



The Comparison of Accommodative Response and Accommodative Lag Among Different Luminance of Near Visual Media

Na Ri Ha¹, Su A Jung², and Hyun Jung Kim^{1,*}

¹Dept. of Optometry, Konyang University, Daejeon 35365, Korea

²Dept. of Optometry, Wonkwang Health Science University, Iksan 54538, Korea

(Received June 4, 2018; Revised July 19, 2018; Accepted October 15, 2018)

Purpose: This study was conducted to compare and analyze the effect of near visual media luminance on accommodative response (AR) and accommodative lag (AL) between emmetropia and myopia, and found out the near visual media to be caused burdensome on eyes in terms of AR and AL. **Methods:** Forty adult men and women (40 eyes) with ages averaging 22.57 ± 2.07 years, who were not accommodative function disorder. 11 adults were emmetropes (average spheric equivalent power -0.34 ± 0.22 D) and 29 adults were myopes (average spheric equivalent power -3.86 ± 1.69 D). AR was measured and compared by using both eyes open view auto refractometer in the case looking at the near visual media (near standard target, print paper, newspaper, magazine, smartphone, monitor). **Results:** AR was lower and AL was higher in the case looking at the luminous visual media (smartphone, monitor) than the non-luminous visual media (near standard target, print paper, newspaper, magazine). AR ($F=2.622$, $P=0.033$) and AL ($F=2.593$, $P=0.034$) among different luminance of near visual media in emmetropes wear not statistically significant, However, AR was the lowest as 1.32 ± 0.26 D ($F=5.924$, $P=0.000$), AL was the highest as 0.90 ± 0.24 D ($F=6.007$, $P=0.000$) in the case looking at the monitor with the highest luminance and the widest screen size in myopes. **Conclusions:** When the myopes looking at the luminous visual media which includes high luminance and wide screen size is considered to be more burdensome on eyes than the emmetropes looking at the luminous visual media in terms of AR and AL.

Key words: Accommodative response, Accommodative lag, Near visual media, Luminance, Pupil size

서 론

현대사회에서 근거리 작업 시 사용하는 근거리 시각매체의 유형은 종이처럼 빛을 발하지 않는 비발광체 시각매체와 모니터처럼 빛을 발하는 발광체 시각매체로 분류할 수 있으며, 발광체 시각매체의 종류는 IT의 발달로 인하여 다양해져 왔다. 그리고 9,425명을 대상으로 시각매체의 유형에 따른 하루 평균 사용시간을 조사한 정보통신정책연구원^[1]의 연구결과에 따르면 대표적인 비발광체인 종이매체의 경우 평균 37분, 발광체인 무선전화(휴대폰, PDA폰, 스마트폰)와 모니터의 경우 각각 평균 103분, 64분으로 발광체 시각매체를 사용한 근거리 작업시간이 비발광체 시각매체를 사용한 근거리 작업시간보다 더욱 길게 나타났다.^[1] 이와 같은 발광체 시각매체의 사용은 장소와 시간에 구애 받지 않고 업무뿐만 아니라 인터넷 검색, 메신저 및 SNS,

게임 등의 다양한 근거리 작업을 가능하도록 하여 업무와 학업의 효율성을 높여주었다. 그러나 발광체 시각매체를 사용한 근거리 작업시간이 증가하고 발광체 시각매체를 접하는 연령층이 낮아지게 됨으로써 이로 인한 굴절이상^[2] 과 안정피로^[3] 등이 문제시되고 있다. 그리고 장시간의 근거리 작업은 조절(accommodation)과 축동(miosis), 폭주(convergence)가 동시에 일어나는 협동안운동(synkinetic eye movement)을 끊임없이 요구하며 조절기능 감소,^[4] 조절과 폭주의 불균형^[5] 등으로 안정피로를 유발하여 눈에 지속적인 부담을 야기하게 된다. 이러한 조절은 굴절이상의 영향을 받으며, 조절반응(accommodative response)은 근시안(myope)이 가장 낮고 정시안(emmetrope), 원시안(hyperope)의 순서로 높게 나타난다.^[6]

현재까지 보고된 근거리 시각매체와 조절에 관한 선행 연구를 살펴보면, 스마트폰을 사용한 근거리 작업 전후의

*Corresponding author: Hyun Jung Kim, TEL: +82-42-600-8427, E-mail: kimhj@konyang.ac.kr

조절기능을 비교 분석하거나,^[7] 종이책과 태블릿 PC를 사용한 근거리 작업 전후의 조절래그를 비교 분석한 연구 등이 보고되었다.^[8] 이러한 선행연구들은 발광체 시각매체를 사용한 근거리 작업 전후의 조절기능을 비교한 연구로서 근거리 작업 시 발광체 시각매체가 조절에 미치는 영향을 파악하는데 의미가 있으나 비발광체 시각매체와 발광체 시각매체의 가장 큰 차이인 휘도가 조절반응에 미친 영향을 살펴본 연구는 미비한 실정이다. 그리고 근거리 시각매체에 따른 조절반응을 비교하여 분석할 때 굴절이상 안 역시 조절기능에 영향을 미치는 요소이지만 이를 고려한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 근거리 시각매체의 휘도가 정시안과 근시안에서 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 비교하고 분석하여 조절반응과 조절래그의 관점에서 눈에 부담을 더 야기하는 근거리 시각매체를 알아본 후, 눈에 부담을 더 야기하는 근거리 시각매체를 사용한 근거리 작업 시 이를 경감시킬 수 있는 가이드 라인을 제안하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

대상자는 조절에 영향을 끼칠 수 있는 자를 제외하고자 노안 이전인 20~30대 성인남녀 중에서 특별한 안질환과 굴절교정 수술 경험이 없는 자로, 양안 구면굴절력 차이 1.00 D 미만, 난시도 -2.00 DC 미만, 교정시력 1.0 이상, 조절기능에 이상이 없는 40명(40안, 평균나이 22.57±2.07 세)을 선정하였다. 선정된 대상자들 중에서 정시안은 등가 구면굴절력(spherical equivalent diopter, SED)이 $0.00 \leq SED < -0.75$ 에 해당하는 자로 11명이었으며, 이들의 평균 등가구면굴절력은 -0.34 ± 0.22 D이었다. 그리고 근시안은 $-0.75 \leq SED \leq -8.75$ 에 해당하는 자로 29명이었으며, 이들의 평균 등가구면굴절력은 -3.86 ± 1.69 D이었다. 본 연구에서 수행한 검사과정과 규약은 건양대학교 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB, 과제번호: 2017-008)의 승인을 받아 실시하였다.

2. 방법

1) 근거리 시각매체의 종류

본 연구에서 사용한 근거리 시각매체는 총 5가지로서, 프린트용지(print paper, PP), 신문용지(newspaper, NP), 잡지용지(magazine, Ma), 스마트폰(smartphone, SP), 모니터(monitor, Mo)이었다. 근거리 시각매체의 종류를 세부적으로 살펴보면, 비광택 재질의 비발광체 시각매체 중에서 프린트용지로 가장 흔하게 사용하는 A4용지(한솔 e-copy, 75 g/m², 한솔제지주식회사), 비광택 재질의 비발광체 시

각매체 중에서 백색보다 대비가 떨어지는 회색 바탕인 신문용지(갱지), 광택 재질의 비발광체 시각매체인 잡지용지(아트지, 300 g/m², EJONGE), 화면크기가 작은 유형의 발광체 시각매체인 스마트폰(I-Phone 4 A1332, Apple, United States of America, 화면크기 5×7 cm, 178.31±5.79 cd/m²), 화면크기가 큰 유형의 발광체 시각매체인 데스크탑 모니터(HP L1710 LCD, Hewlett-Packard Development Company, United States of America, 화면 크기 43×34 cm, 200.65±6.27 cd/m²)를 사용하였으며, 검사 시 스마트폰과 모니터는 최대 밝기 상태로 설정하였다.

그리고 실험에 사용한 근거리 기준시표(near standard target, NST)는 근거리 양안시기능과 관련한 검사에서 기준으로 사용하기에 본 연구에서 사용한 근거리 시각매체의 글꼴과 행간 등은 근거리 시시력표(LOT NO.88005E, Topcon, Japan)를 기준으로 참고하여 제작하였다.

2) 근거리 시각매체 시표의 제작방법

근거리 시각매체 시표는 ‘한컴오피스 한글 2010 문서(Hancom office Hanword 2010)’를 사용하여 제작하였다. 시표의 글자크기는 ANSI에서^[9] 제시한 독서 시 바람직한 글자크기의 시각인 20~22분(검사거리 40 cm)에 근접한 글자크기 8 pt(2.20 mm)였으며, 시표의 글꼴은 근거리 기준시표에서 20/30 행(3.3 pt, 0.87 mm)에 위치한 글꼴을 적용하였고 시표의 글자는 가로와 세로 길이가 같도록 장평을 조정된 후 흰색 바탕에 검은색 ‘HY견고딕’의 글자체로 제시하였다. 이처럼 한글파일로 제작한 시표는 발광체 시각매체에서 선정한 글자크기를 유지하기 위하여, 스마트폰의 경우 한글파일을 ‘PDF(portable document format)’ 파일로 변환한 후 선정한 글자크기와 동일하도록 문서를 확대하였으며, 해당 글자크기의 길이를 확인하고 스마트폰의 캡처기능을 사용하여 그림파일로 저장한 후 조절반응 측정 시 사용하였다. 다음으로 모니터의 경우 ‘파워포인트(Microsoft office powerpoint 2007)’의 ‘슬라이드 쇼’기능을 이용하여 글자를 제시하였으며, 제시된 글자크기가 선정한 글자크기와 동일하도록 글자크기를 재조정하여 파일을 저장한 후 조절반응 측정 시 사용하였다.

3) 휘도 측정방법

근거리 시각매체의 휘도는 본 연구의 실험환경과 동일하게 형광등 조명하에서 휘도계(Mavo-spot2, Gossen, Germany)로부터 1 m 떨어진 거리에 근거리 시각매체를 위치시키고 휘도계의 초점이 선명하도록 조정된 후 근거리 시각매체의 면적을 9분할하여 각각의 영역을 측정하였으며, 측정된 9회의 휘도는 평균처리 하였다.

4) 조절반응 측정방법

근거리 시각매체 주시 시 조절반응은 동일한 장소에 위치한 양안 개방형 자동안굴절력계(N-Vision K 5001, Shin-Nippon, Japan)를 사용하여 측정하였다. 우선 대상자들의 PD(pupillary distance)에 준하는 시험테에 원용 완전교정 시뮬렌즈를 장입한 후, 6 m에 제시한 Maltese cross 시표를 우안으로 주시하도록 하였다. 그 후 양안 개방형 자동안굴절력계를 이용하여 0.12 D 단위로 5회씩 측정하였으며, 5회씩 측정한 데이터의 평균 등가구면굴절력이 ±0.25 D 이내인 경우를 완전교정상태로 판단하였다. 그리고 근거리 시각매체는 양안 개방형 자동안굴절력계의 근거리 주시막대에서 40 cm 위치에 90°의 주시각도를 유지하도록 위치하였으며, 각각의 근거리 시각매체를 무작위로 제시하였다. 그 후 지속적인 조절을 유지하기 위하여 대상자들에게 1회 측정 시 마다 단일 문자씩 선명하게 주시하도록 요구하였다. 원용 완전교정을 위하여 장입한 시뮬렌즈의 굴절력과 정점간거리 등을 반영한 실제 조절자극의 유효굴절력(이하 조절자극)과 실제 조절반응의 유효굴절력(이하 조절반응)을 구하기 위하여 조절래그의 정량적 평가 시 유용한 Muttii 등이^[10] 제시한 식을 활용하였다. 이 때 본 연구에 참여한 대상자들이 한국인임을 고려하여 정점간거리를 12 mm로 변경하여 식 (1)과 식 (2)에 적용하였다. 다음 식에서 RX_{cornea} 는 각막 면에서의 굴절이상도, $Lens$ 는 장입한 시뮬렌즈굴절력, DTE 는 시표의 거리, $RawAR_{cornea}$ 는 자동안굴절력계로 측정한 굴절이상도를 의미한다. 그리고 조절래그 유효굴절력(이하 조절래그)은 조절자극과 조절반응의 차이로 계산하였다(식 (3)).

$$Accommodative\ stimulus\ (D) = \frac{\frac{1}{\frac{1}{0.012 - DTE} - 0.012} - RX_{cornea}}{\frac{1}{0.012 - DTE} + Lens} \quad (1)$$

$$Accommodative\ response\ (D) = \frac{\frac{1}{\frac{1}{RawAR_{cornea}} - 0.012} - RX_{cornea}}{\frac{1}{RawAR_{cornea}} + 0.012} + Lens \quad (2)$$

$$Accommodative\ lag\ (D) = Accommodative\ stimulus - Accommodative\ response \quad (3)$$

5) 동공크기 측정방법

근거리 시각매체 주시 시 동공크기가 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 조절반응 측정 시 양안 개방형 자동안굴절력계의 외부 모니터에서 확대되어 보이는 동공크기를 측정하였다. 양안 개방형 자동안굴절력계 외부 모니터의 확대율을 구하기 위하여 대상자의 눈

위치에 PD자를 위치시킨 후 1 cm가 10.7 cm로 확대되어 보이는 것을 확인하였다. 그 후 외부 모니터의 확대율인 10.7을 반영한 눈금자를 제작하였으며, 제작한 눈금자를 외부 모니터에 부착한 후 동공의 수평 길이를 측정하였다. 이로부터 실제 동공크기 $Y(mm)$ 는 측정한 동공크기 $X(mm)$ 를 확대율 10.7로 나누어 계산하였다(식 (4)).

$$Y = \frac{X}{10.7} \quad (4)$$

6) 통계처리

본 연구는 동일한 근거리 시각매체 주시 시 근시굴절이상 유무별 동공크기, 조절반응과 조절래그 비교를 위하여 SPSS(20.0 ver.)의 독립표본 t-test를 사용하였다. 그리고 근거리 시각매체의 휘도에 따른 동공크기, 조절반응과 조절래그의 비교를 위하여 일원배치분산분석과 사후검정 Scheffe를 통하여 분석하였다. 그리고 이들의 결과는 신뢰구간 95%로서 P값이 0.05 미만이면 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

결과 및 고찰

1. 근거리 시각매체 주시 시 휘도와 조절반응 및 조절래그 비교

근시굴절이상 유무별 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 근거리 시각매체의 휘도에 따른 조절반응과 조절래그를 비교 분석하였다. 그 결과 근거리 시각매체의 휘도는 발광체 시각매체가 비발광체 시각매체보다 높았다. 발광체 시각매체의 휘도는 스마트폰 178.31±5.79 cd/m², 모니터 200.65±6.27 cd/m²이었으며, 비발광체 시각매체의 휘도는 근거리 기준 시표 48.88±0.18 cd/m², 프린트용지 43.94±0.56 cd/m², 신문용지 30.52±1.60 cd/m², 잡지용지 49.26±3.91 cd/m²이었다(Table 1). 그리고 근거리 시각매체 주시 시 조절반응은 발광체 시각매체를 주시한 경우가 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 낮았다. 발광체 시각매체인 스마트폰을 주시 시 조절반응은 정시안 1.60±0.30 D, 근시안 1.59±0.27 D, 모니터의 경우 정시안 1.52±0.28 D, 근시안 1.32±0.26 D이었으며, 비발광체 시각매체인 근거리 기준시표를 주시 시 조절반응은 정시안 1.88±0.27 D, 근시안 1.65±0.30 D, 프린트용지의 경우 정시안 1.83±0.28 D, 근시안 1.61±0.28 D, 신문용지의 경우 정시안 1.79±0.30 D, 근시안 1.63±0.33 D, 잡지용지의 경우 정시안 1.80±0.31 D, 근시안 1.67±0.28 D이었다.

근거리 시각매체 주시 시 조절래그는 발광체 시각매체를 주시한 경우가 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 높았다. 발광체 시각매체인 스마트폰을 주시 시 조절래그

Table 1. The comparison of pupil size and accommodation (accommodative response and accommodative lag) between the luminance of near visual media (N: Emmetropes 11, Myopes 29)

Target	Luminance (cd/m ²)	Pupil size (mm)			Accommodative response (D)			Accommodative lag (D)		
		Emmetropes	Myopes	P-value ¹⁾	Emmetropes	Myopes	P-value ¹⁾	Emmetropes	Myopes	P-value ¹⁾
NST	48.88±0.18	4.91±0.63 ^a	4.68±0.58 ^a	0.430	1.88±0.27 ^a	1.65±0.30 ^a	0.034*	0.53±0.27 ^a	0.57±0.29 ^a	0.679
PP	43.94±0.56	4.97±0.56 ^a	4.70±0.54 ^a	0.312	1.83±0.28 ^a	1.61±0.28 ^a	0.029*	0.57±0.29 ^a	0.61±0.28 ^a	0.690
NP	30.52±1.60	4.92±0.50 ^a	4.69±0.55 ^a	0.371	1.79±0.30 ^a	1.63±0.33 ^a	0.174	0.62±0.30 ^a	0.59±0.33 ^a	0.831
Ma	49.26±3.91	4.91±0.52 ^a	4.66±0.55 ^a	0.350	1.80±0.31 ^a	1.67±0.28 ^a	0.212	0.61±0.32 ^a	0.56±0.29 ^a	0.616
SP	178.31±5.79	4.38±0.44 ^a	4.26±0.64 ^{a,b}	0.689	1.60±0.30 ^a	1.59±0.27 ^a	0.952	0.81±0.30 ^a	0.63±0.27 ^a	0.076
Mo	200.65±6.27	3.96±0.45 ^a	3.74±0.59 ^b	0.432	1.52±0.28 ^a	1.32±0.26 ^b	0.042*	0.89±0.28 ^a	0.90±0.24 ^b	0.855
F	-	3.797	8.209	-	2.622	5.924	-	2.593	6.007	-
P-value ²⁾	-	0.009	0.000	-	0.033	0.000	-	0.034	0.000	-

NST: near standard target, PP: print paper, NP: newspaper, Ma: magazine, SP: smartphone, Mo: monitor, P-value¹⁾: the comparison of pupil size or accommodation between emmetropes and myopes by independent samples t-test, *: P-value¹⁾<0.050, P-value²⁾: the comparison of pupil size or accommodation between near visual media by ANOVA, ^{a),b),c)}: post-hoc analysis with Scheffe's

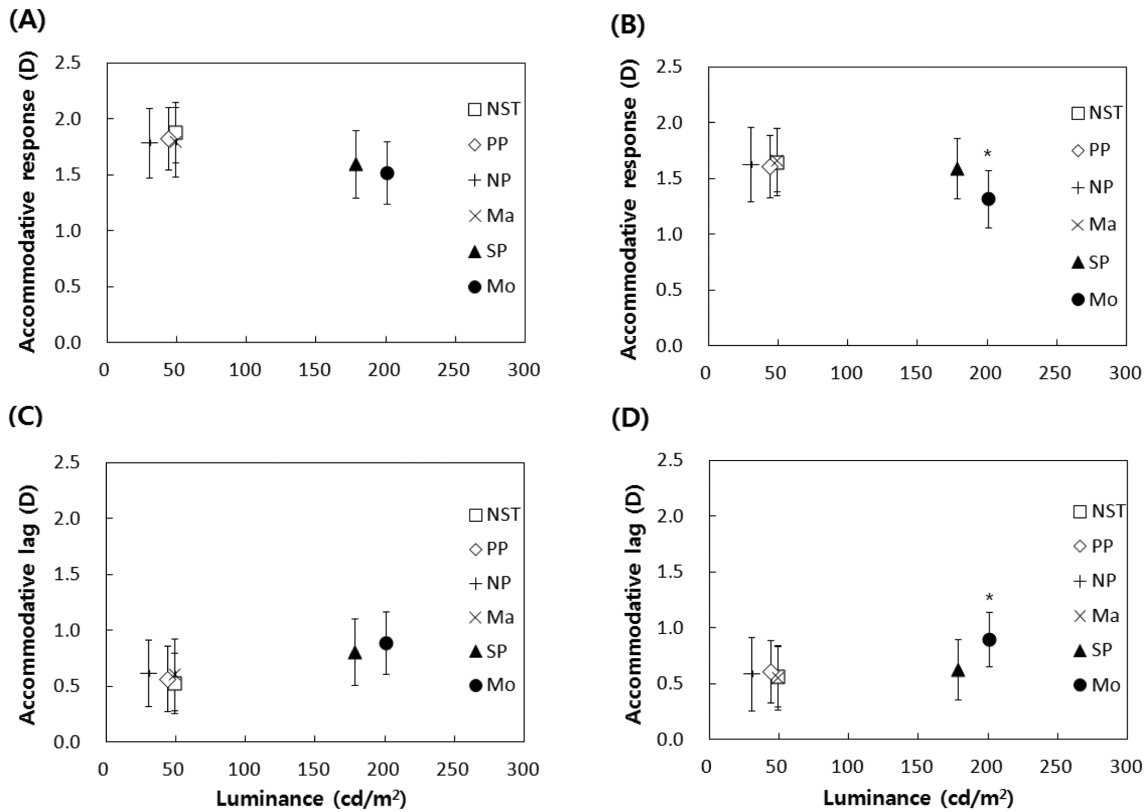


Fig. 1. The comparison of accommodative response and accommodative lag between the luminance of near visual media. The comparison of luminance and accommodative response for (A) emmetropes, (B) myopes. The comparison of luminance and accommodative lag for (C) emmetropes, (D) myopes. '*' indicate the result of post-hoc analysis with Scheffe's between accommodative response or accommodative lag.

NST: near standard target, PP: print paper, NP: newspaper, Ma: magazine, SP: smartphone, Mo: monitor.

는 정시안 0.81±0.30 D, 근시안 0.63±0.27 D, 모니터의 경우 정시안 0.89±0.28 D, 근시안 0.90±0.24 D이었고, 비발광체 시각매체인 근거리 기준시표를 주시 시 조절래그는 정시안 0.53±0.27 D, 근시안 0.57±0.29 D, 프린트용지의

경우 정시안 0.57±0.29 D, 근시안 0.61±0.28 D, 신문용지의 경우 정시안 0.62±0.30 D, 근시안 0.59±0.33 D, 잡지용지의 경우 정시안 0.61±0.32 D, 근시안 0.56±0.29 D이었다.

다음으로 근거리 시각매체 주시 시 휘도와 조절반응(A:

정시안, B: 근시안) 및 조절래그(C: 정시안, D: 근시안)를 비교한 그래프는 Fig. 1에 나타내었다. 여기서 x 축에 나타낸 휘도의 평균은 각각의 표식으로 표기하였으며, y 축에 나타낸 조절반응과 조절래그의 평균과 표준편차는 각각의 표식과 세로방향의 오차막대로 표기하였다. 그 결과 비발광체 시각매체의 휘도는 형광등조명으로부터 방출된 빛이 비발광체 시각매체에 반사되어 측정된 휘도로서 직접 빛을 발하는 발광체 시각매체보다 휘도가 낮았다. 그리고 정시안에서 근거리 시각매체의 휘도에 따른 조절반응($F=2.622$, $P=0.033$)과 조절래그($F=2.593$, $P=0.034$)는 차이를 보이지 않았으나, 근시안에서 가장 휘도가 높은 모니터를 주시한 경우 측정된 조절반응과 조절래그는 비발광체 시각매체와 스마트폰을 주시한 경우보다 통계적으로 유의하게 조절반응($F=5.924$, $P=0.000$)은 낮았고 조절래그($F=6.007$, $P=0.000$)는 높았다.

이상의 결과를 정리하면, 조절반응과 조절래그는 근시굴절 이상의 유무와 관계없이 휘도가 높은 발광체 시각매체를 주시한 경우에서 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 낮은 조절반응과 높은 조절래그를 보였다. 이와 관련하여 휘도가 조절과 해상시력(visual resolution)에 미치는 영향에 관한 Johnson 등의^[11] 연구에서는 동공크기를 일정하게 유지시킨 후 휘도 51.42 cd/m², 5.14 cd/m², 0.51 cd/m², 0.051 cd/m²에서 조절자극량을 0.00 D부터 3.00 D까지 변화시키고 조절반응과 해상시력을 측정하였다. 그 결과 동일한 근거리 조절자극 시 휘도가 낮을수록 조절반응은 낮았으며, 휘도가 가장 낮은 0.051 cd/m²에서 측정된 조절반응은 높은 휘도에서 측정된 조절반응보다 가장 낮게 측정되었다. 이는 조절 시 휘도가 감소할수록 조절자극에 대한 조절반응의 자극효과가 적기 때문으로 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 휘도가 높을수록 조절반응이 낮았다. 이러한 차이는 본 연구의 경우 일상생활에서 근거리 시각매체를 사용한 근거리 작업 시 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 알아보기 위하여 동공크기를 일정하게 제한하지 않았으며, 본 연구에서 사용한 가장 낮은 휘도는 30.52±1.60 cd/m²로 선행연구에서 조절반응의 차이가 나타난 수준의 휘도가 아니기 때문으로 사료된다. 만약 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 직접적인 영향을 미쳤다면 Johnson 등의^[11] 연구결과와 유사하게 휘도가 높은 발광체 시각매체 주시 시 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 조절반응은 높고 조절래그는 낮았을 것이다. 그러나 본 연구의 결과, 발광체 시각매체 주시 시 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 조절반응은 낮고 조절래그는 높았다.

따라서 일상생활에서 사용하는 다양한 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 직접적으로 미친 영향

은 미약한 것으로 사료된다.

2. 근거리 시각매체 주시 시 동공크기와 조절반응 및 조절래그 비교

근거리 시각매체의 휘도는 눈에 입사하는 광량에 영향을 미치며, 눈에 입사한 광량을 조절하기 위하여 홍채는 동공크기를 변화시킨다. 이처럼 근거리 시각매체 주시 시 근거리 시각매체 휘도의 영향을 받은 동공크기가 근시굴절 이상 유무별 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 근거리 시각매체 주시 시 동공크기와 조절반응 및 조절래그를 비교 분석하였다. 그 결과 근거리 시각매체 주시 시 동공크기는 발광체 시각매체를 주시한 경우가 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 작았다. 발광체 시각매체인 스마트폰을 주시 시 동공크기는 정시안 4.38±0.44 mm, 근시안 4.26±0.64 mm, 모니터의 경우 정시안 3.96±0.45 mm, 근시안 3.74±0.59 mm이었고, 비발광체 시각매체인 근거리 기준시표를 주시 시 동공크기는 정시안 4.91±0.63 mm, 근시안 4.68±0.58 mm, 프린트용지의 경우 정시안 4.97±0.56 mm, 근시안 4.70±0.54 mm, 신문용지의 경우 정시안 4.92±0.50 mm, 근시안 4.69±0.55 mm, 잡지용지의 경우 정시안 4.91±0.52 mm, 근시안 4.66±0.55 mm이었다 (Table 1).

그리고 동일한 근거리 시각매체 주시 시 근시굴절 이상 유무별 동공크기와 조절반응 및 조절래그의 차이를 살펴본 결과, 동공크기와 조절래그는 동일한 근거리 시각매체 주시 시 정시안과 근시안에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며($P>0.050$), 조절반응은 정시안과 근시안에서 신문용지, 잡지용지, 스마트폰 주시 시 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나($P>0.050$) 근거리 기준시표, 프린트용지, 모니터 주시 시 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.050$).

다음으로 근거리 시각매체 주시 시 동공크기와 조절반응(A: 정시안, B: 근시안) 및 조절래그(C: 정시안, D: 근시안)를 비교한 그래프를 Fig. 2에 나타내었다. 여기서 x 축에 나타낸 동공크기의 평균과 표준편차는 각각의 표식과 가로방향의 오차막대로 표기하였으며, y 축에 나타낸 조절반응과 조절래그의 평균과 표준편차는 각각의 표식과 세로방향의 오차막대로 표기하였다. 그 결과 정시안에서 근거리 시각매체에 따른 동공크기의 차이는 보이지 않았으며($F=3.797$, $P=0.000$), 조절반응과 조절래그의 차이도 보이지 않았다. 그리고 근시안에서 모니터를 주시한 후 측정된 동공크기는 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 통계적으로 유의하게 작았으며($F=8.209$, $P=0.000$), 조절반응과 조절래그는 통계적으로 유의하게 조절반응은 낮았고 조절래그는 높았다.

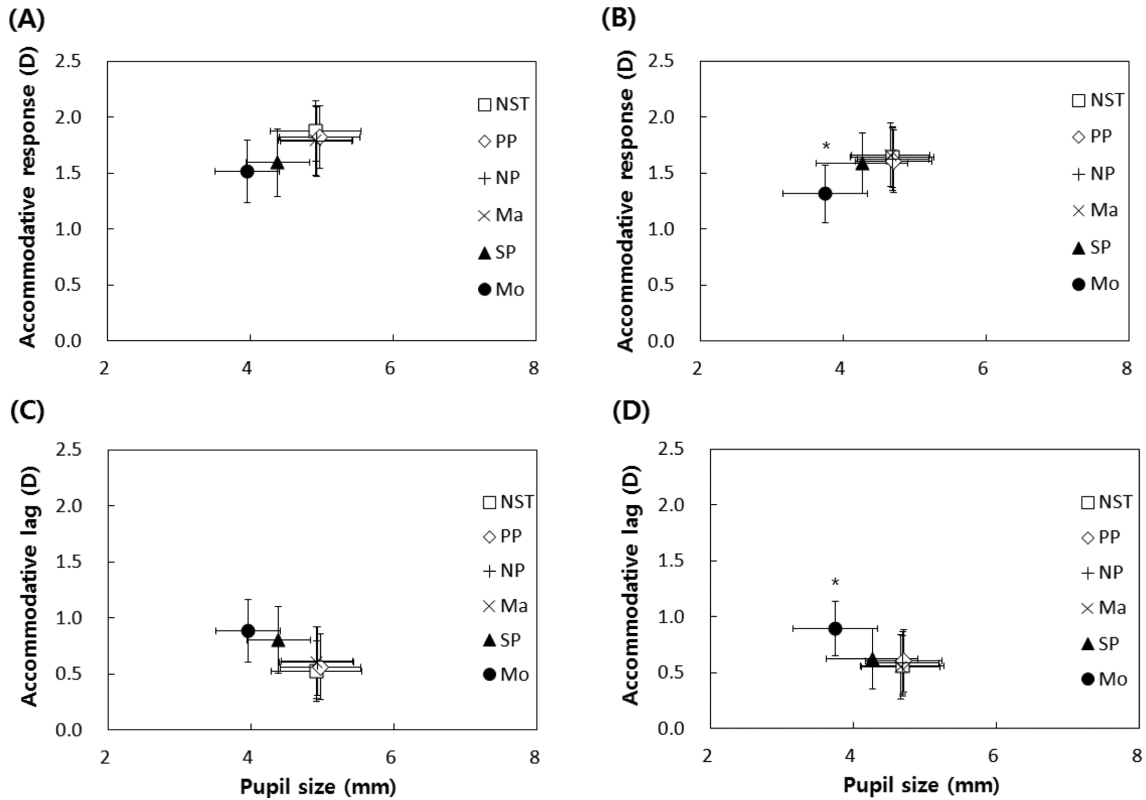


Fig. 2. The comparison of pupil size and accommodative response or accommodative lag between the near visual media. The comparison of pupil size and accommodative response for (A) emmetropes, (B) myopes. The comparison of pupil size and accommodative lag for (C) emmetropes, (D) myopes. “*” indicate the result of post-hoc analysis with Scheffe’s between accommodative response or accommodative lag.

NST: near standard target, PP: print paper, NP: newspaper, Ma: magazine, SP: smartphone, Mo: monitor.

이상의 결과를 정리하면, 근시굴절이상 유무와 관계없이 휘도가 높은 발광체 시각매체 주시 시 휘도가 낮은 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 동공크기가 작았고 조절반응은 낮았으며 조절래그는 높았다. 그리고 동일한 근거리 시각매체 주시 시 근시굴절이상 유무별 조절반응은 통계적으로 유의한 차이를 보이고 동공크기와 조절래그는 차이를 보이지 않았다. 이에 동공크기와 조절반응 및 조절래그의 관계를 알아보기 위하여 이와 관련이 있는 초점심도(depth of focus)에 대해 살펴보면, 초점심도는 이상적인 최상의 점상이 이루는 망막의 위치에서 일정한 범위 내에 존재하는 착란원상의 선명도를 동일하게 유지시킬 수 있는 상점(image)거리를 의미한다.^[12] 그리고 피사체심도(depth of field)는 초점심도 내의 상점들에 대응하는 물점(object)거리이며, 초점심도와 피사체심도는 상호교환이 가능한 개념이다.^[13] 이러한 피사체심도와 동공크기에 관하여 연구한 Marcos 등은^[14] 2~4 mm의 동공크기에서 동공크기가 작을수록 피사체심도는 깊다고 보고하였다. 그리고 피사체심도와 조절에 관하여 연구한 Bemal-Molina 등은^[13] 조절자극량을 0.00 D부터 6.00 D까지 변화시키면 동공크기는 5.70~4.62 mm, 피사체심도는 0.85~1.07 D로

서 조절자극이 높아질수록 동공크기는 작아지고 피사체심도는 깊어진다고 보고하였으며, 피사체심도가 조절래그에 영향을 미친다는 가설에 동의한다고 보고하였다. 이를 미루어 보아 본 연구에서 발광체 시각매체를 주시한 경우가 비발광체 시각매체를 주시한 경우보다 조절래그가 높게 측정된 것은 발광체 시각매체 주시 시 작아진 동공크기로 인하여 초점심도가 깊어졌기 때문으로 사료된다.

다음으로 굴절이상과 동공크기에 관한 선행연구를 살펴보면, 근시안을 대상으로 굴절교정 전후에 각각 측정된 원거리 동공크기를 비교 분석한 Lim 등은^[15] 굴절교정 후 중등도·고도 근시안에서 측정된 동공크기가 경도 근시안에서 측정된 동공크기보다 큰 경향을 보였으나 동공크기는 굴절이상도와 상관성이 없는 것으로 보고하였다. 본 연구의 경우 근시안의 동공크기는 정시안의 동공크기보다 작았지만 선행연구와 유사하게 굴절이상도에 따른 동공크기의 차이는 보이지 않았다. 또한 선행연구와 달리 근시안의 동공크기가 정시안의 동공크기보다 작은 것은 동공크기 측정 시 주시거리와 측정기기 및 측정방법 등의 차이인 것으로 사료된다. 그리고 굴절이상과 조절반응 및 조절래그에 관한 선행연구를 살펴보면, 정시안과 근시안을 대상

으로 소프트콘택트렌즈 교정 후 측정된 조절반응을 비교 분석한 Bac 등은¹⁶⁾ 근시안의 조절반응이 정시안의 조절반응보다 낮다고 보고하였으며, 근시안을 대상으로 등가구면굴절력에 따른 조절래그를 비교 분석한 Baarg 등은¹⁷⁾ 등가구면굴절력이 높을수록 높은 조절래그를 보고하였다. 이와 관련하여 본 연구에서 측정된 조절반응과 조절래그는 근시안이 정시안보다 조절반응은 통계적으로 유의하게 낮았고 조절래그는 높은 경향을 보였지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 이는 선행연구와 유사한 경향이라 하겠다. 그리고 본 연구에서 측정된 조절자극이 완전교정을 위하여 장입한 시험렌즈와 정점간거리 등을 고려하여 계산되었기 때문에 동일한 근거리 시각매체를 동일한 환경(주시거리, 조도 등)에서 주시하였음에도 정시안의 경우 2.41 ± 0.01 D, 근시안의 경우 2.22 ± 0.08 D로서 조절자극의 차이가 있었다($P=0.000$). 이로부터 정시안과 근시안에서 조절반응의 차이가 나타난 것으로 여겨진다.

따라서 조절반응과 조절래그는 근거리 시각매체 휘도차이로 인한 동공크기의 영향을 받은 것으로 여겨진다. 그리고 근시안에서 조절반응과 조절래그는 정시안보다 근거리 시각매체 휘도의 영향을 더 받은 것으로 사료된다. 이와 관련하여 정시안과 근시안의 조절자극반응함수에 대하여 연구한 Yeo 등은¹⁸⁾ 동일한 조절자극 시 근시안의 조절반응이 정시안의 조절반응보다 흐림 신호를 사용하는 능력이 더 낮은 것으로 보고하였다. 이를 미루어 보아 본 연구에서 휘도가 높은 모니터 주시 시 흐림 신호를 사용하는 능력과 동공이 수축하는 정도의 영향으로 근시안이 조절반응과 조절래그에 미치는 영향력은 정시안보다 더 큰 것으로 여겨진다.

이처럼 근시안이 휘도가 가장 높은 모니터를 주시한 경우에서 비발광체 시각매체와 스마트폰을 주시한 경우보다 조절래그가 통계적으로 유의하게 높았으며, 이는 조절래그의 정상범위인 0.50~0.75 D보다 높았다. 정상범위를 초과한 조절래그는 선명하게 물체를 보기 위하여 조절이 추가로 요구되어 AC/A 비 등에 의한 폭주 등으로 눈의 피로도가 가중될 것으로 여겨진다. 이로 인하여 근시안의 경우 불필요하게 휘도가 높은 모니터의 사용은 이롭지 못할 것으로 사료된다. 그리고 스마트폰 주시 시 조절반응과 조절래그에 미치는 영향력은 모니터를 주시한 경우보다 작았으며, 이는 스마트폰의 휘도는 모니터보다 22 cd/m^2 정도 낮아서 휘도차이가 크지 않지만, 화면크기가 모니터의 약 40배 정도로 작으므로 이러한 차이가 영향을 미친 것으로 여겨진다. 이에 근시안의 경우 본 연구에서 사용한 모니터의 휘도 및 화면크기 수준과 동일하거나 높은 발광체 시각매체를 사용 시 휘도를 낮추어 사용하는 것을 제

안하고자 하며, 조절반응과 조절래그의 관점에서 발광체 시각매체를 사용한 근거리 작업 시 적절한 휘도와 화면크기에 대한 추후 연구와 장시간의 근거리 작업 시 다양한 근거리 시각매체의 종류가 조절에 미치는 영향에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 일상생활에서 흔하게 접할 수 있는 다양한 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 알아보기 위하여 근거리 시각매체를 주시한 순간에 측정된 조절반응과 조절래그를 비교 분석하였다. 그리고 근거리 시각매체의 휘도가 근시굴절이상 유무별 조절반응과 조절래그에 미치는 영향력의 차이를 알아보기 위하여 대상자들을 정시안과 근시안으로 분류하여 근거리 시각매체의 휘도에 따른 조절반응과 조절래그를 비교 분석하였다. 그 결과 조절반응과 조절래그에 대한 영향력은 근거리 시각매체 휘도의 직접적인 영향력보다 근거리 시각매체 휘도차이로 인해 변화된 동공크기의 영향력이 더 큰 것으로 여겨진다. 그리고 근시굴절이상 유무별 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 미치는 영향력은 근시안이 근거리 시각매체를 주시한 경우가 정시안이 근거리 시각매체를 주시한 경우보다 더 컸으며, 특히 근시안이 높은 휘도와 넓은 화면크기를 갖는 모니터를 주시한 경우 정상범위를 초과하는 조절래그를 보였다. 이로부터 본 연구는 근시안이 휘도가 높고 화면크기가 큰 발광체 시각매체 사용 시 눈에 부담을 야기할 가능성이 있기 때문에 본 연구에서 사용한 모니터의 휘도 및 화면크기 수준과 동일하거나 높은 발광체 시각매체를 사용 시 휘도를 낮추어 사용하는 것을 제안하고자 한다. 이러한 제안을 반영하여 근시안이 발광체 시각매체를 사용한 근거리 작업 시 조절반응과 조절래그에 관한 눈의 부담을 경감시킬 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] Shin JH, Kim YH, Oh YS. The panel survey of Korea media in 2017. KISDI STAT. 2017;405001:33.
- [2] Flitcroft DI. A model of the contribution of oculomotor and optical factors to emmetropization and myopia. Vision Res. 1998;38(19):2869-2879.
- [3] Jang YS, Kim US, Baek SH, Kim YR, Gong SM. Research on ocular fatigability induced by multimedia and instrument features. J Korean Ophthalmol Soc. 2012;53(5):689-693.
- [4] Seo ES. Change in accommodative function after VDT work. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(3):285-291.
- [5] Park KJ, Lee WJ, Lee NG, Lee, JY, Son JS, Yu DS.

- Changes in near lateral phoria and near point of convergence after viewing smartphones. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(2):171-176.
- [6] McBrien NA, Millodot M. The effect of refractive error on the accommodative response gradient. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1986;6(2):145-149.
- [7] Park M, Ahn YJ, Kim SJ, You J, Park KE, Kim SR. Changes in accommodative function of young adults in their twenties following smartphone use. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2):253-260.
- [8] Kim J, Um JY, Sung HN, Kim SR, Park M. Changes in accommodative function after reading with paper book and e-book on tablet PC. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2017;22(2):183-190.
- [9] Human Factors Society. American national standard for human factors engineering of visual display terminal workstations (ANSI/HFS Standard No. 100-1988), 1st Ed. Human Factors Society, 1988;987.
- [10] Mutti DO, Jones LA, Moeschberger ML, Zadnik K. AC/A ratio, age, and refractive error in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2000;41(9):2469-2478.
- [11] Johnson CA. Effects of luminance and stimulus distance on accommodation and visual resolution. *J Opt Soc Am.* 1976;66(2):138-142.
- [12] Sung PJ. *Optometry*, 5th Ed. Seoul: Daehakseolim, 2005;48-295.
- [13] Bernal-Molina P, Montes-Micó R, Legras R, López-Gil N. Depth of field of the accommodating eye. *Optom Vis Sci.* 2014;91(10):1208-1214.
- [14] Marcos S, Moreno E, Navarro R. The depth-of-field of the human eye from objective and subjective measurements. *Vision Res.* 1999;39(12):2039-2049.
- [15] Lim DK, Lee KJ. Changes in pupil size after wearing soft contact lenses in myopes. *Korean J Vis Sci.* 2017;19(4):433-441.
- [16] Bae HJ, Yoon MO, Kim HS, Eom JH. The correlation of refractive error and accommodative response. *Korean J Vis Sci.* 2010;12(2):103-109.
- [17] Baerg SB, Jeong YH. The accommodative lag and refractive error in early adults. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(1):59-65.
- [18] Yeo AC, Kang KK, Tang W. Accommodative stimulus response curve of emmetropes and myopes. *Ann Acad Med Singapore.* 2006;35(12):868-874.

근거리 시각매체의 휘도에 따른 조절반응과 조절래그 비교

하나리¹, 정수아², 김현정^{1,*}

¹건양대학교 안경광학과, 대전 35365

²원광보건대학교 안경광학과, 익산 54538

투고일(2018년 6월 4일), 수정일(2018년 7월 19일), 게재확정일(2018년 10월 15일)

목적: 근거리 시각매체 주시 시 근시굴절이상 유무별 근거리 시각매체의 휘도가 조절반응과 조절래그에 미치는 영향을 비교 분석 후, 조절반응과 조절래그의 관점에서 눈에 부담을 더 야기할 가능성이 있는 근거리 시각매체를 알아보려고 하였다. **방법:** 조절기능 이상이 없는 평균나이 22.57±2.07세인 성인남녀 40명(40안)의 대상자들은 11명의 정시안(평균 등가구면굴절력 -0.34±0.22 D)과 29명의 근시안(평균 등가구면굴절력 -3.86±1.69 D)이었다. 근거리 시각매체(근거리 기준시표, 프린트용지, 신문용지, 잡지용지, 스마트폰, 모니터) 주시 시 조절반응은 양안 개방형 자동안굴절력계를 사용하여 측정된 후 비교하였다. **결과:** 발광체 시각매체(스마트폰, 모니터) 주시 시 비발광체 시각매체(근거리 기준시표, 프린트용지, 신문용지, 잡지용지)를 주시한 경우보다 조절반응은 낮았으며 조절래그는 높았다. 그리고 정시안에서 근거리 시각매체의 휘도에 따른 조절반응($F=2.622$, $P=0.033$)과 조절래그($F=2.593$, $P=0.034$)는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 근시안에서 가장 높은 휘도와 넓은 화면크기를 갖는 모니터를 주시 시 조절반응은 $1.32±0.26$ D($F=5.924$, $P=0.000$)로 통계적으로 유의하게 가장 낮았고 조절래그는 $0.90±0.24$ D($F=6.007$, $P=0.000$)로 통계적으로 유의하게 가장 높았다. **결론:** 근시안이 휘도가 높고 화면크기가 넓은 발광체 시각매체를 주시 시 정시안이 발광체 시각매체를 주시한 경우보다 조절반응과 조절래그의 관점에서 눈에 부담을 더 가중시킬 가능성이 있는 것으로 사료된다.

주제어: 조절반응, 조절래그, 근거리 시각매체, 휘도, 동공크기