 융합자극을 일으킨다. 이 사각형의 융합대비는 각 측정에 따라 64%, 32%, 16%, 8%의 융합대비를 중에서 무작위 설정되었다. 피검자는 위에 위치하는 수직선이 아래의 수직선과 비교해서 어느 쪽에 위치하는지를 마우스의 좌 혹은 우측 버튼을 클릭한다. 데이터는 프로그램에 자동 저장이 된다.

난점 입체시 검사 시표의 크기는 4.7° 크기가 3.5°×1.7° 두 개의 세극이 3가지의 시차로 설정이 가능했다. 첫 번째 세극의 입체시차는 5.4' 두 번째는 10.7' 세 번째는 16.1'이었으며 이들은 각각 교차성(전치)과 비교차성(후치)으로 제시되었다. 하나의 세극을 10.7'으로 고정시켰으며 다른 세극은 5.4'와 16.1' 중에서 무작위로 선택되도록 하였다. 난점 입체시 검사의 대비(Michelsoncontrast)는 화면이 바뀔 때마다 바뀌도록 설정했으며 피검자는 어느 쪽 세극이 전치되는지 확인하고 그 쪽에 해당하는 왼쪽 혹은 오른쪽 마우스를 클릭하여 응답했다. 피검자의 응답이 4회 연속하여 맞을 경우 계단식 방법(staircase method)에 따라 입체대비는 한 단계 감소하지만 응답이 하나라도 틀릴 경우 입체대비는 곧장 한 단계 증가하며 신호음이 들린다. 난점 입체시 검사는 정신물리학의 양자택일형 검사법(2AFCT; 2 alternative forced choice technique)를 토대로 설계되었다.

난점 입체시 검사는 총 8가지로 나누어 설정할 수 있었으며 각 항목의 순서는 무작위로 순서화 되었다(Table 1). 입체시차는 TNO-Test로 측정하였으며 융합대비가 감소할

Table 1. Order of randomized Random-Dot Stereogram in terms of variation of fusion contrast.

Test Order	Sort of disparity	Fusion Contrast (%)
4	Crossed	64
5	Crossed	32
1	Crossed	16
3	Crossed	8
8	Uncrossed	64
7	Uncrossed	32
2	Uncrossed	16
6	Uncrossed	8

때 조절의 변화량을 알아보기 위하여 64%, 32%, 16%, 8%로 융합대비를 조절하면서 우세안을 대상으로 조절력을 총 10회 측정하였다. 피검자의 조절력 측정은 반투과 거울을 가진 자동굴절계 Canon R1을 피검자와 모니터 사이에 위치시켜 이루어졌다.

결 과

총 16명의 피검자가 참가하였으며 주시시차는 융합대비에 영향을 받는 것으로 드러났다(p=0.0011). 또한 융합대비가 감소할 때 변화하는 주시시차와 관련하여 교차성과 비교차성 비대응 결상은 뚜렷한 차이를 보였다(p=0.0004). 주시시차는 비교차성 비대응 결상시에 음수 즉, 외전경향을 보였다(Fig. 2).

보다 정교한 검사를 위해 피검자를 주시시차가 교차성인 외사위군과 비교차성인 내사위군으로 분류하였다. 내사위 군에 속한 8명의 피검자 중 7명이 정위였으며 1명이

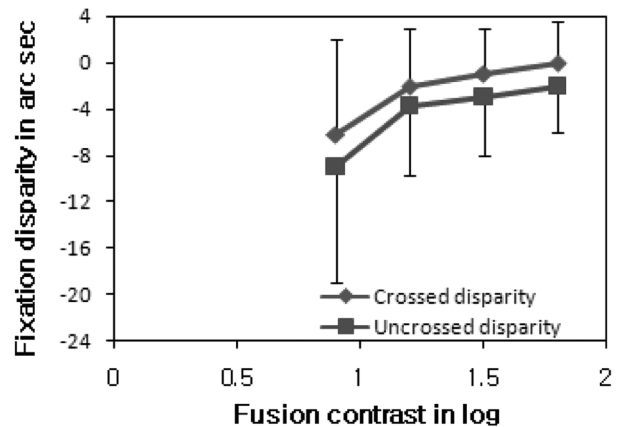


Fig. 2. Dependence of fixation disparity on the fusion contrast for crossed and uncrossed disparity for all participants (standard deviation only in one side recorded).

Table 2. Horizontal prism value tested by Polatest in right eye. The symbol # stands for the patient number

Group	#	Prism diopter in OD	Base direction
Eso-	1	0	
	2	1	Out
	3	0	
	4	0	
	5	0	
	6	0	
	7	0	
	8	0	
Exo-	9	1	In
	10	0.5	In
	11	1	Out
	12	3.5	Out
	13	1	Out
	14	3	Out
	15	3	Out
	16	1.5	Out

외사위 안이었다. 외사위 군에는 6명이 외사위안과 사위량이 작은 내사위안 2명을 포함시켰다(Table 2).

64%의 융합대비에서 0보다 작은 주시시차 값은 외사위 군에서 발견되었으며 0보다 큰 값은 내사위 군에서 발견되었다.

Fig. 3에서 보듯이 외사위 군에서 융합대비가 낮을수록 큰 폭의 외전현상이 있었으나(p=0.0115) 내사위 군에서 이런 현상은 발견되지 않았다(Fig. 4). 교차성과 비교차성 비대응결상 간 융합대비에서는 차이가 없었다(p=0.1691).

모든 검사에서 교차정보다 비교차성 비대응 결상에서

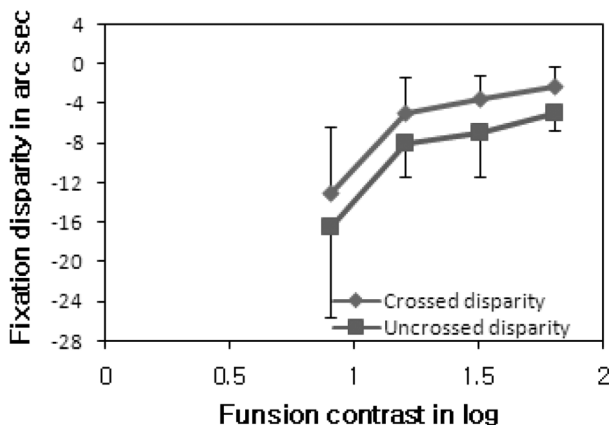


Fig. 3. Dependence of fixation disparity on the fusion contrast for crossed and uncrossed disparity for exophoric group (standard deviation only in one side recorded).

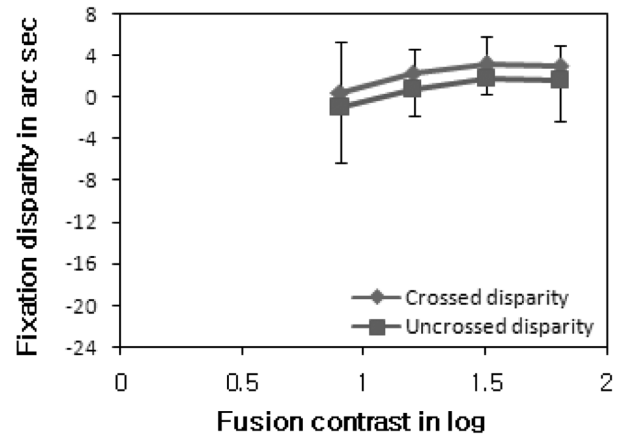


Fig. 4. Dependence of fixation disparity on the fusion contrast for crossed and uncrossed disparity for esophoric group (standard deviation only in one side recorded).

항상 더 큰 변화량을 보였으며 가장 낮은 융합대비인 8%에서의 주시시차 편차량은 가장 크게 나타났다. 또한 안경장용자 2명을 제외한 총 14명을 대상으로 융합대비가 떨어질 때 어떤 조절 반응이 나타나는지 측정하였다. 조절량을 총 10번 측정하였으며 구면등가치로 환산하여 분석하였다. 그 결과, 융합대비의 변화는 조절력에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다(p=0.8031)(Fig. 5).

융합대비와 양안시에 근거한 배열시력(vernier acuity)과의 관계는 통계적 의미가 있는 것으로 나타났다(p=0.0000)(Fig. 6).

다양한 융합대비에서 배열시력과 주시시차 간의 상관관계를 알아보았다. 64%의 대비에서 0.486, 32%에서 0.48, 16%에서 0.512가 얻어졌다. 그리고 주시시차의 증가와 양안 배열시차의 증가와 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌다(r=0.574).

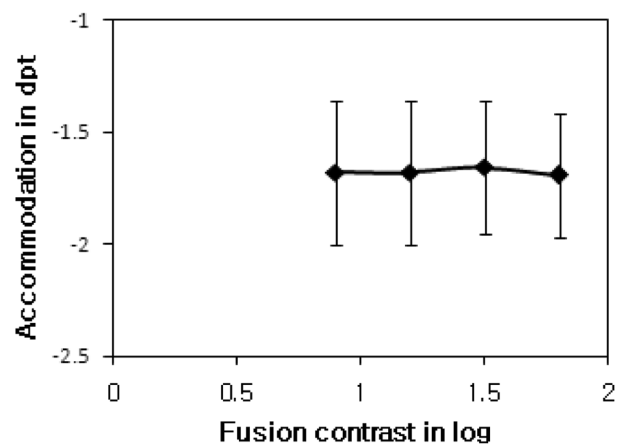


Fig. 5. Accommodation with standard deviation in depending on the fusion contrast.

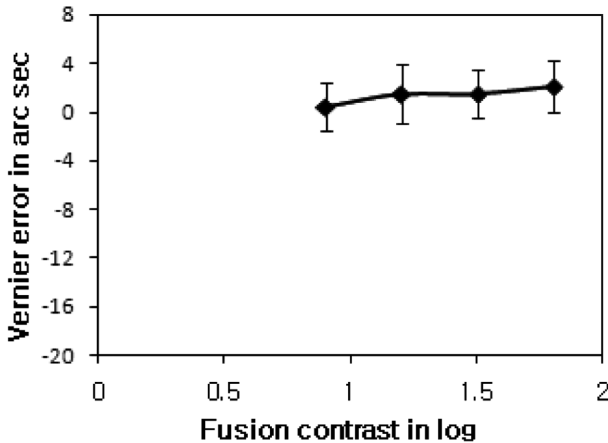


Fig. 6. Binocular vernier error with standard deviation in depending on fusion contrast.

고 찰

주시시차의 성질을 관찰하기 위해 다양한 상황을 설정해야 했다. 본 연구에서는 융합대비를 감소시키는 방법을 선택했다. 결과에서 보였듯이 융합대비가 감소할수록 안구는 외전하는 것으로 밝혀졌다. 특히 8%의 융합대비 하주시시차의 표준편차가 다른 세 경우보다 훨씬 크게 나타났다. 이것은 낮은 융합대비에서 시 체계의 불안정성이 존재함을 암시한다. 융합대비의 감소는 내사위 군에서 보다 외사위 군에서 안구의 외전현상이 더욱 두드러지게 나타났다. 64%에서 4%의 융합대비의 감소는 외사위 군에서 11', 내사위 군에서 2.5'의 주시시차를 유발시켰다. 즉, 내사위안이 외사위안에 비해 융합대비로써 유발되는 주시시차에 대하여 시체계의 상대적 안정성을 시사한다.

한편, Lit^[15] 등은 Howard-Dolman 검사기를 사용하여 주시시차의 증가는 대비 역치에 근접할수록 동시에 조도가 높을수록 더욱 두드러짐을 발견했다. 이것은 조도가 증가할수록 베버의 대비 값이 감소한다는 사실로 예측 가능하다. 검사거리에 따른 주시시차의 종속성에 관하여 연구한 Jaschinski^[14]는 검사거리가 짧을수록 주시시차가 증가함을 발견했다. Schor^[16]는 폭주과다가 근거리에서 큰 외사위성 주시시차를 유발하는지 알아보았으나 큰 변화는 없는 것을 확인했다. 그러므로 외사위 군은 폭주부족을 갖는다고 볼 수 있다.

이번 연구에서는 검사거리를 대신하여 융합대비에 변화를 주어 주시시차의 변화를 살펴봤다. 주시시차의 값은 교차성일 때보다 비교차성 비대응 결상일 때 약 2'의 외전 현상을 보였다. 이것은 사물이 교차성 비대응 결상일 때 모니터 앞으로 돌출되어 전치되며 비교차성일 때 모니터 속으로 들어가 후치되어 보이는 사실로 설명이 된다. 안구는 사물의 위치를 예측하여 거리에 대한 판단을 하기 때

문이다. 그러나 모니터의 발광휘도가 8 cd/m^2 였으며 편광 렌즈로 인해 광투과율이 더욱 감소되었을 것이라는 점을 간과할 수 없다. 명실과 암실에서 안위는 동일하지 않기 때문이다^[17].

융합대비의 변화는 조절에 영향을 주지 않았다. Jaschinski^[14]는 이것을 양안 주시시의 조절과 폭주의 연합작용으로 설명한다. 융합대비의 변화는 안구 자체의 버전스 체계로 보정을 시키기 때문에 단안 주시시의 조절량은 양안 주시시보다 더 클 것으로 사료된다. 입체시 검사나 주시시차 검사시에 변화하는 조절량을 동시에 측정할 수 있다면 명확한 데이터를 얻을 수 있겠으나 기술적인 어려움으로 실행되지 못했다.

양안배열시차는 융합대비의 변화에 따라 통계적 차이가 생겼다. 융합대비의 변화시 주시시차의 증가와 양안배열시차의 증가는 서로 상관관계가 있었으나 동일하지는 않았다. 양안배열시차는 융합대비가 64%에서 8%로 감소될 때 주시시차 때보다 작은 값인 약 1.7'의 변화를 보였다. Jaschinski^[14]은 양안배열시차는 검사거리와 무관함을 밝혔다. 양안배열시차는 망막이나 안내체의 구조적 불규칙성으로 유발되는 현상으로 추정된다.

결 론

본 연구에서는 16명의 피검자를 대상으로 융합대비의 변화가 주시시차와 배열시차에 영향을 주는지 알아보았다. 융합대비가 감소하면 주시시차는 안구의 외전 경향을 보였다. 안구가 외전하는 양은 내사위보다 외사위에서 더 크게 나타났다. 그러나 융합대비의 변화는 조절반응에 개입하지 않았다. 따라서 융합대비의 변화에 따른 외안근의 운동과 조절반응과의 관계는 기존의 버전스 체계와 무관한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Halveston E. M. et al., "Visual Function and Academic Performance", *Am. J. Ophthalmol.* 99(3):346-355(1985).
- [2] Hoffman L. G., "Incidence of Vision Difficulties in Children with Learning Disabilities", *J. Am. Optom. Assoc.*, 51(5): 447-451(1980).
- [3] Stollzberg M. E., et al., "Effects of Ocular Functioning and Time Upon Reading Proficiency", *J. Am. Optom. Assoc.*, 60(2):122-126(1989).
- [4] Sloan H. A., "Visual Predictors of Reading Performance in Kindergarten and First Grade Children", *Optom. Vis. Sci.* 73(4):255-262(1996).
- [5] Schmied U., et al., "Ist FD ein Risikofaktor, eine reduzierte Stereopsis zu haben?", *NOJ*, 12:8-11(1992).

- [6] Jimenez J. R., et al., "Associated Phoria in Relation to Stereopsis with Random-dot Stereograms", *Optom. Vis. Sci.*, 77(1): 46-50(2000).
- [7] Saladin J. J., "Effects of Heterophoria on Stereopsis", *Optom. Vis. Sci.*, 72(7):487-492(1995).
- [8] Hoffman D. M., et al., "Vergence-accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue", *J. Vision*, 8(3):1-30(2008).
- [9] 신효순 등, "외사위의 정도와 입체시의 관계", *대한안광학회*, 14(2):41-46(2009).
- [10] Haase H. J., "Zur Fixationsdisparation", Verlag der Deutschen Optikerzeitung, 2. Auflage, pp. 215-223(2000).
- [11] Schumer R. A. and Julesz B., "Binocular Disparity Modulation Sensitivity to Disparities Offset from the Plane of Fixation", *Vis. Res.*, 24(6):533-542(1984).
- [12] Howard I. P. and Rogers B. J., "Seeing in Depth", Volume 2, University of Toronto Press, pp. 158-159(2002).
- [13] Lovasik J. V. and Szymkiw M., "Effects of Aniseikonia Anisometropia Accommodation Retinal Illuminance and Pupil Size on Stereopsis", *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 26(5):741-750(1985).
- [14] Jaschinski W., "Fixation Disparity and Accommodation for Stimuli Closer and More Distant than Oculomotor Tonic Positions", *Vis. Res.* 41(7):923-933(2001).
- [15] Lit A., et al., "Effect of Targetbackground Luminance Contrast on Binocular Depth Discrimination at Photopic Levels of Illumination", *Vis. Res.*, 12(7):1242-1251(1972).
- [16] Schor C. M., "Analysis of Tonic and Accommodative Vergence Disorders of Binocular Vision", *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 60(1):1-14(1983).
- [17] Hiltz R., "Der Hell-Dunkel-Effekt bei der Heterophoriepruefung", *NOJ*, 10:31-35(1989).

Change of Fixation Disparity and Accommodation when the Fusion Contrast Varied

Jae-Myoung Seo

Gwangju Health College, Ophthalmic Optics

(Received October 31, 2009; Revised November 23, 2009; Accepted December 8, 2009)

Purpose: To study the change of fixation disparity and accommodation as fusion contrast is deteriorated. **Methods:** 16 subjects who had above 20/20 and stereopsis took part. Monocular and binocular refraction were done with Zeiss Polatest Classic whereas the critical angle for stereopsis was done with TNO. A computer programmed with Random-Dot stereogram and vernier test managed a precise change of the fusion contrast and exposure time. **Results:** The fixation disparity was influenced by reduction of fusion contrast and had tendency to exophoria ($p=0.0004$), especially it is considerably higher when uncrossed disparity was shown to exophoric subjects. Although accommodation was not influenced by a change of fusion contrast ($p=0.803$), vernier acuity was influenced ($p=0.0000$). **Conclusions:** Exophoric trend arose as the fusion contrast was reduced, nevertheless there was no accommodative change.

Key words: Fixation Disparity, Fusion Contrast, Accommodation, Vernier acuity