

근거리 작업 시 종색수차에 따른 양안시의 변화

김세일, 박미정, 김소라*

서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 139-743

투고일(2015년 4월 29일), 수정일(2015년 5월 25일), 게재확정일(2015년 5월 27일)

목적: 본 연구에서는 근업 시 바탕색의 차이에 따른 시기능의 차이를 비교하고자 하였다. **방법:** 본 연구에 동의하며 안질환 및 안과적 수술경험이 없고 사시, 약시가 없는 양안시가 가능한 성인 54명(남18, 여34)을 대상으로 흰색, 적색, 녹색 및 청색의 바탕에 검은색 글씨로 구성된 소설을 각각 15분 동안 읽게 한 후 사위도, AC/A비, 폭주근점, 조절용이성, 상대조절 및 융합력을 측정한 후 근거리 작업 전후 차이를 비교하였다. **결과:** 사위도는 바탕색에 관계없이 독서 전과 비교하여 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, AC/A비는 백색 바탕색을 제외한 다른 바탕색의 책을 읽은 후에는 증가하는 경향을 나타내었다. 폭주근점은 바탕색별로 모두 독서 전과 비교하여 유의한 증가를 보였다. 우위안 및 비우위안의 조절용이성은 독서 후 모두 유의한 증가를 나타내었지만 양안조절용이성의 경우는 감소하는 경향을 나타내었다. 음성상대조절은 모든 바탕색에서 유의한 감소를 보였으나 양성상대조절의 변화는 유의하지 않았다. 융합력의 경우 바탕색의 각 파장별 원거리 BO 분리점과 원거리 BO 회복점에서 유의한 변화를 나타내었다. **결론:** 본 연구를 통하여 일정시간의 근업 시 동일한 조절과 폭주량이 요구됨에도 불구하고 빛의 파장에 따라 폭주의 변화가 나타남을 알 수 있었으므로 다양한 색채인지를 요구하는 근거리 작업 시에는 주가 되는 파장에 따라 작업환경의 조정이 이루어져야 함을 제안할 수 있다.

주제어: 종색수차, 양안시, 폭주, 조절, 안정피로

서 론

시각은 정보습득의 경로 가운데 가장 중요한 감각 중 하나로 시각을 통하여 주변으로부터 정보를 얻을 뿐만 아니라 정보수집과정을 통해 신체적, 인지적 및 감정적 발달이 이루어지게 된다. 독서는 시간적, 공간적, 물리적인 제약에서 비교적 자유롭고 빠르게 정보를 선택적으로 습득할 수 있는 방법 중 하나이다. 현대 사회가 점점 디지털 미디어 세대로 변화하면서 다양한 display를 이용한 독서가 가능하게 되었음에도 불구하고 인쇄된 종이책을 통한 정보습득은 여전히 우리 생활과 가장 가까운 곳에 존재한다. 신문, 잡지, 포스터 등의 인쇄된 정보는 다양한 바탕색과 어울려져 쉽게 인지되기도 하나 이외는 반대로 서로의 색이 간섭되어 불분명하게 인지되기도 한다. 망막으로 전달된 빛 자극은 추체세포의 감지정도와 조합에 따라 망막 상의 이미지를 형성하게 되는데, 이 때 빛의 파장에 따라 초점 맺힘이 달라지므로 조절은 최대 2.5 D까지 차이가 난다.^[1] 따라서 동일거리에서 유입되는 빛 자극이라 하더라도 파장에 따라 요구되는 조절량이 달라지

므로 바탕색의 변화에 따라 사물을 주시할 때 흐림으로 반사성 조절이 유도되며 이는 이항운동(vergence)을 일으키고, 망막시차(retinal disparity)는 조절을 유도하여 조절과 폭주의 상호작용으로 양안단일선명시를 유지할 수 있게 된다.^[2] 파장에 따른 이러한 조절의 차이는 폭주변화를 가져오며 양안시의 변화를 일으켜 눈의 피로도를 증가시키거나 경감시킬 수 있다. 독서나 컴퓨터 작업 등 근거리 작업 시 흔하게 나타나는 증상인 안정피로(asthenopia)는 장시간의 조절과 폭주로 나타나는 두통, 눈부심, 시야 흐려짐, 복시, 글자왜곡, 글 읽기 반복 및 느려짐 등^[3-5]의 단순한 증상 뿐만 아니라 이들의 복합적인 작용으로 인해 건안 또는 조절 및 폭주의 기능장애와 같은 양안시 기능 이상을 유발하기도 한다.^[6] 이러한 안정피로의 증상은 컬러렌즈 착용이나 컬러뎀의 처치를 통하여 완화될 수 있으며,^[7-9] 글 읽기 속도도 또한 향상될 수 있다.^[10-13] 이렇듯 선행연구는 컬러렌즈 착용과 컬러뎀을 통한 안정피로의 경감과 작업효율의 변화에 대한 연구가 대부분으로 다양한 색채로 인쇄된 매체의 바탕색에 따른 양안시 변화와 피로도에 관한 연구는 미미한 편

*Corresponding author: So Ra Kim, TEL: +82-2-970-6264, E-mail: srk2104@seoultech.ac.kr

본 논문의 일부내용은 2014년도 한국안광학회 하계학술대회에서 구연발표 되었음.

이다.

이에 본 연구에서는 지속적인 근거리 작업 시 바탕색의 선호도와 색에 따라 폭주기능에 어떠한 변화가 유발되는가를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구에 동의하며 안질환 및 안과적 수술경험이 없고 사시, 약시가 없는 양안시가 가능한 단안 교정시력 0.8이상, 양안교정시력 1.0인 19세~30세(평균연령은 22.89 ± 2.86 세)의 성인남녀 54명(남 18명, 여 34명)을 대상으로 하였다. 굴절력 검사는 양안개방형 자동굴절계(NVision-K 5001, Shin-Nippon Rexam CO., LTD, Japan)와 포롭터(AV-9000, Pichina, 한국)를 사용하여 수행하였다.

2. 실험조건

대상자들에게 흰색, 적색, 녹색 및 청색의 바탕에 11pt로 설정한 검은색 글씨로 구성되어 있는 소설(어니스트 톰슨 시튼의 “시튼동물기”)을 눈 앞 50 cm거리에서 무작위의 순서로 각각 15분 동안 읽게 한 후 사위도, AC/A비, 폭주근점, 조절용이성, 상대조절 및 융합력을 측정하여 독서 전후의 차이를 비교하였다. 색지는 정확한 색채전달을 위해 요구되는 미국시험재료협회(America Standard for Testing Material)의 최소표본크기인 40 mm×70 mm보다 큰 210 mm×297 mm 용지를 사용하였으며, 적색, 청색 및 녹색의 색상은 현재 개정된 우리나라의 공업규격(KSA0062-71 : 색의 3축성에 의한 표시방법)으로 제정되어 사용하고 있으며, 교육용(교육부 고시 제 312호)으로도 채택되어 있는 표색계인^[14] 먼셀표색계(색체계의 세 가지 속성인 색상, 명도, 채도로 색체를 분류하는 방법^[15])중 가장 기본이 되는 색 좌표의 색인 적(5R 4/14), 청(5G 5/10), 녹(5B 4/10)을 선정하여 후지 제록스 C550으로 출력하여 사용하였다. 한 바탕색의 소설을 읽은 후 다음 바탕색의 소설을 읽기 전에는 최소 30분이상의 휴식시간을 가지도록 하였으며, 바탕색의 순서에 따라 결과가 영향을 받는 것을 최소화하기 위하여 4가지의 바탕색을 무작위로 선택하여 읽게 하였다.

독서를 위한 실내(8 m×7 m 크기)는 태양광의 직접조명을 배제하고 백색광의 발광다이오드(light-emitting diode) 간접조명을 이용하여 한국공업규격조도기준(KS A 3011)에서 학습에 필요한 조도로 규정한 1,000 lux가 되도록 조정^[14]하였으며, 실험대상자가 독서 중에 받을 수 있는 방해 최소화하기 위하여 주변의 기기나 배치를 조정하였으며, 실내온도는 23°C로 설정하였다.

3. 양안시 기능 검사^[16-17]

실험대상자들의 굴절이상에 따른 시력교정을 위하여 타각적 굴절이상도, 원거리 자각적 교정시력을 측정하였으며, 독서 전후의 양안시 변화를 알아보기 위하여서는 폭주근점, 조절용이성, 원거리 및 근거리 사위도, 양성 및 음성 상대조절, 융합력 검사를 시행하였다.

1) 폭주근점

완정교정상태에서 조절측정자(ACnA Scaler, 나도코리아, 한국)를 사용하여 ‘Push-up’방법을 이용하였다.

2) 조절용이성 검사

원거리 완전교정상태에서 근거리 시표(PCARD, Bernell, USA)를 피검자로부터 40 cm에 위치시키고 0.8시표를 주시하게 한 후 ± 2.00 D의 flipper(BC1270, Bernell, USA)를 사용하여 진행하였다.

3) 사위도 검사

원거리 완전교정상태에서 원거리용 토링톤카드(Distance Thorington Card 5357, Richmond Products, USA)와 근거리용 토링톤카드(Near Thorington Card 5237, Richmond Products, USA)를 사용하여 수정된 토링톤법으로 마독스로드를 장용하여 원, 근거리 수평사위를 측정하였다.

4) 조절성 폭주비 검사

주시거리를 일정하게 유지시키고 렌즈의 굴절력을 변화시켜 조절을 자극하는 -1.00D 렌즈 부가법을 이용하여 3 m와 40 cm에서 원, 근거리 사위검사와 동일한 방법으로 조절성 폭주비(Gradient AC/A 비)를 측정하였다.

5) 융합력 검사

원거리 융합력의 경우 포롭터를 통하여 3m앞에 위치한 0.8 세로시표를 주시하게 하였다. 양안에 리슬리 프리즘을 가입시키고 시표가 선명하게 보이는 상태를 계속 유지하며 노력하도록 주의시킨 후 먼저 기저내방(base-in, BI) 프리즘을 0에서 부터 1초당 약 2~3 Δ의 속도로 증가시키어 시표가 흐려 보이거나 분리되어 보일 때 “흐림(흐린점)” 또는 “분리(분리점)”라고 보고하도록 하였다. 분리점이 나타나고 4 Δ정도 더 가입시킨 후 시표가 하나로 선명하게 보일 때까지 프리즘 량을 감소시켜 회복점을 보고하도록 하였다. BI검사가 끝난 후 기저외방(base-out, BO) 프리즘을 이용하여 BI검사와 동일한 방법으로 시행하였다. 근거리 융합력은 포롭터를 통하여 40 cm 앞에 위치한 근거리용 0.8 세로시표를 주시하게 한 후 리슬리 프리즘을 사용하여 원거리 융합력 측정과 동일한 방법으로 측정하였다.

BI프리즘을 사용하여 먼저 음성융합버전스(negative fusional vergence, NFV)를 측정 후 BO프리즘을 이용하여 양성융합버전스(positive fusional vergence, PFV)를 측정하였다.

6) 상대조절검사

원거리 완전교정상태에서 포토퍼를 이용하여 40 cm 근거리 시표 중 0.8시표를 주시하게하고 먼저 (+)렌즈를 0.25 D 단계로 가입시키면서 시표가 최초 흐림 지속상태에 이르면 “흐림”이라고 대답하도록 하고 음성상대조절(negative relative accommodation, NRA)로 기록하였다. 반대로 (-)렌즈를 0.25 D 단계로 가입시키면서 시표가 최초 흐림 지속상태에 이르는 때를 양성상대조절(positive relative accommodation, PRA)로 기록하였다.

4. 통계분석

본 실험은 파장에 따른 시기능의 변화를 분석하기 위해 바탕색이 다른 소설을 15분 동안 읽게 한 후 폭주근점, 조절용이성, 사위도, 조절성 폭주비, 융합력 및 상대조절을 측정하여 평균±표준편차로 표시하였다. 독서시간은 파일럿테스트를 통하여 집중도가 저하되지 않는 시간인 15분으로 설정하였다. 실험결과와 통계적 유의성은 SPSS 12.0K for Window를 이용하여 분석하였다. 즉, 실험 전과 바탕색에 따른 시기능 결과값의 변화는 반복측정 분산분석(RM-ANOVA)으로 분석하였으며, 바탕색 별 시기능 결과값의 변화는 대응표본 t-검정으로 분석하였으며, 95%의

신뢰 수준에서 유의성을 판정하였다. 즉, p 값이 0.05미만 일 경우 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 바탕색의 차이에 따른 사위도의 변화

독서 전 대상자들의 평균 원거리 사위도는 $-2.28 \pm 4.00 \Delta$ 이었다. 바탕색이 다른 소설을 각각 15분동안 독서한 후 대상자들의 평균 원거리 사위도는 백색바탕의 경우는 $-2.06 \pm 3.03 \Delta$ 로 0.22 Δ 의 변화를, 적색바탕은 $-1.94 \pm 3.78 \Delta$ 로 0.33 Δ 의 변화를, 녹색의 바탕이 $-2.19 \pm 3.50 \Delta$ 로 0.09 Δ 의 변화를, 청색바탕이 $-2.17 \pm 4.47 \Delta$ 으로 0.11 Δ 변화를 나타내어 바탕색에 관계없이 모두 독서 전보다 내사위화되어 정위에 가까워지는 경향을 보였으며, 독서 전과 비교하여 바탕색 별 원거리 사위도의 변화는 바탕색에 따라 최대 0.24 Δ 의 차이를 보였다(Table 1). 한편, 독서 전 대상자들의 평균 근거리 사위도는 $-5.94 \pm 4.81 \Delta$ 으로 측정되었으나 독서 후에는 백색바탕은 $-5.44 \pm 4.44 \Delta$ 로 0.50 Δ 의 변화를, 적색바탕은 $-5.50 \pm 4.99 \Delta$ 로 0.44 Δ 의 변화를, 녹색바탕의 경우는 $-5.52 \pm 4.36 \Delta$ 로 0.43 Δ 의 변화를, 청색바탕은 $-5.52 \pm 4.69 \Delta$ 으로 0.43 Δ 의 변화를 나타내었으나, 독서 전과 비교하여 바탕색별 근거리 사위도의 변화는 바탕색에 따라 최대 0.07 Δ 의 차이를 보였다(Table 1). 바탕색이 다른 소설을 읽고 난 후 사위도는 원거리와 근거리에서 모두 전체적으로 정위 쪽으로 변화됨을 볼 수 있

Table 1. Change in heterophoria depending on the background color

	Baseline (mean±SD)	Background color				P-value by RM-ANOVA
		White (mean±SD)	Red (mean±SD)	Green (mean±SD)	Blue (mean±SD)	
Far distance (Δ)	-2.28±4.00	-2.06±3.03	-1.94±3.78	-2.19±3.50	-2.17±4.47	0.756
Near distance (Δ)	-5.94±4.81	-5.44±4.44	-5.50±4.99	-5.52±4.36	-5.52±4.69	0.583

Table 2. Statistical analysis for the difference of heterophoria depending on background color after reading

	Background color	Difference of heterophoria (Δ)	P-value by paired t-test
		mean±SD	
Far distance	Baseline - White	-0.22±2.04	0.428
	Baseline - Red	-0.33±2.67	0.363
	Baseline - Green	-0.09±2.55	0.791
	Baseline - Blue	-0.11±2.38	0.733
Near distance	Baseline - White	-0.50±2.23	0.105
	Baseline - Red	-0.44±3.06	0.290
	Baseline - Green	-0.43±3.00	0.302
	Baseline - Blue	-0.43±2.80	0.269

었으나 바탕색 간의 유의한 차이는 없었으며(Table 1), 실험 전과 바탕색 간의 차이도 통계적으로 유의하지 않았다(Table 2).

바탕색에 따른 사위도의 통계적 유의성은 없었으나 전체적인 내사위화 되는 경향을 보였는데 이는 같은 거리를 주시할 때 색수차에 따라 폭주요구량이 커지게 됨에 따라 폭주과다로 사위의 방향이 일시적으로 정위방향으로 변화하여 전체사위량이 적어진 것으로 판단되었다.

2. 바탕색의 차이에 따른 AC/A비의 변화

독서 전 실험대상자들의 평균 AC/A비는 2.70 ± 1.4 이었다(Table 3). 바탕색별 소설을 각각 15분동안 독서한 후의 AC/A비는 백색바탕의 경우는 2.59 ± 1.33 로 0.11의 감소를, 적색바탕은 3.11 ± 1.65 로 0.41의 증가를, 녹색바탕은 2.87 ± 1.33 로 0.17의 증가를, 청색바탕의 경우는 2.98 ± 1.34 로 0.28의 증가를 나타내었으나 바탕색 간의 AC/A비의 차이는 통계적인 유의성은 없었다(Table 3). 바탕색 별로 독서 전후의 AC/A비 차이에서도 통계적 유의성은 관찰할 수 없었으나 적색바탕 소설의 독서 시 그 차이가 가장 크게 나타났다(Table 4).

색수차에 의해 망막 상에서 가장 멀리 떨어져 상을 맺게 되는 적색과장을 중심와에 결상하기 위해 가장 많은 조절을 하며, AC/A비에 의해 조절성 폭주량이 결정된다.^[18] Kozulin 등^[19]은 HDTV시청 시 AC/A비가 유의하게 증가함을 보고하였다. 지속적인 조절로 인한 폭주자극의 값의 변화로 일시적 폭주과다가 유도되었으며, 조절계의 영향으로 AC/A비도 달라질 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서도 독서 전과 비교하여 백색바탕을 제외한 다른 바탕색에서 모두 AC/A비가 증가함을 보여주었는데 특히 적색바탕의 AC/A비 변화가 다른 바탕색의 변화보다 크게 나타났는데 이것이 눈의 피로도에 영향을 미친 것으로 생각

Table 4. Statistical analysis for the difference of AC/A ratio depending on the background color after reading

Background color	Difference in AC/A (mean±SD)	P-value by paired t-test
Baseline - White	0.11 ± 1.42	0.569
Baseline - Red	-0.41 ± 1.67	0.078
Baseline - Green	-0.17 ± 1.63	0.457
Baseline - Blue	-0.28 ± 1.71	0.238

AC/A : accommodative convergence/accommodation

되었다. 따라서 안정피로의 피로도는 조절에만 국한된 것이 아니라 폭주와 연계하여 영향을 받는 것으로 판단할 수 있었다.

3. 바탕색의 차이에 따른 폭주근점의 변화

독서 전 실험대상자들의 평균 폭주근점은 7.40 ± 2.39 cm이었다. 각 바탕색별로 15분 동안 독서 후 평균 폭주근점은 백색바탕의 경우는 8.22 ± 2.70 cm로 0.82 cm의 증가를, 적색바탕은 8.62 ± 2.96 cm로 1.22 cm의 증가를, 녹색바탕의 경우는 8.14 ± 2.57 cm로 0.74 cm의 증가를, 청색바탕은 8.24 ± 2.82 cm로 0.83 cm의 증가를 나타내었으며 바탕색별 폭주근점의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 5). 바탕색 별로 독서 전후의 폭주근점의 차이는 통계적으로 유의하였으며, 적색바탕의 글을 읽었을 때 실험 전과 비교하여 가장 높은 변화값을 나타내었다(Table 6).

일정거리를 지속적으로 주시하게 되면 최대폭주력은 지속적인 자극을 받게 되어 안정피로도가 나타난다. Owens 등^[20]은 1시간의 책읽기와 컴퓨터단말기작업 모두 유의한 안구 피로도가 나타났으나 두 근거리작업에 따른 피로도의 차이는 유의하지 않았으며, 조절력과 폭주력에서도 작

Table 3. Change in AC/A ratio depending on the background color

	Baseline (mean±SD)	Background color				P-value by RM-ANOVA
		White (mean±SD)	Red (mean±SD)	Green (mean±SD)	Blue (mean±SD)	
AC/A ratio	2.70 ± 1.4	2.59 ± 1.33	3.11 ± 1.65	2.87 ± 1.33	2.98 ± 1.34	0.088

AC/A : accommodative convergence/accommodation

Table 5. Change in near point of convergence depending on the background color

	Baseline (mean±SD)	Background color				P-value by RM-ANOVA
		White (mean±SD)	Red (mean±SD)	Green (mean±SD)	Blue (mean±SD)	
NPC (cm)	7.40 ± 2.39	8.23 ± 2.70	8.63 ± 2.95	8.14 ± 2.57	8.24 ± 2.82	0.000*

NPC: near point of convergence

Table 6. Statistical analysis for the difference of near point of convergence depending on background color after reading

Background color	Difference of NPC (cm)	P-value by paired t-test
Baseline - White	-0.82±1.51	0.000*
Baseline - Red	-1.22±1.72	0.000*
Baseline - Green	-0.74±1.49	0.001*
Baseline - Blue	-0.83±1.64	0.001*

NPC: near point of convergence

업 후 유의하게 감소한다고 보고하였다. Gratton등^[21]의 연구에서도 책과 영상단말기(visual display terminal)을 이용한 근업 시 조절력과 폭주력이 모두 줄어들음을 보고한 바 있다. 선행연구결과와 같이 본 연구에서도 각 바탕색의 소설을 읽고 난 후 폭주력에서 유의한 감소를 보였으며 특히 적색바탕의 근업 후 가장 큰 폭주력의 감소를 나타내었는데 이는 색수차에 의한 과도한 조절로 폭주까지 영향을 받아 증가한 피로도의 결과인 것으로 판단되었다.

4. 바탕색의 차이에 따른 조절용이성의 변화

독서 전 실험대상자들의 우위안 조절용이성은 평균 9.02±6.23 cpm(cycles per minute)이었다(Table 7). 다른 바탕색의 소설을 각각 15분간 읽은 후 우위안 조절용이성은 백색바탕의 경우는 9.78±6.71 cpm로 0.76 cpm의 증가를, 적색바탕은 10.46±7.04 cpm로 1.44 cpm의 증가를, 녹색바탕은 10.09±6.57 cpm로 1.07 cpm의 증가를, 청색바탕의 경우는 9.81±6.82 cpm으로 0.80 cpm 증가를 나타내었으며, 바탕색 간의 p값은 0.037으로 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 8). 바탕색 별로 독서 전후의 우위안 조절용이성을 비교하였을 때에도 청색바탕을 제외한 백색, 적색 및 녹색 바탕에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 8). 비우위안의 경우는 독서 전 실험대상자들의 평균 조절용이성은 9.57±6.56 cpm이었다(Table 7). 15분간의 독서 후 비우위안 조절용이성은 백색바탕의 경우는 10.39±6.62 cpm로 0.81 cpm의 증가를, 적색바탕

Table 8. Statistical analysis for the difference of accommodative facility depending on background color after reading

Background color		Difference of accommodative facility (cpm)	P-value by paired t-test
		mean±SD	
DE	Baseline - White	-0.76±2.23	0.016*
	Baseline - Red	-1.44±3.55	0.004*
	Baseline - Green	-1.07±3.63	0.034*
	Baseline - Blue	-0.80±3.68	0.118
NDE	Baseline - White	-0.81±2.78	0.036*
	Baseline - Red	-1.57±3.34	0.001*
	Baseline - Green	-1.20±3.16	0.007*
	Baseline - Blue	-0.94±3.62	0.060
OU	Baseline - White	0.02±3.58	0.970
	Baseline - Red	0.32±4.00	0.562
	Baseline - Green	0.32±3.60	0.519
	Baseline - Blue	0.02±3.01	0.964

OU: Oculus Uterque, DE: Dominant Eye, NDE: Non Dominant Eye, cpm: cycles per minute.

은 11.15±7.13 cpm로 1.57 cpm의 증가를, 녹색바탕의 경우는 10.78±6.76 cpm로 1.20 cpm 증가를, 청색바탕색은 10.52±7.28 cpm으로 0.94 cpm의 증가를 나타내었으며 바탕색 간의 차이는 통계적으로도 유의하였다(Table 8). 바탕색별 독서 전후의 조절용이성의 변화를 비교하여 보면 우위안의 경우는 청색바탕을 제외한 나머지 바탕색의 경우는 모두 통계적으로 유의하였다(Table 8).

독서 전 실험대상자의 양안 조절용이성의 경우는 9.62±6.30 cpm이었다(Table 7). 15분간의 독서 후 양안의 조절용이성은 백색바탕의 경우는 9.60±5.84 cpm로 0.02 cpm의 감소를, 적색바탕은 9.30±6.02 cpm로 0.32 cpm의 감소를, 녹색바탕은 9.30±5.76 cpm로 0.32 cpm의 감소를, 청색바탕은 9.60±5.99 cpm으로 0.02 cpm의 감소를 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었으며, 독서 전

Table 7. Change in accommodative facility depending on the background color

	Accommodative facility (cpm)					P-value by RM-ANOVA
	Baseline (mean±SD)	White (mean±SD)	Red (mean±SD)	Green (mean±SD)	Blue (mean±SD)	
DE	9.02±6.23	9.78±6.71	10.46±7.04	10.09±6.57	9.81±6.82	0.037*
NDE	9.57±6.56	10.39±6.62	11.15±7.13	10.78±6.76	10.52±7.28	0.010*
OU	9.62±6.30	9.60±5.84	9.30±6.02	9.30±5.76	9.60±5.99	0.826

OU: Oculus Uterque, DE: Dominant Eye, NDE: Non Dominant Eye, cpm: cycles per minute.

후의 바탕색별 양안 조절용이성의 변화도 통계적인 유의성은 관찰되지 않았다(Table 8).

단안 조절용이성의 경우는 바탕색에 따라 통계적으로 유의한 값의 차이가 관찰되었으며, 독서 전후의 비교에서는 흰색바탕, 적색바탕, 청색바탕에서 각각 유의함을 보였다. 단안 조절용이성은 폭주가 배제된 상태로 폭주성 조절의 개입이 되지 않음으로 양안 조절용이성보다 기본 cpm은 낮게 측정되었으나 근거리 작업으로 인한 폭주피로가 연동되지 않아 독서 후에도 높게 측정되었던 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 높은 조절용이성을 보이는 그룹과 낮은 조절용이성을 보이는 그룹 모두 단안 조절용이성을 일정시간동안 반복 측정하게 되면 그 횟수가 증가된다는 선행연구결과와 유사하였다.^[22-23] 반면 조절과 폭주의 교차상호작용에 영향을 받는 양안 조절용이성 검사^[24]인 경우 단안 조절용이성 결과와 비교하여 독서 후에 전체적으로 감소하는 경향을 나타냈었다. 이는 단안 조절용이성 측정 시에는 폭주성 조절이 개입되지 않지만 양안 조절용이성의 경우는 근업으로 인한 지속적인 폭주에 따른 교차상호작용의 결과로 조절이 영향을 받게 되어 독서 후에는 낮아진 것으로 생각할 수 있다. 이러한 결과는 두통이나 흐려보임 등과 같은 안정피로 증상이 있을 경우 낮은 조절용이성 검사값을 보인다는 선행연구의 결과와 일치하였다.^[25-26]

5. 바탕색에 따른 상대조절의 변화

독서 전 실험대상자의 평균 음성상대조절은 $+2.26 \pm 0.61$ D이었으나, 15분간 각각 다른 바탕색의 소설을 읽은 후 음성상대조절은 백색바탕의 경우는 $+2.20 \pm 0.52$ D로 0.06 D의 감소를, 적색바탕은 $+2.07 \pm 0.57$ D로 0.19 D의 감소를, 녹색바탕의 경우는 $+2.25 \pm 0.66$ D로 0.01 D의 감소를, 청색바탕은 $+2.18 \pm 0.60$ D으로 0.08 D의 감소를 나타내었으며 바탕색 간의 음성상대조절의 차이는 유의확률 0.03으로 통계적으로도 유의한 차이가 있었다(Table 9). 또한 독서 전후의 바탕색별 음성상대조절을 비교하여 보면 적색바탕의 소설을 읽고 난 경우에만 통계적으로 유의한 변화가 있었음을 확인할 수 있었다(Table 10).

독서 전 실험대상자의 평균 양성상대조절은 $-2.13 \pm$

Table 10. Statistical analysis for the difference of relative accommodation depending on background color after reading

Background color		Difference of RA (mean±SD)	P-value by paired t-test
NRA (D)	Baseline - White	-0.30 ± 2.11	0.249
	Baseline - Red	0.12 ± 2.10	0.010*
	Baseline - Green	-0.26 ± 2.15	0.952
	Baseline - Blue	-0.54 ± 2.22	0.324
PRA (D)	Baseline - White	0.15 ± 0.62	0.089
	Baseline - Red	-0.06 ± 0.74	0.585
	Baseline - Green	0.17 ± 0.83	0.144
	Baseline - Blue	0.01 ± 0.88	0.908

NRA: negative relative accommodation PRA: positive relative accommodation.

1.11 D이었으나 15분간의 책을 읽은 후 음성상대조절은 백색바탕의 경우는 -2.28 ± 1.27 D로 0.15 D의 변화를, 적색바탕은 -2.07 ± 1.22 D로 0.19 D의 변화를, 녹색바탕의 경우는 -2.30 ± 1.31 D로 0.17 D의 변화를, 청색바탕은 -2.14 ± 1.24 D로 0.01 D의 변화를 나타내었으나 바탕색 간의 양성상대조절의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 9). 독서 전후의 바탕색별 양성상대조절 또한 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 10).

본 연구에서는 음성상대조절 역시 양안 조절용이성과 마찬가지로 독서 후에 감소하는 경향을 나타내었는데 음성상대조절은 양성융합이향능력을 간접측정하는 것으로 조절성 폭주가 감소될 때 폭주상태를 일정하게 유지시킬 수 있는 능력이므로^[18] 과도한 근업으로 인해 폭주능력이 회복이 되지 않아 음성상대조절 값이 낮게 측정된 것으로 생각되었다. 양성상대조절 역시 음성상대조절과 마찬가지로 적색바탕의 책을 읽었을 때에 가장 낮은 수치를 나타내었는데, 이는 피로도의 영향으로 폭주 및 개선능력이 감소된 것으로 생각되었다.

6. 바탕색에 따른 융합력의 변화

독서 전 실험대상자의 원거리 NFV는 11.31 ± 6.18 Δ이

Table 9. Change in relative accommodation depending on the background color

	Baseline (mean±SD)	Background color				P-value by RM-ANOVA
		White (mean±SD)	Red (mean±SD)	Green (mean±SD)	Blue (mea5±SD)	
NRA (D)	2.26 ± 0.61	2.20 ± 0.52	2.07 ± 0.57	2.25 ± 0.66	2.18 ± 0.60	0.025*
PRA (D)	-2.13 ± 1.11	-2.28 ± 1.27	-2.07 ± 1.22	-2.30 ± 1.31	-2.14 ± 1.24	0.180

NRA: negative relative accommodation, PRA: positive relative accommodation

Table 11. Change in vergence depending on the background color

		Baseline (mean±SD)	Background color				P-value by RM-ANOVA
			White (mean±SD)	Red (mean±SD)	Green (mean±SD)	Blue (mean±SD)	
Far distance	NFV (Δ)	11.31±6.18	11.70±4.87	11.80±5.63	11.91±5.31	11.98±6.43	0.485
	PFV (Δ)	10.26±6.40	10.41±5.96	10.54±6.08	10.41±6.20	10.50±6.89	0.943
Near distance	NFV (Δ)	4.46±5.55	5.30±5.35	5.19±5.30	5.41±5.66	4.54±4.87	0.127
	PFV (Δ)	18.09±7.26	17.78±7.63	18.33±7.91	17.72±7.34	18.17±8.07	0.722

NFV: negative fusional vergence, PFV: positive fusional vergence

Table 12. Statistical analysis for difference of vergence depending on the background color after reading

Background color		Difference of vergence (mean±SD)	P-value by paired t-test	
Far distance	NFV (Δ)	Baseline - White	2.89±0.39	0.327
		Baseline - Red	3.86±0.53	0.363
		Baseline - Green	4.07±0.55	0.289
		Baseline - Blue	3.74±0.51	0.196
	PFV (Δ)	Baseline - White	-0.15±2.92	0.710
		Baseline - Red	-0.28±4.25	0.632
		Baseline - Green	-0.15±3.63	0.765
		Baseline - Blue	-0.24±3.73	0.636
Near distance	NFV (Δ)	Baseline - White	-0.83±3.52	0.087
		Baseline - Red	-0.72±3.63	0.149
		Baseline - Green	-0.94±3.84	0.076
		Baseline - Blue	-0.07±3.67	0.882
	PFV (Δ)	Baseline - White	0.31±4.83	0.633
		Baseline - Red	-0.24±5.42	0.745
		Baseline - Green	0.37±5.03	0.590
		Baseline - Blue	-0.07±5.22	0.917

NFV: negative fusional vergence, PFV: positive fusional vergence

였다(Table 11). 15분간 각각 다른 바탕색의 소설을 읽은 후 대상자들의 원거리 NFV는 백색바탕의 경우는 11.70±4.87 Δ로 0.39 Δ의 증가를, 적색바탕색은 11.80±5.63 Δ로 0.48 Δ의 증가를, 녹색바탕의 경우는 11.91±5.31 Δ로 0.59 Δ의 증가를, 청색바탕은 11.98±6.43 Δ로 0.67 Δ의 증가를 나타내었으나 바탕색간의 NFV 차이는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 11). 독서 전후의 바탕색별 NFV의 차이 또한 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 12).

독서 전 실험대상자의 원거리 PFV는 10.26±6.40 Δ이었다. 15분간 각 바탕색의 소설을 읽은 후 원거리 PFV는 백색바탕의 경우는 10.41±5.96 Δ로 0.14 Δ의 증가를, 적색바탕은 10.54±6.08 Δ로 0.27 Δ의 증가를, 녹색바탕의 경우는 10.41±6.20 Δ로 0.15 Δ의 증가를, 청색바탕은

10.50±6.89 Δ로 0.24 Δ의 증가를 나타내었으나 바탕색간의 PFV의 변화는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 11). 독서 전후 바탕색별 PFV의 변화 또한 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 12).

독서 전 실험대상자의 원거리 양성조절성폭주(positive accommodative convergence, PAC)는 9.22±5.12 Δ이었으나 15분간 각 바탕색의 소설을 읽은 후 원거리 PAC는 백색바탕의 경우는 9.24±5.72 Δ로 0.02 Δ의 증가를, 적색바탕은 10.43±6.16 Δ로 1.21 Δ의 증가를, 녹색바탕의 경우는 9.89±5.98 Δ로 0.66 Δ의 증가를, 청색바탕은 9.32±5.43 Δ로 0.09 Δ의 증가를 나타내었으나(Fig. 1) 바탕색간의 유의확률은 p=0.070으로 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

독서 전 실험대상자의 근거리 음성융합성폭주(negative fusional vergence, NFV)는 $4.46 \pm 5.55 \Delta$ 이었으나 15분간 각 바탕색의 소설을 읽은 후 근거리 NFV는 백색바탕의 경우는 $5.30 \pm 5.35 \Delta$ 로 0.83Δ 의 증가를, 적색바탕은 $5.19 \pm 5.30 \Delta$ 로 0.72Δ 의 증가를, 녹색바탕의 경우는 $5.41 \pm 5.66 \Delta$ 로 0.94Δ 의 감소, 청색바탕은 $4.54 \pm 4.87 \Delta$ 로 0.07Δ 증가를 나타내었으나 각 바탕색간의 근거리 NFV의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 11). 또한 독서 전후의 바탕색별 근거리 NFV의 변화도 통계적으로 유효하지 않았다(Table 12).

독서 전 실험대상자의 근거리 음성조절성폭주(negative accommodative convergence, NAC)는 $6.89 \pm 4.32 \Delta$ 이었다. 각 바탕색의 소설을 15분간 읽은 후 근거리 NAC는 백색바탕은 $6.04 \pm 3.86 \Delta$ 로 0.85Δ 의 감소를, 적색바탕은 $5.70 \pm 3.02 \Delta$ 로 1.18Δ 의 감소를, 녹색바탕은 $6.00 \pm 3.27 \Delta$ 로 0.89Δ 의 감소를, 청색바탕은 $6.04 \pm 3.89 \Delta$ 으로 0.85Δ 감소를 나타내었지만 유의확률 p값이 0.070으로 바탕색 간의 NAC의 차이는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Fig. 1).

독서 전 실험대상자의 평균 근거리 PFV는 $18.09 \pm 7.26 \Delta$ 이었으나 15분간 각 바탕색의 소설을 읽은 후에는 백색바탕과 녹색바탕의 경우는 각각 $17.78 \pm 7.63 \Delta$ 및 $17.72 \pm 7.34 \Delta$ 로 나타나 0.31Δ 및 0.37Δ 의 감소를 보였다. 반면 적색바탕과 청색바탕의 경우는 각각 $18.33 \pm 7.91 \Delta$ 및 $18.17 \pm 8.07 \Delta$ 으로 나타나 0.24Δ 및 0.07Δ 증가를 보였으나 바탕색간의 근거리 PFV의 차이는 통계적인 유의성은 없었다(Table 11). 독서 전후의 바탕색별 근거리 PFV 차이 역시 통계적으로 유의하지 않았다(Table 12).

독서 전 실험대상자의 평균 근거리 PAC는 $4.89 \pm 3.26 \Delta$ 이었다. 각 바탕색의 소설을 15분간 읽은 후 근거리 PAC는 백색바탕의 경우는 $5.16 \pm 3.56 \Delta$ 로 0.27Δ 의 증가를, 적색바탕은 $5.27 \pm 3.87 \Delta$ 로 0.38Δ 의 증가를, 녹색바탕은 $5.03 \pm 2.84 \Delta$ 로 0.13Δ 의 증가를 보였던 반면, 청색바탕의 경우는 $4.59 \pm 3.80 \Delta$ 로 0.29Δ 의 감소를 나타내었으나 각 바탕색 간 근거리 PAC 변화의 유의확률은 $p=0.780$ 로 통계적인 유의성은 없었다(Fig. 1).

융합력의 경우는 원거리 BI의 분리점과 회복점을 제외하고는 근거리 작업 전의 검사값과 비교하여 전체적인 변화가 없었으며, 양성융합버전스 및 음성융합버전스 값에도 서로 간의 유의한 차이는 없었다. 근업 시 근거리에 있는 사물을 단일선명시하려면 조절에 따른 조절성폭주의 부족분 혹은 과다분을 융합이향운동으로 흐려지지 않도록 변화하여 주어야 양안 중심외주시 상태를 유지할 수 있다. 융합버전스 값은 사위와 관련이 있으며, 이들 값이 일정하다는 것은 조절을 일정하게 하였을 때 양안시 가능 범위가 일정하였다는 것을 의미한다. 원거리 주시 시 적색바탕

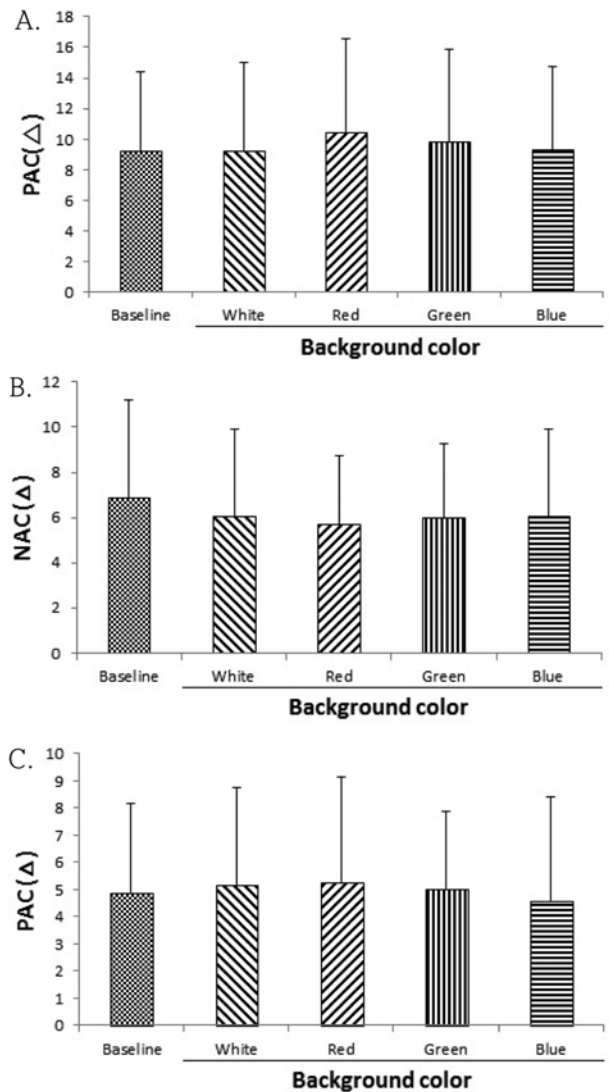


Fig. 1. Change in accommodative convergence depending on the background color. A. Far PAC, B. Near NAC, C. Near PAC.

의 조절성 폭주력의 범위가 다른 바탕색의 글을 읽고 난 후 보다 커졌지만 근거리 주시 시에는 오히려 작은 값을 나타내었다. 이는 일정한 크기 이상의 폭주가 요구될 때 피로도에 의해 같은 요구량을 채우지 못하는 것이므로 적색배경의 경우 더 많은 조절과 폭주를 요구하게 되지만 지속적인 조절과 폭주로 인한 외안근의 피로로 강한자극에는 반응하지 못하였던 것으로 생각되었다.

AC/A비로 조절이 증가되거나 이완될 때의 조절성 폭주 변화량을 알 수 있는데 선명한 글자를 유지하기 위해서는 거리에 따라 조절성 폭주량이 변해야 한다. 동일한 거리라 하더라도 색수차에 따라 조절이 더 필요하게 되면 조절성 폭주가 증가하게 되므로 조절력의 한계치에서 복시가 발생되지 않으려면 PFV의 움직임으로 NAC를 보정하여야 양안단일시가 유지될 수 있다. 따라서 본 연구결과에서 각

바탕색의 소설을 읽은 후 낮아진 NRA값에 대응되기 위하여 PAC의 값이 변화되었던 것으로 생각해 볼 수 있었다.

결 론

눈으로 들어오는 빛 자극은 가시광선 영역의 파장으로, 파장에 따라 우리 눈은 반응하여 일정한 피드백 루프(feedback loop)를 통해 대응하게 되는데 이는 조절시스템과 폭주시스템의 교차연결을 통한 상호작용으로 영향을 주고 받는다. 본 연구결과를 통하여 동일한 거리에서 근거리 작업을 하더라도 빛의 파장에 따라 조절뿐만 아니라 폭주의 변화 또한 있었으며 이에 따라 피로도 또한 달라질 수 있으므로 근업 시 많이 사용하는 색의 파장에 따라 작업환경이나 시간이 달라져야 할 필요가 있음을 제시할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Flitcroft DI. A neural and computational model for the chromatic control of accommodation. *Vis Neurosci.* 1990;5(6):547-555.
- [2] Schor CM, Kotulak JC. Dynamic interactions between accommodation and convergence are velocity sensitive. *Vision Res.* 1986;26(6):927-942.
- [3] Chase C, Dougherty RF, Ray N, Fowler S, Stein J. L/M speed-matching ratio predicts reading in children. *Optom Vis Sci.* 2007;84(3):229-236.
- [4] Hayes JR, Sheedy JE, Stelmack JA, Heaney CA. Computer use, symptoms, and quality of life. *Optom Vis Sci.* 2007;84(8):738-744.
- [5] Borsting E, Chase C, Tosha C, Ridder WH 3rd. Longitudinal study of visual discomfort symptoms in college students. *Optom Vis Sci.* 2008;85(10):992-998.
- [6] Schor CM, Kotulak JC. Dynamic interactions between accommodation and convergence are velocity sensitive. *Vision Res.* 1986;26(6):927-942.
- [7] Drew SA, Borsting E, Stark LR, Chase C. Chromatic aberration, accommodation, and color preference in asthenopia. *Optom Vis Sci.* 2012;89(7):E1059-E1067.
- [8] Evans BJ, Patel R, Wilkins AJ. Optometric function in visually sensitive migraine before and after treatment with tinted spectacles. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2002;22(2): 130-142.
- [9] Lightstone A, Lightstone T, Wilkins A. Both coloured overlays and coloured lenses can improve reading fluency, but their optimal chromaticities differ. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1999;19(4):279-285.
- [10] Wilkins A. Coloured overlays and their effects on reading speed: a review. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2002;22(5):448-454.
- [11] Northway N. Predicting the continued use of overlays in school children-a comparison of the developmental eye movement test and the rate of reading test. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2003;23(5):457-464.
- [12] Ray NJ, Fowler S, Stein JF. Yellow filters can improve macular function: motion sensitivity, convergence, accommodation, and reading. *Ann NY Acad Sci* 2005;1039(1):283-293.
- [13] Singleton C, Trotter S. Visual stress in adults with and without dyslexia. *J Res Read.* 2005;28(3):365-378.
- [14] An OH. *Living color design*, 1st Ed. Seoul: Hyungseul Publishing, 1997;45-47.
- [15] Schor CM, Kotulak JC. Dynamic interactions between accommodation and convergence are velocity sensitive. *Vision Res.* 1986;26(6):927-942.
- [16] Benjamin WJ. *Borish's clinical refraction*, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth-Heinemann. 2006;395-913.
- [17] Scheiman M, Wick B. *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*, 4th Ed. China: Lippincott Williams & Wilkins, 2014;9-11.
- [18] Scheiman M, Wick B. *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*, 4th Ed. China: Lippincott Williams & Wilkins, 2014;58-60.
- [19] Kozulin P, Ames SL, McBrien NA. Effects of a head-mounted display on the oculomotor system of children. *Optom Vis Sci.* 2009;86(7):845-856.
- [20] Owens DA, Alfred, Wolf-Kelly K. Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1987;28(4):743-749.
- [21] Gratton I, Piccoli B, Zaniboni A, Meroni M, Grieco A. Change in visual function and viewing distance during work with VDTs. *Ergonomics.* 1990;33(12):1433-1441.
- [22] Borsting E, Chase C, Tosha C, Ridder III WH. Longitudinal study of visual discomfort symptoms in college students. *Optom Vis Sci.* 2008;85(10):992-998.
- [23] Horwood A, Toor S. Clinical test responses to different orthoptic exercise regimes in typical young adults. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2014;34(2):250-262.
- [24] Robinson GL, Conway RN. Irlen lenses and adults: a small scale study of reading speed, accuracy, comprehension and self-image. *Aust J Learn Disabil.* 2000;5(1):4-13.
- [25] Cacho Martinez P, Garca Muoz A, Ruiz-Cantero MT. Treatment of accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions: A systematic review. *Optometry.* 2009;80(12):702-716.
- [26] Ciuffreda KJ. The scientific basis for and efficacy of optometric vision therapy in nonstrabismic accommodative and vergence disorders. *Optometry.* 2002;73(12):735-762.

Change of Binocular Vision Induced by Longitudinal Chromatic Aberration during Near Work

Se-il Kim, Mijung Park, and So Ra Kim*

Dep. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received April 29, 2015; Revised May 25, 2015; Accepted May 27, 2015)

Purpose: The current study was performed to compare the difference in binocular visual function depending on variable background colors at near work. **Method:** Fifty four adults (18 males, 34 females) who consented to the present study and had no ocular disease, ocular surgery history, strabismus and amblyopia with normal binocular vision were participated into this study. The subjects were asked to read the novels with black letter printed on white, red, green and blue background for 15 min. Then, their heterophoria, AC/A ratio, near point of convergence, accommodation facility, relative accommodation and vergence were measured before and after reading. The difference of measurements were compared. **Result:** Overall heterophoria was tended to decrease with regardless of background color. AC/A ratio showed a tendency of increase after reading the novels with all backgrounds except white background. Near point of convergence was significantly increased compared to before reading at all background color. Accommodative facility of dominant and non-dominant eyes were also significantly increased after reading however, binocular accommodative facility showed a tendency of decrease. Negative relative accommodation also decreased at all background colors however, the change of positive relative accommodation was not significantly different. In case of vergence, there was significant difference in break point of far BO and recovery point of far BI by the wavelength of background color. **Conclusions:** From the results, it was known there is convergence change depending on the wavelength of light even though same amount of accommodation and convergence is required when doing near work for certain period. Thus, it can be suggested that the adjustment of the near working environment which perception of various color was required, should be conducted according to the main wavelength.

Key words: Longitudinal chromatic aberration, Binocular vision, Convergence, Accommodation, Asthenopia